



**Facultad de Ingeniería**  
**Carrera de Ingeniería Civil**

**Trabajo de titulación**  
**Modalidad Proyecto Investigativo**

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:**

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA Y ANÁLISIS DE POSIBLE  
INTERVENCIÓN Y REFORZAMIENTO DEL EDIFICIO VENUS LOOR UBICADO  
EN EL CANTÓN PEDERNALES.

**Autores:**

Zambrano Zambrano Génesis Thalia

Cobeña Zambrano Carlos Alejandro

**Tutora:**

Dra. Verónica Ávila

2019

Manta – Ecuador

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los Honorables Miembros del Tribunal Examinador luego del debido análisis y su cumplimiento de la ley aprueban el informe de investigación sobre el tema de “EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA Y ANÁLISIS DE POSIBLE INTERVENCIÓN Y REFORZAMIENTO DEL EDIFICIO VENUS LOOR UBICADO EN EL CANTÓN PEDERNALES.”, presentada y realizada por los egresados Zambrano Zambrano Génesis Thalia y Cobeña Zambrano Carlos Alejandro.

---

Ing. Abel Zambrano

Miembro del tribunal

---

Ing. German Andrade

Miembro del tribunal

---

Ing. Darío Páez

Presidente del tribunal

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

Por medio de la presente certifico haber dirigido y revisado el contenido del presente trabajo de investigación realizado por Zambrano Zambrano Génesis Thalia y Cobeña Zambrano Carlos Alejandro, con el tema “EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA Y ANÁLISIS DE POSIBLE INTERVENCIÓN Y REFORZAMIENTO DEL EDIFICIO VENUS LOOR UBICADO EN EL CANTÓN PEDERNALES”, bajo la normativa y metodologías aprobadas por consejo académico de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

---

Dra. VERÓNICA ÁVILA,  
DIRECTORA DE TESIS

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Los autores, Genesis Thalia Zambrano Zambrano con C.C N° 131205946-0 y Carlos Alejandro Cobeña Zambrano C.C N° 131271855-2 declaramos que el título de la tesis **“Evaluación de la vulnerabilidad sísmica y análisis de posible intervención y reforzamiento del Edificio Venus Loor ubicado en el cantón Pedernales”** es inédito y exclusivo.

El Proyecto de Investigación ha sido llevado a cabo mediante la asesoría de nuestra Tutora Dra. Veronica Avila Ayon

Manifiestamos la originalidad de la Conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de las conclusiones, dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En la ciudad de Manta a los 12 días del mes de julio del dos mil diecinueve.

---

Srta. Thalia Zambrano Zambrano  
131205946-0

---

Sr. Alejandro Cobeña Zambrano  
131271855-2

## DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi madre **María Isabel Zambrano Giler**, a mi padre **John Alexander Zambrano García**, y mis Hermanas quienes son mi motor constante para seguir adelante, por todo el apoyo y esfuerzo que han hecho en el transcurso de mis años de estudio, por toda la paciencia y amor que me han brindado, esperando siempre lo mejor para mí.

A mis Tíos, en especial a **Teófilo Cevallos** y **Carlos Cevallos**, que siempre estuvieron presente y muy preocupados por mí en todo el transcurso de mi carrera, por ser muy cariñosos y darme buenos consejos para ser una mejor persona.

A mi Tías, Margarita Y Maura, por el apoyo incondicional que me han dado en todo momento, por los valores inculcados, la motivación y la confianza que me tienen.

A mis Abuelitos por creer siempre en mí y estar orgullosos con cada nueva etapa en mi vida, a quienes amo mucho.

Y a mis amigos quienes estuvieron dentro de este proceso, con los cuales pase mis mejores años de estudios, porque fueron una ayuda incomparable, por nunca dejarme sola, por apoyarme dentro y fuera de la universidad.

**Thalia Zambrano Zambrano.**

## DEDICATORIA

Es preciso dedicar el presente proyecto a cada una de las personas que me acompañaron en la elaboración de este proyecto, ya sea de manera directa o indirecta, cada uno de los consejos y la ayuda emocional e intelectual que me brindaron.

Mis padres **René Cobeña Solorzano** y **Yenni Zambrano Cornejo** que son el pilar fundamental de mi crecimiento como persona y ahora como profesional, quienes me han llevado de la mano en cada uno de mis pasos.

A mi hermano **Gabriel Cobeña Zambrano** que es mi motor y mi inspiración para superarme día a día. A cada uno de mis familiares que fueron actores en el camino de mi preparación.

A mis docentes y en especial a mi tutora la **Dra. Verónica Ávila** quien fue participe en la elaboración del presente proyecto y nos dio los lineamientos necesarios para la conclusión del mismo

**Carlos Alejandro Cobeña Zambrano**

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primordialmente a Dios ya que fue mi fuerza interior para seguir adelante y gracias a él se pudo concluir de manera amena este proyecto.

A mi querida madre que fue la persona quien siempre estuvo ahí para darme la mano en cuanto lo necesite, que jamás me juzgo cuando tuve algún tropiezo, solo me apoyo con gran amor y paciencia.

Agradezco a los docentes de todos los niveles de la carrera de ingeniería civil que aportaron con sus conocimientos y experiencias para que cada proceso fuera llevado a cabo de la mejor manera, y de los cuales con muchos llevo una buena amistad.

A nuestra tutora de tesis **Dra. Verónica Ávila** quien fue un pilar fundamental para el avance de este proyecto de Investigación y que con su ayuda y conocimiento logramos concluirlo.

Agradezco a mi compañero de tesis porque juntos logramos completar todo el proceso para la obtención de nuestro título como ingenieros civiles.

**Thalia Zambrano Zambrano.**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida, a mis padres y mi hermano porque sin su ayuda sería imposible, a cada uno de mis familiares y amigos, a las Leyendas de igual manera muchas gracias.

A los docentes que impartieron sus conocimientos a lo largo de la carrera cursada, su ayuda fue de suma importancia para la elaboración del presente proyecto.

A mi tutora la **Dra. Verónica Ávila** quien nos acompañó durante todo el proceso de elaboración del proyecto, le estoy sumamente agradecido.

A mi compañera de tesis, ya que con su ayuda fue posible la elaboración de cada uno de los procesos que hoy se incorporan en el presente proyecto.

**Carlos Alejandro Cobeña Zambrano**



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>7</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>8</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>15</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>16</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>17</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>19</b>
Objetivo General.....	20
Objetivos específicos.....	20
Planteamiento del problema .....	21
Justificación .....	21
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>22</b>
1. SISMOLOGÍA EN EL ECUADOR .....	22
1.1. Cronología de los sismos más potentes que han afectado al Ecuador. ....	25
1.2. SISMOS .....	27
1.3. PELIGROSIDAD SÍSMICA EN EL ECUADOR .....	33
1.4. VULNERABILIDAD SÍSMICA. ....	34
1.5. RIESGO SÍSMICO .....	36
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>38</b>
2. GENERALIDADES DE LA EDIFICACIÓN.....	38
2.1. Ubicación y localización de la edificación.....	38
2.2. Datos Generales Del Inmueble.....	39
2.3. Características De La Estructura.....	39
2.4. Levantamiento de información.....	43
2.5. EVALUACIÓN DE DAÑOS.....	45
2.6. VULNERABILIDAD .....	55

2.7.	ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN Y VERTICALIDAD	57
2.7.1.	Resistencia del hormigón.....	57
2.8.	PERIODO DE VIBRACIÓN .....	60
2.9.	ESTUDIO GEOTÉCNICO. ....	61
2.10.	METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA .....	62
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>.....</b>	<b>64</b>
3.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....	64
3.1.	MODELO ESTRUCTURAL .....	64
3.2.	Cargas y combinaciones de carga .....	65
3.3.	Definición de cargas estáticas .....	67
3.4.	Espectro de respuesta .....	74
3.5.	Informe sísmico Pedernales.....	77
3.6.	Resultados .....	78
3.7.	INTERVENCIÓN Y REFORZAMIENTO .....	82
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>.....</b>	<b>86</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>.....</b>	<b>87</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.1 Cronología de los sismos más potentes que han afectado a Ecuador. Fuente: Adaptación de (El Universo, 2016) .....	26
Tabla I.2 Escala Richter y la Escala Mercalli Fuente: ( EcuRed, 2016) .....	30
Tabla II.1 Datos generales del inmueble. Fuente: Autores.....	39
Tabla II.2 Datos de terreno y cimentación de la estructura. Fuente: Autores .....	40
Tabla II.3 Dimensiones de columnas por piso. Fuente: Autores .....	41
Tabla II.4 Dimensiones en planta y cálculo de áreas. Fuente: Autores .....	41
Tabla II.5 Resistencia a compresión calados en hormigón. Fuente: CONGEOTEC .....	58
Tabla II.6 Lectura de Ensayo ESCLEROMETRICO. Fuente: Autores .....	58
Tabla II.7 Clases de protecciones de hormigón.. Fuente: (ACI, 2014) .....	59
Tabla II.8 Clases de concreto y % de peso para hormigón armado. Fuente: ACI, 2014.60	
Tabla II.9 Densidad, contenido de cloruros y % de cemento de la estructura. Fuente: Laboratorio de la Universidad Católica de Guayaquil. ....	60
Tabla II.10 Coordenadas de la edificación. Fuente: Autores .....	62
Tabla II.11 Metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica aplicadas a diferentes escalas. Fuente: Silva, 2015 .....	63
Tabla III.1 Cargas muertas losas entrepiso. Fuente: Autores .....	66
Tabla III.2 Cargas muertas losa terraza. Fuente: Autores .....	66
Tabla III.3 Combinaciones de carga. Fuente: Autores .....	66
Tabla III.4 Tipo de uso, destino e importancia de la estructura. FUENTE; (NEC-SE-DS, 3.1.1. Zonificación sísmica y factor de zona Z, 2015) .....	68
Tabla III.5 Valores del factor Z en función de la zona sísmica. FUENTE: (NEC-SE-DS, 3.1.1. Zonificación sísmica y factor de zona Z, 2015) .....	68
Tabla III.6 Valores para Ct y $\alpha$ en función del tipo de estructura. FUENTE; (NEC-SE-DS, 3.1.1. Zonificación sísmica y factor de zona Z, 2015) .....	69
Tabla III.7 Factor de reducción de Resistencia Sísmica Z. FUENTE; (NEC-SE-DS, 3.1.1. Zonificación sísmica y factor de zona Z, 2015) .....	69
Tabla III.8 Tipo de suelo y Factores de sitio Fa. FUENTE: (NEC-SE-DS, 3.1.1. Zonificación sísmica y factor de zona Z, 2015) .....	70
Tabla III.9 Tipo de suelo y Factores de sitio Fd. FUENTE: (NEC-SE-DS, 3.1.1. Zonificación sísmica y factor de zona Z, 2015) .....	71

Tabla III.10 Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs FUENTE: (NEC-SE-DS, 3.1.1. Zonificación sísmica y factor de zona Z, 2015) .....	71
Tabla III.11 Tipo de uso, destino e importancia de la estructura. FUENTE: (NEC-SE- DS, 3.1.1. Zonificación sísmica y factor de zona Z, 2015) .....	72
Tabla III.12 Cálculo de coeficiente k. FUENTE: (NEC-SE-DS, 3.1.1. Zonificación sísmica y factor de zona Z, 2015).....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla III.13 Datos para el cálculo de espectro. Fuente: Autores.....	74
Tabla III.14 Valores de periodos y aceleraciones sismo NEC, .....	75
Tabla III.15 Periodos de vibración de la estructura. Fuente: Autores. ....	78
Tabla III.16 Desplazamiento para sismo de 475 años. Fuente: Autores .....	79
Tabla III.17 Desplazamiento para sismo de Tr 1667 años. Fuente: Autores.....	80
Tabla III.18 Desplazamientos estructura intervenida para sismo de Tr 475 años. Fuente: Autores.....	83
Tabla III.19 Costos de intervención estructura. Fuente: Autores. ....	84

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación III-1 Fuente: (NEC-SE-DS, 3.1.1. Zonificación sísmica y factor de zona Z, 2015).....	67
Ecuación III-2 Fuente: NEC .....	68
Ecuación III-3. Fuente: (NEC, 2015) .....	73
Ecuación III-4 Fuente: (NEC, 2015) .....	80

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración I-1 Mapa de intensidades ocasionadas por el terremoto de Pedernales en el territorio ecuatoriano (escala EMS-98). Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.....	23
Ilustración I-2 Mapas con la sismicidad registrada en los años 2016, 2017 y 2018 (hasta la fecha). Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.....	24
Ilustración I-3 Sismos interplaca tipo thrust que han afectado al Ecuador. Fuente: (Aguiar & Mieles, 2016) .....	27
Ilustración I-4 Número de sismos del año 2000-2017. Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.....	31
Ilustración I-5 Mapa para diseño Sísmico, FUENTE: (NEC-SE-DS, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente, 2015).....	33
Ilustración I-6 Metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica, Fuente: (Peralta, 2002).....	36
Ilustración I-7 Fallos que suelen presentarse cuando en una estructura no sismo-resistente (Arcus, 2017).....	37
Ilustración II-1 Edificio Venus Loor, Fuente: Google Earth.....	38
Ilustración II-2 Ubicado en la calle García Moreno entre Pedernales y Rio Tachina. Fuente: Google Earth.....	38
Ilustración II-3 Vista de la fachada principal y Vista de la fachada posterior del edificio VENUS LOOR. Fuente: Autores .....	40
Ilustración II-4 Muros diafragma o Muros de relleno. Fuente: Google .....	42
Ilustración II-5 Muros diafragma en la estructura. Fuente: Autores .....	42
Ilustración II-6 Ubicación de la estructura. Fuente Autores.....	43
Ilustración II-7 pH mayor a 9. Fuente: Autores.....	44
Ilustración II-8 Irregularidad por torsión. Fuente: (NEC N. E., 2015).....	55
Ilustración II-9 Vista de la elevación de la estructura. Fuente: Autores.....	57
Ilustración II-10 Resumen de periodos de vibración de la estructura. Fuente: (CEMSIS, 2016).....	61
Ilustración III-1 Carga viva de acuerdo con la ocupación o los usos. FUENTE: (NEC-SE-CG, 2015) .....	65

Ilustración III-2 1 Espectro Sísmico Elástico e Inelástico para el Edificio Venus Loor. FUENTE: Autores .....	76
Ilustración III-3 Modelo estructural edificio Venus Loor en SAP2000. Fuente: Autores. .....	81
Ilustración III-4 Salida del programa SAP 2000, 4 pisos $T_r = 475$ años. Fuente: Autores. .....	84

## RESUMEN

El objetivo del trabajo de investigación fue realizar la evaluación de la vulnerabilidad sísmica del edificio VENUS LOOR ubicado en el cantón Pedernales, que permita conocer si en esta edificación se podrá realizar una posible intervención de mejoramiento o, en el peor de los casos su demolición parcial o total, y así evitar desastres posteriores como lesiones y pérdidas de vidas humanas de las personas que hacen uso de esta edificación. Tomando como referencia los daños que tuvo el edificio con el sismo ocurrido el 16 de abril 2016 en el Ecuador, afectando gravemente el inmueble. Se inició la investigación utilizando la metodología cualitativa de estudio de caso, en el que se analizaron teorías que sustenten el presente estudio, utilizando técnicas de investigación como observaciones, las cuales se realizaron dentro y fuera del edificio, consultas de manuales, y también se generaron entrevistas a la propietaria y proyectista, se determinaron los resultados deseados por medio de métodos cuantitativos, la aplicación de las Normas Ecuatorianas de Construcción, comparación de planos existentes, ensayos de esclerómetro y aplicación de programas informáticos, comprobándose la vulnerabilidad estructural del edificio que sufrió frente a la amenaza por terremoto, por lo que consecuentemente llegamos a la propuesta para el estudio de vulnerabilidad sísmica, el mismo que será un aporte valioso para el edificio, para contribuir con la gestión de riesgos y desastres, además como un referente para los otros bloques que se encuentran en la zona.

Palabras Claves: Vulnerabilidad sísmica, ensayos de esclerómetro, NEC, amenaza sísmica, riesgo sísmico, índice de daño.

## **ABSTRACT**

The objective of the research work was to carry out the evaluation of the seismic vulnerability of the VENUS LOOR building located in the canton Pedernales with the purpose of knowing if this building could have the possible intervention of improvement or in the worst of cases its partial or total demolition, and thus avoid subsequent disasters such as injuries and loss of human lives of the people who use this building. Taking as reference the damages that the building had with the earthquake that occurred on April 16, 2016 in Ecuador, seriously affecting the upper floors of the building. The research was initiated using the qualitative methodology of the case study, in which theories supporting the present study were analyzed, using research techniques such as observations, which were made inside and outside the building, manuals, and were also generated interviews with the owner and designer, the desired results were determined by means of quantitative methods, the application of the Ecuadorian Construction Standards, comparison of existing plans, sclerometer tests and application of computer programs, verifying the structural vulnerability of the building that faced to the earthquake threat, so that consequently we arrive at the proposal for the study of seismic vulnerability, the same that will be a valuable contribution for the building, to contribute with the management of risks and disasters, as well as a reference for the other blocks that are in the area.

Key Words: Seismic vulnerability, sclerometer tests, NEC, seismic hazard, seismic risk, damage index.



## GLOSARIO

**Mw:** Magnitud de Momento

**MIDUVI:** Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda

**NEC:** Norma Ecuatoriana de la Construcción

**E:** Elementos en riesgo

**GADMCP:** Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Del Cantón Pedernales.

**Gal:** Unidad de aceleración en el sistema cegesimal. 1 Gal = 1 cm/s<sup>2</sup>

**GDP:** Global damage parameter (Parámetro de daño global)

**IG EPN:** Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

**Iv:** Índice de Vulnerabilidad

**MM:** Escala de Mercalli Modificada

**NEC:** Norma Ecuatoriana de la Construcción.

**PGA:** Valor de la aceleración sísmica máxima en el terreno (Peak Ground Acceleration)

**PGV:** Valor de la Velocidad pico de tierra.

**R:** Factor de reducción de resistencia.

**V:** Vulnerabilidad

**Z (factor):** El valor de Z de cada zona sísmica representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

**Amenaza:** Probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto período, en un sitio dado.

**Amplitud:** de onda Es la máxima altura de una cresta o del valle de una onda.

**Licuación:** Porción de terreno que se comporta como arena movediza que ha sido rellenada. Lote: Cada una de las parcelas en las que se divide un área de tierra.

**Mampostería:** Sistema constructivo de tipo cajón, que consiste en pegar piezas o bloques para formar muros y soportar cargas.

**Mampostería media o confinada:** Sistema constructivo de tipo cajón que consiste en prismas que se forman con piezas o bloques unidos con mortero confinados entre elementos horizontales y verticales de concreto reforzado.

**Período de vibración:** Intervalo entre las amplitudes máximas en una onda, se mide en segundos y es el inverso de la frecuencia.

**Placas tectónicas:** Segmento relativamente grande y rígido de la litósfera, que incluye la corteza y la parte superior del manto, que se desplaza sobre la astenósfera, moviéndose en relación a las placas adyacentes. La superficie de la Tierra está dividida en unas 17 placas mayores.

**Propensión sísmica:** Inclinación natural de una región a ser afectada por determinado tipo de sismos.

**Vulnerabilidad:** Grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos que corren riesgo, como resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0, o sin daño, hasta 1, o pérdida total.

**Zona de subducción:** Zona en la que un segmento de placa oceánica se sumerge bajo una placa continental u oceánica a lo largo de la fosa marina.

**Zonificación sísmica:** Consiste en descifrar de manera multidisciplinaria el comportamiento del suelo ante fenómenos sísmicos, con el propósito de determinar la amenaza y peligrosidad sísmica de una región muy extensa (macro zonificación), o un área específica (micro zonificación).

## INTRODUCCIÓN

El Ecuador al encontrarse ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico, es parte del fenómeno de subducción de la placa de Nazca con la placa Sudamericana, (CENTENO, 2010), por su alto nivel de riesgo sísmico estamos propensos a que edificios, instalaciones e infraestructura sufran daños severos y por lo tanto ocasionen numerosas pérdidas de vidas, lesiones en las personas y altas pérdidas económicas.

El objeto de este caso, se enfoca a la gestión de riesgos y desastres frente a catástrofes naturales como terremotos, que se puedan producir en la ciudad de Pedernales por encontrarnos sobre fallas geológicas. Se pretende estudiar la vulnerabilidad sísmica del edificio Venus Loor, ubicada en la Calle García Moreno entre Pedernales y Río Tachina, a fin de verificar si las estructuras de la edificación están en condiciones de uso, y recomendar procedimientos para reforzamiento de las mismas en el caso de que lo requieran, logrando dotar de instalaciones seguras. Además de mitigar los riesgos y vulnerabilidades que se presenten, con el objetivo de planificar estrategias con las medidas necesarias y prevenir desastres mayores, como la pérdida de vidas.

Dicha edificación constaba con 6 plantas, un sótano y terraza, debido a una ordenanza de parte del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Pedernales, que estableció una norma que no exista edificaciones que conlleven más de cuatro plantas, se demolieron dos de ellas, y rige que las intervenciones sobre las edificaciones tendrá como objetivo central el devolver a la edificación su condición de habitabilidad, respetando de manera irrestricta su característica arquitectónica y morfológica, además de conservar y utilizar los materiales originales de su construcción.

## **Objetivo General**

- Evaluar la vulnerabilidad sísmica del edificio Venus Loor ubicado en el cantón Pedernales que permita la realización de acciones de reparación y/o reforzamiento estructural que devuelva su condición de habitabilidad y uso.

## **Objetivos específicos**

- Describir la estructura y el estado actual del edificio en base a las inspecciones en sitio.
- Realizar ensayos al suelo y materiales de la edificación para determinar propiedades mecánicas de los mismos.
- Aplicar la herramienta de computación para modelar la estructura.
- Recopilar de la información obtenida y la aplicación de la metodología de evaluación.
- Analizar la intervención o reforzamiento del edificio.

## **Planteamiento del problema**

En el terremoto del 16 A, el edificio Venus Loor sufrió daños estructurales por fallas de diseño y construcción, por lo que es necesario un estudio de vulnerabilidad sísmica, así mismo un análisis de reforzamiento.

## **Justificación**

Ante últimos acontecimientos sísmicos ocurridos en el país sobre todo en la provincia de Manabí, es de vital importancia que se ejecuten proyectos como la aplicación de las metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica, sobre todo de los centros urbanos poblados más aun cuando las ciudades están implantadas en zonas de alta sismicidad.

Por esto es de suma importancia evaluar técnicamente las edificaciones y su comportamiento ante la ocurrencia de un sismo y así poder identificar las vulnerabilidades sísmicas y el daño que se puede presentar, generando simulaciones de posibles escenarios de daños, además de analizar intervenciones a manera de refuerzo sísmico que se podrían hacer en las construcciones para mejorar su seguridad y disminuir su vulnerabilidad.

# CAPÍTULO I

## 1. SISMOLOGÍA EN EL ECUADOR

La República del Ecuador, se encuentra influenciada por una de las zonas de subducción más importantes del planeta denominada el cinturón de fuego del Pacífico, por tales motivos es indiscutible sobre todo que la costa ecuatoriana sea una zona de gran actividad sísmica, así mismo la ciudad costera de Pedernales, que es conocido como “Un Paraíso en la mitad del mundo” de la Provincia de Manabí, es históricamente una ciudad en crecimiento, lo que ha demandado la edificación de construcciones que permitan el adecuado funcionamiento todas las instituciones, comercios así como de proyectos habitacionales. La construcción de estructuras de hormigón armado comenzó en la ciudad con alta demanda de turistas, consolidado a la zona centro, en un polo de desarrollo urbanístico, en su mayoría estos edificios fueron diseñados y construidos con normas extranjeras o sin la aplicación de ninguna normativa de diseño estructural – sismo resistente, así como con la falta de fiscalización en la utilización de materiales de construcción de óptima calidad.

El sismo registrado el 16 de abril del 2016 a las 18h58 (hora local), de magnitud 7.8 Mw, cuyo hipocentro se ubicó frente a Pedernales (Manabí) (IG-EPN, 2016), ocasionó la muerte de 671 personas y afectó significativamente toda la infraestructura de la provincia, dejando así multimillonarias pérdidas económicas; una de las ciudades más afectadas fue Pedernales donde el área de mayor destrucción fue la zona centro de la ciudad, y la más importante, donde se concentraba una intensa actividad económica, comercial, turística y administrativa de la ciudad, según las inspecciones realizadas a 5864 edificaciones de las cuales; 879 en estado habitable, 2193 como recuperables, y 2792 estaban destruidas. (Productiva, 2016)

Las intensidades que alcanzó este evento fueron de hasta 9 EMS-98 en la población de Pedernales donde se registró los mayores daños (**Ilustración 1-1**).

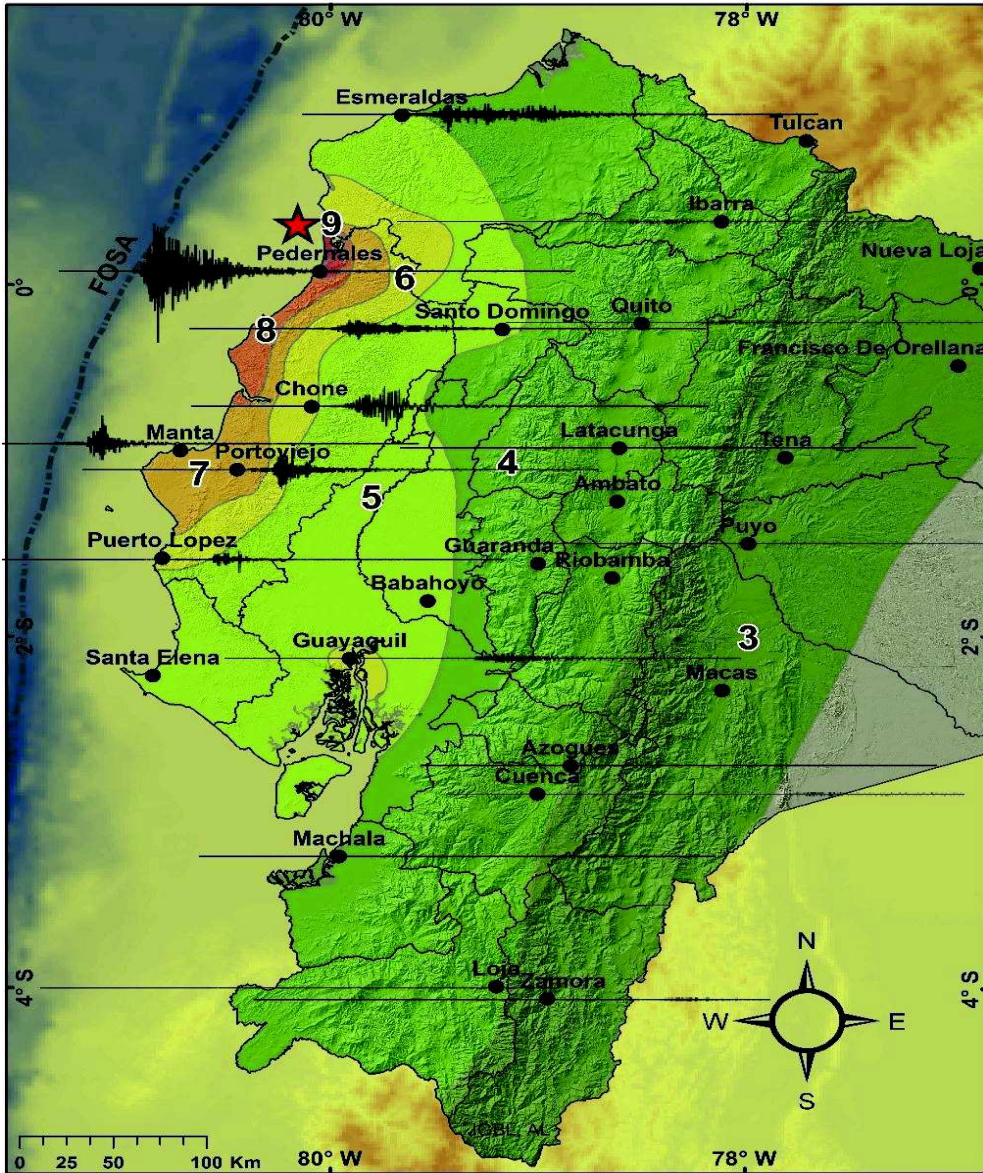
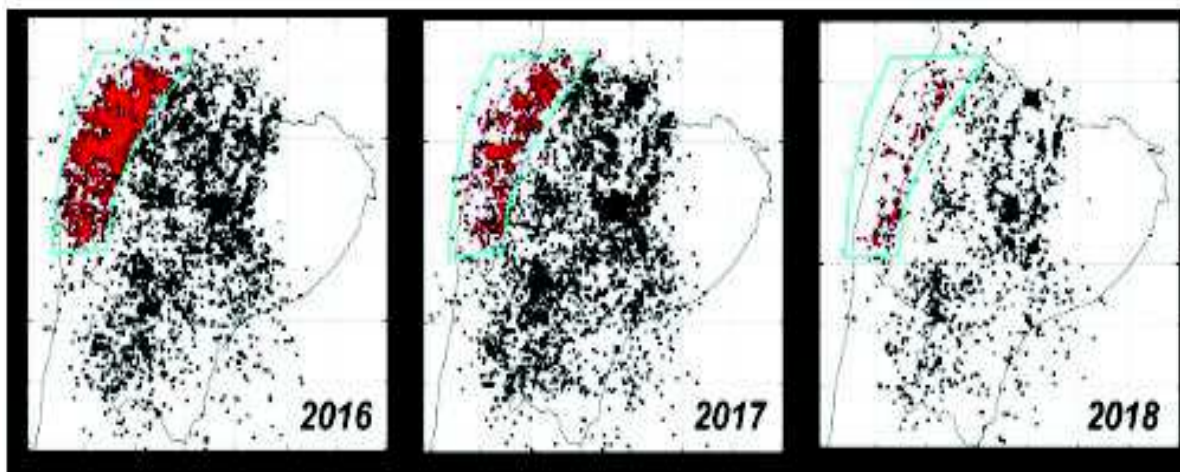


Ilustración I-1 Mapa de intensidades ocasionadas por el terremoto de Pedernales en el territorio ecuatoriano (escala EMS-98). Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

Este evento fue seguido por numerosas réplicas con magnitudes de hasta 6.9 que se registraron a lo largo y ancho de la zona de fractura delimitada por Punta Galera al Norte y Cabo Pasado al sur, e incluso afectaron las zonas vecinas de Esmeraldas en el norte y Manta-Puerto López en el sur.

En el año 2016 se registraron 2879 eventos a lo largo de estas tres zonas. En el año 2017, 847 eventos y en el año 2018, hasta la fecha, se han registrado 166 eventos. (IG-EPN, 2016)



*Ilustración I-2 Mapas con la sismicidad registrada en los años 2016, 2017 y 2018 (hasta la fecha). Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.*

El análisis de las estructuras inició al día siguiente del terremoto. Se calcula que había más de 14.300 predios, de los cuales el 60% estaban contruidos y los demás permanecían como lotes. De acuerdo a evaluaciones técnicas del CEE (Cuerpo de Ingenieros del Ejército), el 70% - 80% de la infraestructura en Pedernales tenían que ser demolidas porque mostraban graves daños en su fachada, áreas interiores y su estabilidad física estaba comprometida. (Cordero, 2017)

El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, como ente rector del hábitat y la vivienda en el Ecuador, dando respuesta inmediata a lo dispuesto en la Resolución No. 051-16 realizó la evaluación estructural rápida post-evento en las zonas afectadas por el terremoto, acción realizada en cooperación con el Programa de Naciones Unidas, aplicando la metodología desarrollada como parte del proyecto DIPECHO-NEC. (MIDUVI, 2016).

Inicialmente, las estructuras fueron inspeccionadas y en cada una se levantó una ficha de Evaluación Estructural Rápida Post-Evento que concluyó con una categorización de la edificación en función de su habitabilidad:

- INSEGURA (pancarta roja): la vivienda no puede ser habitada, se prohíbe el acceso.



-USO RESTRINGIDO (pancarta amarilla): la vivienda no puede ser habitada permanentemente, se restringe su uso a periodos cortos de tiempo o a áreas específicas.

- INSPECCIONADA (pancarta verde): la vivienda puede ser habitada sin que represente ningún riesgo.

En el cantón Pedernales, de las estructuras calificadas como inseguras, existe un grupo de NUEVE (9) edificaciones considerada por técnicos del MIDUVI y por el Comité de Operaciones de Emergencia (COE), como de alto riesgo, las cuales deben ser evaluadas y recomendar su intervención o demolición, según sea el caso. El Edificio de propiedad de la señora Venus Loor, ubicado en la calle García Moreno entre las calles Rio Tachina y Pedernales, es una de las edificaciones.

En términos de riesgo sísmico, los centros poblados son los que mayor vulnerabilidad presentan ante un movimiento sísmico, donde en gran parte de los daños estructurales y colapso de los edificios se da debido a un comportamiento sísmico inadecuado de dichas construcciones. Conceptualmente, el riesgo sísmico está en función de tres componentes probabilísticos: la peligrosidad sísmica, la exposición y la vulnerabilidad. En el caso de las estructuras de ingeniería civil, este último componente reviste particular importancia, en la medida en que una eventual intervención en el nivel del refuerzo estructural tiene una influencia directa en su vulnerabilidad intrínseca y, consecuentemente, en su riesgo sísmico asociado. (Silva J. M., 2015)

### **1.1. Cronología de los sismos más potentes que han afectado al Ecuador.**

Es evidente que a lo largo del tiempo la República del Ecuador ha sufrido un gran número de terremotos y sismos severos. En el intervalo comprendido entre 1541-1896, el 38 Instituto Geofísico, tiene registro de 17 terremotos en diferentes localidades ecuatorianas desde 1906 a la fecha, en un total de 20 grandes eventos sísmico. En la (**Tabla I.1**) se muestra un reporte con un listado sobre los sismos con mayor intensidad que han afectado al territorio nacional. (El Universo, 2016)

Tabla I-1 Cronología de los sismos más potentes que han afectado a Ecuador. Fuente: Adaptación de (El Universo, 2016)

Junio, 1698	Cotopaxi	-	Desde Cotopaxi a Azuay. Muertos: en Ambato, más de 3.000; Latacunga, unos 2.000; en otros pueblos de esas jurisdicciones, unos 1.500; en Patate hubo 200 y en Riobamba, 100. Según algunos autores, el número de víctimas ascendió a 8.000.
Febrero 4, 1797	Riobamba	8,3	Dstrucción total de Riobamba. El terremoto más destructivo en suelo ecuatoriano y uno de los de mayor magnitud en toda su historia. Daños en Chimborazo, Tungurahua y Cotopaxi, Bolívar y Pichincha. Se modificó el paisaje por las grietas, hundimientos y cambió del curso de los ríos. Muertos contabilizados: 12.833, pero se estima que la cifra sería de 31.000.
Enero 31, 1906	Océano Pacífico	8,8	Terremoto-tsunami con epicentro en el Pacífico, frente a las costas de la frontera Ecuador-Colombia, es el sexto más fuerte que se ha registrado en el mundo, desde que existen los sismógrafos. En Limones desaparecieron bajo las aguas cuatro islas. Treinta muertos en Esmeraldas. Las olas arrojaron a la costa de Tumaco (Colombia) unos 90 cadáveres.
Agosto 5, 1949	Ambato	6,8	Terremoto en Tungurahua. Pelileo desapareció totalmente. Pillaro, un 90%; Guano (Chimborazo), un 80%; Ambato, 75%. Área afectada: 1.920 km <sup>2</sup> . Muertos: 6.000 (aproximado). Personas sin hogar: 100.000, aproximadamente.
Abril 8, 1961	-	7	Terremoto de 7 grados, afecta a Chimborazo.
Mayo 19, 1964	-	8	Terremoto de escala 8, afecta a Manabí.
Marzo 5, 1987	Napo	6,9	-
Octubre 2, 1995	-	6,9	Provincia de Morona Santiago.
Agosto 4, 1998	Bahía de Caraquez	7,1	Se localizó frente a la ciudad de Bahía de Caraquez, provocando pérdidas económicas, en especial al sector turístico, así como pérdidas debido al desplome y daños estructurales de algunos edificios ubicados en la ciudad
Abril 16, 2016	Pedernales	7,8	Pérdidas de 657 vidas humanas, además de multimillonarias pérdidas económicas

La gran cantidad de terremotos que se han dado en las Provincias de Esmeraldas y Manabí (Norte del Ecuador) con relación a las Provincias de Santa Elena, Guayas y Machala (Sur del País), ver **Ilustración I.3**, lo que evidencia que en el norte del Ecuador existe un mayor acoplamiento de las placas tectónicas de Nazca y América en relación a la zona Sur del país.

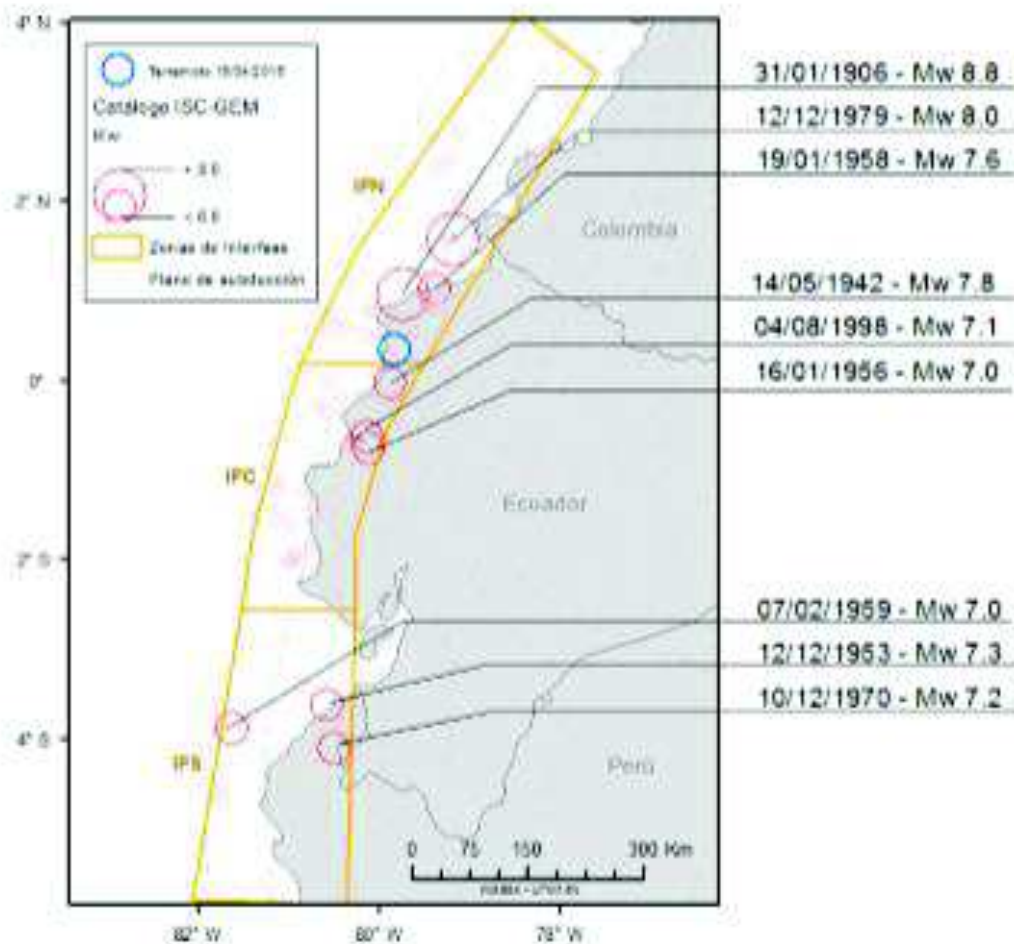


Ilustración I-3 Sismos interplaca tipo thrust que han afectado al Ecuador. Fuente: (Aguilar & Miele, 2016)

## 1.2. SISMOS

Los sismos se originan debido a la liberación de energía acumulada que se produce cuando los materiales del interior de la Tierra se desplazan en todas direcciones. La energía liberada se desplaza a través de la tierra en forma de ondas, a partir de la inestabilidad que es producida mediante el movimiento relativo entre placas tectónicas como consecuencia de actividades volcánicas, movimientos de ladera, hundimiento de cavernas, variaciones bruscas en la presión atmosférica por ciclones e incluso la actividad humana. (Russell, 2010)

### 1.2.1 Sismicidad en el Ecuador

El Ecuador tiene una larga historia de actividad sísmica que, en los últimos 460 años, ha provocado la destrucción de ciudades enteras como Riobamba e Ibarra, con la muerte de

más de 60,000 personas. 37 Escenarios sísmicos probables evaluados en Quito, Guayaquil y Cuenca, muestran la necesidad urgente por emprender en programas para la mitigación del riesgo sísmico.

El estudio del riesgo sísmico y su impacto en el desarrollo, constituye un reto científico crucial para el siglo XXI. (NEC, 2015)

### **1.2.1. Zonas sísmicas del Ecuador**

El peligro sísmico en Ecuador está regido principalmente por dos tipos de fuentes sísmicas: subducción (interplaca e intraplaca), y de tipo corticales (superficiales). En cada una de estas fuentes se lleva a cabo un proceso de acumulación y liberación de energía independiente del que ocurre en las demás fuentes. Los sismos *interplaca* (profundidad < 40 km) corresponden a los sismos que se generan por el roce entre la placa de Nazca que subduce bajo la placa Sudamericana a lo largo de su zona de convergencia. Los sismos *intraplaca* (profundidad entre 40 y 300 km) corresponden a los sismos de falla normal de profundidad intermedia, localizados dentro de la placa oceánica de Nazca que subduce bajo la placa continental Sudamericana. Los sismos *corticales* (profundidad < 40 km) corresponden a los sismos someros que ocurren dentro de la placa Sudamericana. (Alvarado, 2012)

Los sismos pueden presentarse en cualquier día y hora del año, siendo estos de grandes magnitudes y totalmente impredecible. Por ello cuando se presentan van dejando un sin número de pérdidas. El investigador del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), señaló que “Vivimos en un planeta vivo por lo que en su interior hay material caliente que está en procesos constantes de transformación y energía.” (Campos, 2004).

La gran parte de pérdidas debidas a los terremotos se dan a que las edificaciones son deficientes, es decir no muestran el comportamiento adecuado al presentarse un sismo. Los daños que pueden sufrir las edificaciones pueden ser leves o incluir el colapso, es de vital importancia tener en cuenta cinco aspectos fundamentales al momento de diseñar una edificación como son: la rigidez, masa, la resistencia, capacidad dúctil y la peligrosidad sísmica, con el fin de que la estructura sea capaz de soportar eventos sísmicos. (Russell, 2010).

Las principales causas que se tienen identificadas referente a los daños que sufren las estructuras durante la acción de los terremotos son variantes entre el tipo de construcción, de la localización y el tipo de edificación.

Cuando se planifica construir una edificación, estas se dimensionan generalmente para dos tipos de cargas como son las cargas estáticas que son aquellas cargas estacionarias estas deben tener dirección, magnitud y puntos de aplicación ya sea de una fuerza o un momento. Y para cargas dinámicas, que son cargas con un comportamiento frágil, estas son emanadas por el impacto de un cuerpo en movimiento pueden ocasionar que una parte de la estructura o la estructura en sí tenga efectos de vibración.

La clasificación de un terremoto es compleja, en el sentido de que los daños pueden ser muy distintos, dependiendo de cuál sea el área afectada, tanto por su extensión como sobre todo por la densidad de población en ella; no obstante, dos escalas utilizadas muy frecuentemente son la Escala Richter y la Escala Mercalli, que miden la intensidad del sismo y la cantidad de energía liberada en el epicentro, mediante los índices que se establecen y definen en la siguiente tabla, clasificados por los efectos potenciales. (Santoña, 2013)

Tabla I-2 Escala Richter y la Escala Mercalli Fuente: ( EcuRed, 2016)

<b>Escala Richter</b>	<b>Efectos del terremoto</b>
<b>Menos de 3.5</b>	Generalmente no se siente, pero es registrado
<b>3.5 - 5.4</b>	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores
<b>5.5 - 6.0</b>	Ocasiona daños ligeros a edificios
<b>6.1 - 6.9</b>	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
<b>7.0 - 7.9</b>	Terremoto mayor. Causa graves daños
<b>8 o mayor</b>	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.
<b>Escala Mercalli</b>	<b>Efectos del terremoto</b>
<b>Grado I</b>	Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
<b>Grado II</b>	Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.
<b>Grado III</b>	Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado. Duración estimable
<b>Grado IV</b>	Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.
<b>Grado V</b>	Sacudida sentida casi por todo el mundo; muchos despiertan. Algunas piezas de vajilla, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen de relojes de péndulo.
<b>Grado VI</b>	Sacudida sentida por todo mundo; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio; pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.
<b>Grado VII</b>	Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; rotura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.
<b>Grado VIII</b>	Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en la personas que guían vehículos motorizados.
<b>Grado IX</b>	Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.
<b>Grado X</b>	Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.
<b>Grado XI</b>	Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas.
<b>Grado XII</b>	Destrucción total. Ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel (ríos, lagos y mares). Objetos lanzados en el aire hacia arriba.

### 1.2.2. Sensibilidad ante los sismos.

Los temblores, que se han registrado en las últimas semanas en Santa Elena, incluido un movimiento de 6,3 grados en la escala de Richter, han demostrado la alta actividad sísmica que tiene el Ecuador. El país está ubicado sobre el choque de dos placas tectónicas: la Nazca y la Sudamericana, fenómeno natural que provoca la mayoría de los sismos. “La placa Nazca se mete bajo el continente”, (Alvarado A. , 2019)

Aunque en la Península no son frecuentes los sismos de grandes intensidades, sí existen registros históricos de temblores en la zona y, según Alvarado, esto responde a un proceso normal de liberación de energía. (Alvarado A. , 2019)



Ilustración I-4 Número de sismos del año 2000-2017. Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

Sin embargo, la especialista indica que, probablemente, luego del terremoto de Pedernales se generó mucha fuerza que se distribuyó en todo el Ecuador.

“Por eso ha habido una tasa de sismicidad mayor y esto es en cierta forma natural porque relajó mucha energía en esa época y esta (ahora) se concentra en otros puntos que tenían una carga importante y se vuelven a romper”, (Alvarado A. , 2019)

Según las cifras más actualizadas del IG-EPN, entre 2016 y 2017 se registraron 12.049 sismos en todo el territorio nacional.

Debido al terremoto de 7,8 y sus posteriores réplicas (4.976 hasta el 23 noviembre pasado), el 2016 fue el año más sísmico desde el 2000. “Los datos recopilados muestran que la alteración que sufrió la región después del terremoto del 2016 aún se mantiene y es previsible que haya sismos en otros lugares”, (Nacional, 2018)

Desde el 2014 ya se evidenciaba un incremento de la actividad sísmica, pero los científicos del IG afirman que eso responde a que se mejoró la capacidad de detectarlos. **“No hay relación entre el número de sismos y la presencia de uno mayor. Al contrario, mientras más (sismos) haya, hay descarga de esta acumulación de energía y tendríamos menos probabilidades”**, (Yépes, 2018)

Los estudios indican que en la franja costera desde Bahía de Caráquez hasta el límite con Colombia hay tres segmentos de acumulación de energía.

La del sur Jama-Pedernales ya liberó con el terremoto del 2016 tras 74 años de acumulación, ya que el último sismo fue en mayo de 1942. El otro segmento va desde Punta Galeras, en el sur de la provincia de Esmeraldas, hasta la desembocadura del río Verde y el último está más al norte y llega a Tumaco, en Colombia. (Yépes, 2018)

Para Carlos Martillo, investigador de Geología Marina y Costera de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), los ecuatorianos deben aprender a convivir con la alta sismicidad como lo logró Chile.

“En ese país la gente sabe qué hacer ante un sismo, tienen protocolos para las construcciones y a eso debemos llegar. Pero esto no solo es de autoridades porque se pueden dictar protocolos para construir, pero si la gente sigue construyendo casas con bases delgadas y de tres pisos, pues habrá daños”, (Martillo, 2018). Las ciudades en el país deben realizar estudios del tipo de suelo para poder identificar las áreas más vulnerables. **“Hacer una sectorización sísmica. Si el suelo es rocoso habrá menos afectación que uno que fue rellenado sobre el mangle”**.

No es posible para la ciencia predecir con exactitud cuándo ocurrirá un terremoto. Pero una de las maneras de establecer si pasará está basada en lo que se conoce como el cálculo probabilístico del peligro. Antes del terremoto de Pedernales, el análisis registraba un mayor peligro en Portoviejo: **“Había una posibilidad de que las aceleraciones de**



cuanto se mueva la tierra lleguen a un 50% o más de la aceleración de la gravedad”, (Yépes, 2018)

### 1.3. PELIGROSIDAD SÍSMICA EN EL ECUADOR

La actividad sísmica en el Ecuador en los últimos 460 años ha ocasionado la destrucción de ciudades enteras como Riobamba e Ibarra y escenarios de alta sismicidad evaluados en Esmeraldas, Manabí, Quito, Guayaquil y Cuenca, lo que muestra la gran necesidad por emprender programas para la mitigación del riesgo sísmico.

El estudio de riesgo sísmico es de gran importancia y relevancia en nuestro medio debido a la alta sismicidad en la que se encuentra el país, este consta de 3 factores: peligro sísmico, nivel de exposición y vulnerabilidad al daño de las edificaciones.

El análisis de vulnerabilidad se lo relaciona con una medida de intensidad sísmica o con una medida de daño en la edificación, en muchos casos las funciones de vulnerabilidad también incorporan las consecuencias del daño en términos de pérdidas humanas y materiales.

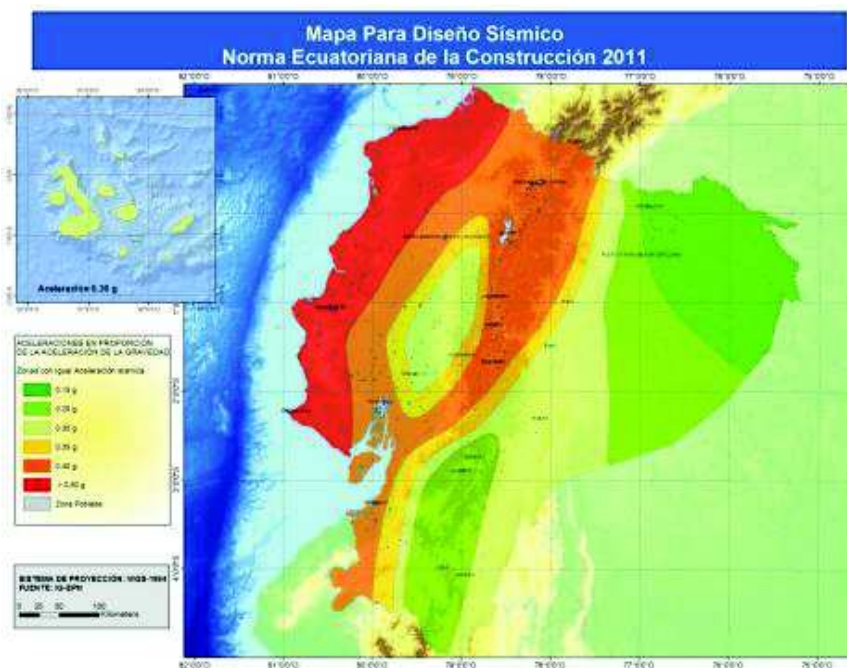


Ilustración I-5 Mapa para diseño Sísmico, FUENTE: (NEC-SE-DS, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente, 2015)

Ecuador en su mayor extensión territorial se encuentra ubicado en una zona de alto peligro sísmico, como lo evidencia la **NEC-SE-DS**, en la **Ilustración I-5**

La vulnerabilidad o susceptibilidad al daño de muchas edificaciones se debe a que tienen una alta exposición a la peligrosidad sísmica ya que se encuentran situadas en ciudades costeras, donde el riesgo aumenta indudablemente.

#### **1.4. VULNERABILIDAD SÍSMICA.**

Al grado de daño que sufre una estructura, ocasionado por un sismo de determinadas características, se le denomina vulnerabilidad sísmica.

La vulnerabilidad sísmica frente a un sismo de determinadas características es una propiedad intrínseca de cada estructura y, por tanto, independiente de la peligrosidad del emplazamiento. Esto quiere decir que una estructura puede ser vulnerable pero no estar en riesgo si no se encuentra en un sitio con una cierta peligrosidad sísmica. (Barbat, 2005)

Es importante el concepto de vulnerabilidad sísmica, para estudios sobre riesgos sísmicos y para reducir de cierta manera los desastres a causa de terremotos. Al hablar de riesgo sísmico se refiere al grado de pérdidas que se tienen previsto sufrirá la estructura durante el tiempo que se exhibe a la acción sísmica. A este tiempo en el cual la estructura queda expuesta se le nombra como periodo de vida útil de la estructura. (Barbat, 2005)

Se debe tener en cuenta que la vulnerabilidad sísmica de una estructura es una propiedad intrínseca a sí misma, y, además, es independiente de la peligrosidad del lugar ya que se ha observado en sismos anteriores que edificaciones de un tipo estructural similar sufren daños diferentes, teniendo en cuenta que se encuentran en la misma zona sísmica. En otras palabras, una estructura puede ser vulnerable, pero no estar en riesgo si no se encuentra en un lugar con un determinado peligro sísmico o amenaza sísmica.

Es preciso resaltar que no existen metodologías estándares para estimar la vulnerabilidad de las estructuras. El resultado de los estudios de vulnerabilidad es un índice de daño que caracteriza la degradación que sufriría una estructura de una tipología estructural dada, sometida a la acción de un sismo de determinadas características. (Campos, 2004)

## **1.4.1. CLASES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA**

### **1.4.1.1. Vulnerabilidad Estructural**

Se refiere a que tan susceptibles a ser afectados o dañados son los elementos estructurales de una edificación o estructura frente a las fuerzas sísmicas inducidas en ella y actuando en conjunto con las demás cargas habidas en dicha estructura. Los elementos estructurales son aquellas partes que sostienen la estructura de una edificación, encargados de resistir y transmitir a la cimentación y luego al suelo; las fuerzas causadas por el peso del edificio y su contenido, así como las cargas provocadas por los sismos. Entre estos elementos se encuentran las columnas, vigas, placas de concreto, muros de albañilería de corte, etc. Debido a ello como se dirá que un buen diseño estructural es la clave para que la integridad del edificio sobreviva aún ante desastres naturales severos como lo son los terremotos.

### **1.4.1.2. Vulnerabilidad No Estructural.**

Un estudio de vulnerabilidad no estructural busca determinar la susceptibilidad a daños que estos elementos puedan presentar. Sabemos que al ocurrir un sismo la estructura puede quedar inhabilitada debido a daños no estructurales, sean por colapso de equipos, elementos arquitectónicos, etc., mientras que la estructura permanece en pie.

### **1.4.1.3. Vulnerabilidad Funcional**

Un estudio de la vulnerabilidad funcional busca determinar la susceptibilidad de una edificación a sufrir un “colapso funcional” como consecuencia de un sismo. Esto es sólo visible en el momento en que ocurre una emergencia. A fin de determinar en esta tercera etapa la vulnerabilidad funcional, se evalúa lo referente a la infraestructura. En primer lugar, el sistema de suministro de agua y de energía eléctrica, que son las partes más vulnerables. También son afectadas por los sismos las tuberías de alcantarillado, gas y combustibles, para lo cual se realizan investigaciones sobre su resistencia y flexibilidad. Estos aspectos funcionales incluyen también un análisis detallado de las áreas externas, vías de acceso a exteriores y su conexión con el resto de la ciudad; las interrelaciones, circulaciones primarias y secundarias, privadas y públicas y los accesos generales y particulares de las áreas básicas en que se subdivide el edificio. Se analiza la posibilidad

de inutilización de ascensores, acumulación de escombros en escaleras y pasillos, como así también el atascamiento de puertas. (UDEP, 2015)

### 1.5. RIESGO SÍSMICO

Según (Sergisai, 2016) el riesgo sísmico “Son las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un terremoto, como resultado de la falla de estructuras cuya capacidad resistente fue excedida por un terremoto. ”. El riesgo sísmico es dependiente tanto de la vulnerabilidad como de la peligrosidad, cuando se habla de vulnerabilidad sísmica de una estructura se refiere a la calidad estructural, es decir la capacidad que tiene dicha estructura para poder resistir frente a un terremoto.

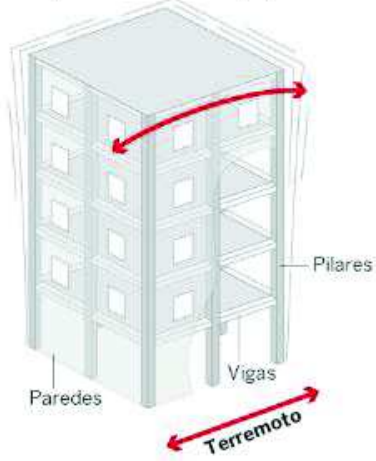


*Ilustración I-6 Metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica, Fuente: (Peralta, 2002)*

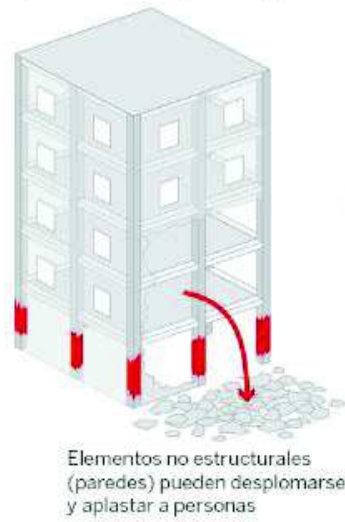
Es indispensable en la construcción de una estructura la seguridad sismo resistente, por lo que está debe ser superior en los nudos que en los fragmentos (vigas o pilares) y que estas últimas deben ser viga débil – pilar fuerte. Los materiales con mayor seguridad son los elásticos tales como madera y el hormigón armado.

Ecuador tiene una alta peligrosidad sísmica, a pesar que esto viene ya de muchísimos años atrás, no se ha concientizado mucho con respecto al tema y las construcciones siguen siendo deficientes, esto ha provocado que ciudades enteras dentro del país se destruyeran casi en su totalidad tal es el caso de Ibarra en 1868 o la ciudad de Riobamba con el terremoto de 1797 siendo estos tan devastadores que provocaron la muerte de unas 60.000 personas. Realmente en nuestro país no existe conciencia acerca de la peligrosidad sísmica. (Yépes, 2018)

**1** El terremoto produce **movimientos laterales**, para los que el edificio no está preparado



**2** Los daños del edificio **se concentran en una planta** (muchas veces, la planta baja)



**3** La planta dañada deja de poder soportar las cargas verticales y el edificio **se desploma**

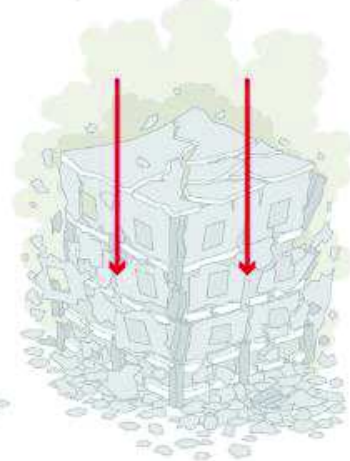


Ilustración I-7 Fallos que suelen presentarse cuando en una estructura no sismo-resistente (Arcus, 2017)

## CAPÍTULO II

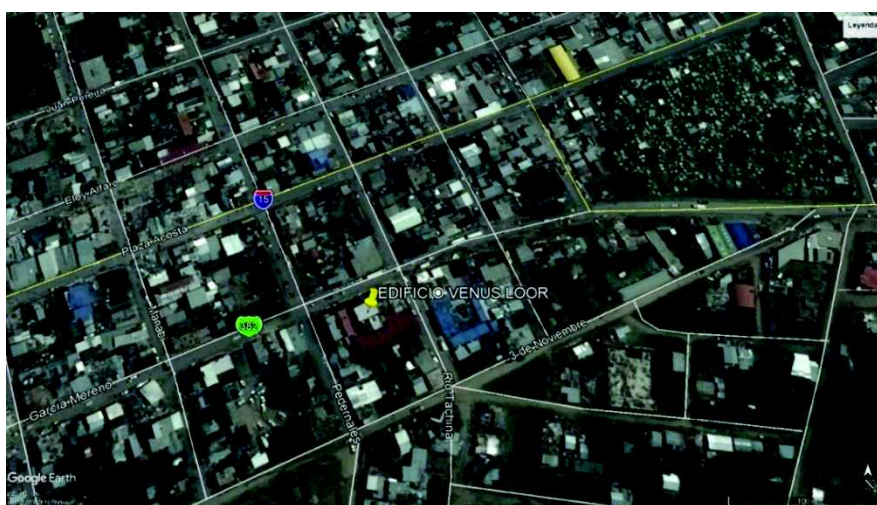
### 2. GENERALIDADES DE LA EDIFICACIÓN

En el presente capítulo se detallan cada una de las generalidades de la estructura, así mismo los estudios que fueron realizados para el posterior estudio de vulnerabilidad.

#### 2.1. Ubicación y localización de la edificación

El Edificio “Venus Loor” cuya propietaria es la señora **Venus Araceli Loor Delgado**, está ubicado en la calle García Moreno entre Pedernales y Río Tachina. Véase las;

#### Ilustración II-1



*Ilustración II-1 Edificio Venus Loor, Fuente: Google Earth*

#### Ilustración II-2



*Ilustración II-2 Ubicado en la calle García Moreno entre Pedernales y Río Tachina. Fuente: Google Earth*

## 2.2. Datos Generales Del Inmueble.

Se realizó un levantamiento de información general del edificio donde se puede destacar el año de construcción y su uso, como se detalla en la **Tabla II-1** presentada a continuación:

*Tabla II-1 Datos generales del inmueble. Fuente: Autores*

Nombre del Inmueble	Edificio Venus Loor
Dirección	Calle García Moreno entre Pedernales y Río Tachina
Ubicación	Medianero
Coordenadas	Longitud: 80.05111 Latitud: 10.070.411
Persona contactada	Señora Venus Loor (propietaria) Ing. Gualberto Ricaurte (proyectista)
Año de construcción	1998
Uso del inmueble	Bodega en Sótano Oficina bancaria funcionaba en Planta Baja hasta el día del terremoto Habitacional en pisos superiores
Importancia	Según Tabla 6 de la pág. 47 de la NEC-SE-DS-Peligro Sísmico, I = 1
Estado de ocupación	Desalojada por los daños presentados durante el terremoto

## 2.3. Características De La Estructura

### 2.3.1. Terreno y cimentación.

La información correspondiente al terreno y su cimentación se presenta en la **Tabla II-2**, la metodología de obtención de los datos detallada a más profundidad en el capítulo posterior.

Tabla II-2 Datos de terreno y cimentación de la estructura. Fuente: Autores

Topografía	Planicie, área de terreno plana.
Nivel de aguas freáticas	No detectado en 12 m de perforación
Pendiente del terreno	Menor al 10%
Tipo de suelo	Tipo D de acuerdo a la NEC 2015 (Se realizó el respectivo estudio Geotécnico como se muestra en el apartado 2.8)
Suelo de desplante	Transición
Cimentación	Tipo cajón, un sótano.

### 2.3.2. Características generales de la estructura.

Existe una sola estructura principal compuesta por un sótano, la planta baja a nivel de la calle García Moreno, 6 plantas altas, terraza (planta siete) y una sobre cubierta que es aproximadamente la mitad de la planta de terraza.



Ilustración II-3 Vista de la fachada principal y Vista de la fachada posterior del edificio VENUS LOOR. Fuente: Autores

Toda la estructura es de hormigón armado con un sistema estructural compuesto de columnas cuadradas y losas con vigas banda. Las dimensiones de las columnas se presentan a continuación en la siguiente tabla:



Tabla II-3 Dimensiones de columnas por piso. Fuente: Autores

Planta	Dimensiones de columnas	Altura de entrepiso
Sótano a PB	60x60	260
PB a 1PA	55x55	315
1PA a 2PA	50x50	245
2PA a 3PA	45X45	245
3PA a 4PA	45X45	245
4PA a 5PA	40x40	245
5PA a 6PA	40x40	245
6PA a Terraza	35x35	245
Terraza a Sobrecubierta	35 (circulares)	225

Existen 5 ejes de columna en el sentido Este – Oeste, paralelos a la calle García Moreno e identificados como numéricos, su separación en promedio esta entre 4 y 5 m. En el sentido Norte – Sur, existen 4 ejes perpendiculares a la calle García Moreno e identificados como alfabéticos, el área de la estructura se presenta a continuación en la **Tabla II-4**

Tabla II-4 Dimensiones en planta y cálculo de áreas. Fuente: Autores

Bloque	Dimensiones		Área (m2)	Ubicación
	L1	L2		
Estructura principal	18,27	16,21	296,16	Sótano
	18,27	16,21	296,16	Planta Baja
	19,77	16,21	320,47	PB-1PA
	19,77	16,29	322,05	1PA-2PA
	21,27	16,29	346,49	2PA-3PA
	21,27	16,29	346,49	3PA-4PA
	21,27	16,29	346,49	4PA-5PA
	21,27	16,29	346,49	5PA-6PA
	21,27	16,29	346,49	6PA-Terraza
	10,64	16,29	173,33	Terraza - Sobrecubierta
			3140,61	m <sup>2</sup>

La estructura posee paredes de mampostería de bloques arcillas, algunas de ellas reforzada con barras metálicas adheridas a las columnas. Estos elementos son conocido normalmente como muros diafragma o muros de relleno, están contruidos dentro de los marcos, ya sean marcos de concreto o de acero, y que están en contacto con dicho elemento del marco por lo que lo restringen ante desplazamientos horizontales en cuyo caso el marco se apoyará contra el muro (**Ilustración II-4 e II-5**).



*Ilustración II-4 Muros diafragma o Muros de relleno. Fuente: Google*



*Ilustración II-5 Muros diafragma en la estructura. Fuente: Autores*



Ilustración II-6 Ubicación de la estructura. Fuente Autores

#### 2.4. Levantamiento de información.

Para realizar el levantamiento de la información se ejecuta la adecuada selección de los datos e información con respecto a la estructura, las características del edificio correspondientes al desempeño sísmico pueden ser obtenidas a partir de las siguientes fuentes:

- Observación de campo de las condiciones expuestas y la configuración del edificio.
- Documentos constructivos, análisis, memorias técnicas, estudios de suelos realizados, datos proporcionados por el propietario o por el código oficial.
- Ensayos destructivos o no destructivos para la determinación de las características de los materiales. Y así también como todos aquellos documentos técnicos relevantes para el estudio de vulnerabilidad estructural.

**Ensayos destructivos:** Ensayos realizados a muestras de núcleos de hormigón extraídas de los elementos estructurales más críticos (columnas y vigas) en los diferentes niveles del edificio.

La extracción de núcleos se realiza mediante una máquina diseñada para cortar concreto, asfalto y otros materiales duros similares de construcción, este equipo se coloca cerca del elemento estructural que será cortado y con una ventosa es adherido a la pared, de tal

forma que la broca del aparato pueda perforar el elemento estructural y sacar la muestra, funciona junto con un ensamble para rociar agua.

**Ensayos no destructivos:** Ensayos realizados a elementos estructurales de cada nivel, mediante equipo de esclerómetro y carbonatación, las cuales son permitidas siempre y cuando se complementen con ensayos de núcleos. Obtenidos los resultados se deberá realizar una correlación de los datos en las pruebas no destructivas, con los valores de rotura obtenidos en los núcleos extraídos.

El ensayo con esclerómetro se realiza mediante el equipo Silver Schmidt, el cual determina mediante 9 rebotes al hormigón la resistencia del elemento estructural elegido. Para llevar acabo de forma correcta este ensayo, se debe limpiar la superficie del elemento estructural, de forma que sea lisa y sin enlucido, para un resultado adecuado.

El ensayo con fenolftaleína se realiza rompiendo un pedazo de concreto el cual debe quedar limpio libre de polvo residuales, se coloca el líquido químico (fenolftaleína) donde se crea que puede haber carbonatación. Las áreas carbonatadas del concreto no cambiarán de color, es decir, que cuando el dióxido de carbono se introduce en los poros del concreto éste se mezcla con el hidróxido formando carbonatos, perdiendo el concreto su alcalinidad, por lo tanto, el pH disminuye y se vuelve vulnerable al proceso corrosivo; mientras que las áreas con un pH mayor a 9 tomarán un color rosado intenso, es decir, que entre más elevado el pH mejor será su base de resistencia alcalina. Nótese en la

#### **Ilustración II-5.**



*Ilustración II-7 pH mayor a 9. Fuente: Autores*


Los reconocimientos que se hacen de manera visual de la estructura sirven para fundamentar criterios básicos para el desarrollo del estudio de la edificación, ya que por medio de estas visitas técnicas se confirma el dimensionamiento de los elementos estructurales, así como la ubicación y distribución del área de refuerzo del acero, corroborando que la información proporcionada en los planos estructurales sea la educada.

La información correspondiente a los ensayos deberá contener todos los datos importantes de acontecimientos o incidencias y de las fases del transcurso de toma de muestras identificadas con la fecha y el tipo de elemento estructural (vigas, columnas, muros de carga), y cualquier otra información relevante acerca de la edificación.

## 2.5.EVALUACIÓN DE DAÑOS

### 2.5.1. Elementos no estructurales

La estructura posee daño general severo (colapso) en las paredes de Primer Piso Alto (1PA) y Segundo Piso Alto (2PA), en donde colapsaron totalmente paredes interiores y exteriores.

	<p>a) Columna esquinera D5 de planta baja, se divisan escombros en la colindancia con el predio vecino. Se extrajo Núcleo N16, con un alto valor de resistencia a la compresión en el hormigón (371 kg/cm<sup>2</sup>).</p>
-------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



b) Foto del mes de julio de 2015, se observa que la separación con el predio situado al Este del edificio Venus Loor, data de antes del terremoto.



c) Foto posterior al terremoto, vista exterior de colapso de mampostería en 1PA y 2PA.



d) Fachada posterior, entrada al sótano. Vista desde galpón vecino, que sufrió el daño de la cubierta de asbesto cemento por la caída de trozos de paredes de primer y segundo piso.






e) Daño severo en pared de mampostería de Planta Baja por la presencia de grietas por cortante (inclinadas). Vista desde la rampa de acceso al sótano.



f) Columna interior C2 de planta baja, se divisan escombros en la planta baja. Se extrajo Núcleo N17, con un alto valor de resistencia a la compresión en el hormigón (306 kg/cm<sup>2</sup>).



g) Vista interior de Planta baja, Columna interior B4 de planta baja. Se extrajo Núcleo N18, con un alto valor de resistencia a la compresión en el hormigón (471 kg/cm<sup>2</sup>).

	<p>h) Daño severo por una combinación de corrosión del acero y falla en la escalera de acceso de PB a 1PA.</p>
	<p>i) Colapso total de mampostería en 1PA, cuadrante compuesto entre los ejes 1-2 y C-D.</p>
	<p>j) Colapso total de mampostería interior en 1PA. Cuadrantes ejes 2 – 3 y ejes A – B – C. Obsérvese el espesor innecesario en la mampostería.</p>





k) Colapso total de mampostería exterior en 1PA, eje D, de igual forma la mampostería interior. Obsérvese el espesor innecesario en la mampostería.



l) Colapso total de mampostería exterior en 2PA, columna 1D, de igual forma la mampostería interior.  
Daño severo en la mampostería del volado, la grieta inclinada sugiere que el volado tuvo grandes deformaciones verticales.



m) Colapso total de mampostería exterior en columna 1A de 2PA, de igual forma la mampostería interior. Daño severo en la mampostería del volado, la grieta inclinada sugiere que el volado tuvo grandes deformaciones verticales.



n) Colapso total de mampostería interior en 2PA.



o) Daño severo mampostería interior en 3PA.






p) Daño grave en mampostería interior en 3PA.



q) Daño grave en mampostería interior en 3PA



r) Daño grave en mampostería interior en 4PA

 A photograph showing a room with a tiled floor and a wall that has been severely damaged. A large, jagged crack runs across the wall, and a significant portion of the masonry has crumbled away, exposing the interior structure. A doorway is visible on the right side of the frame.	<p>s) Daño severo en mampostería de terraza.</p>
 A photograph of a hallway or terrace area with a tiled floor. A white column or wall section has a large, irregular hole where the plaster has been lost, revealing the underlying concrete. A white plastic chair with a green bag on it is positioned to the right of the damaged area.	<p>t) Perdida del enlucido en columna de terraza a sobrecubierta, nótese el excesivo espesor del enlucido.</p>
 A photograph showing a corner of a room with a tiled floor. The masonry on the wall is damaged, with a jagged crack and some crumbling. A doorway is visible in the background.	<p>u) Daño medio en mampostería de terraza.</p>

## 2.5.2. ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

	<p>a) Vista de columnas y vigas de Sótano a PB.</p> <p>No presentan agrietamientos en elementos estructurales.</p> <p>Adicionalmente se observa la losa nervada en dos direcciones.</p>
	<p>b) Agrietamiento por flexión en extremo superior de columna 1C de 1PA, con explosión del hormigón.</p>
	<p>c) Acercamiento.</p>

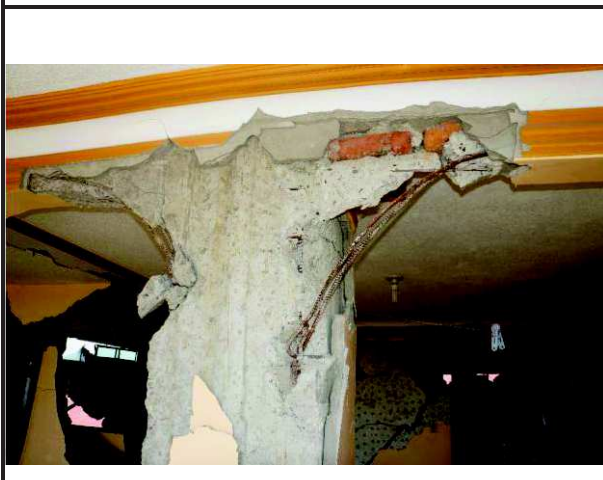


d) Grietas por flexión y exposición del refuerzo longitudinal en extremo superior de columna 4B de 1PA.



e) Daño en extremo superior de columna 5B de 1PA con exposición del acero de refuerzo.

Mala práctica durante el proceso de fijar el acero de mampostería.



f) Daño en extremo superior de columna 5C de 1PA con exposición del acero de refuerzo.

Mala práctica durante el proceso de fijar el acero de mampostería.

## 2.6. VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad estructural se refiere a la susceptibilidad de daño que una estructura presenta frente a algún evento, sea este natural o antrópico, que lleve a la estructura a cualquiera de sus límites de funcionamiento. En el presente caso se ha determinado en la estructura las siguientes posibles fuentes de vulnerabilidad:

### 2.6.1. Posición en la manzana

La estructura es medianera o en medio de la cuadra, tiene muros colindantes lo que se interpreta que tiene muros colindantes cerrados en ambos lados con predios vecinos y la fachada abierta hacia la vialidad.

### 2.6.2. Irregularidad en planta

En el apartado 5.3.3. *Irregularidades y coeficientes de configuración estructural* de la NEC-SE-DS en la pág. 53, especifica que existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia.

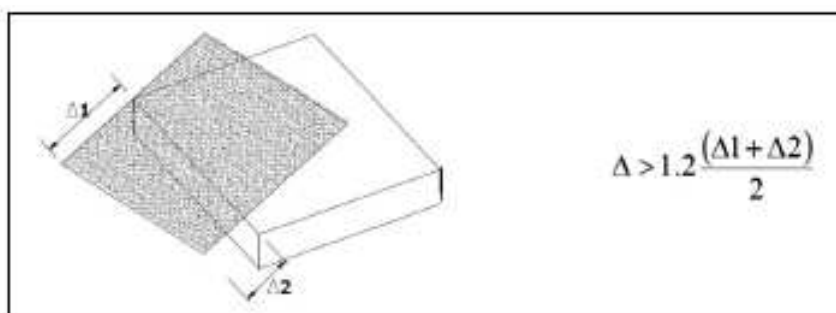


Ilustración II-8 Irregularidad por torsión. Fuente: (NEC N. E., 2015)

En el presente caso la estructura posee un centro de masas muy cercano al centro de rigideces y, por lo tanto, la estructura no presenta irregularidad en planta, cabe recalcar que se tomó en cuenta la torsión accidental que es del 5% como lo refleja la NEC 2015.

De igual manera no se identificaron ejes paralelos, las discontinuidades en el sistema de piso son relativamente pequeñas y no posee aberturas mayores al 20% del área de toda la planta. Además, la estructura posee una implantación regular.

### **2.6.3. Irregularidad en elevación (Ilustración II.11)**

La NEC-SE-DS especifica que una edificación es irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1.3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.

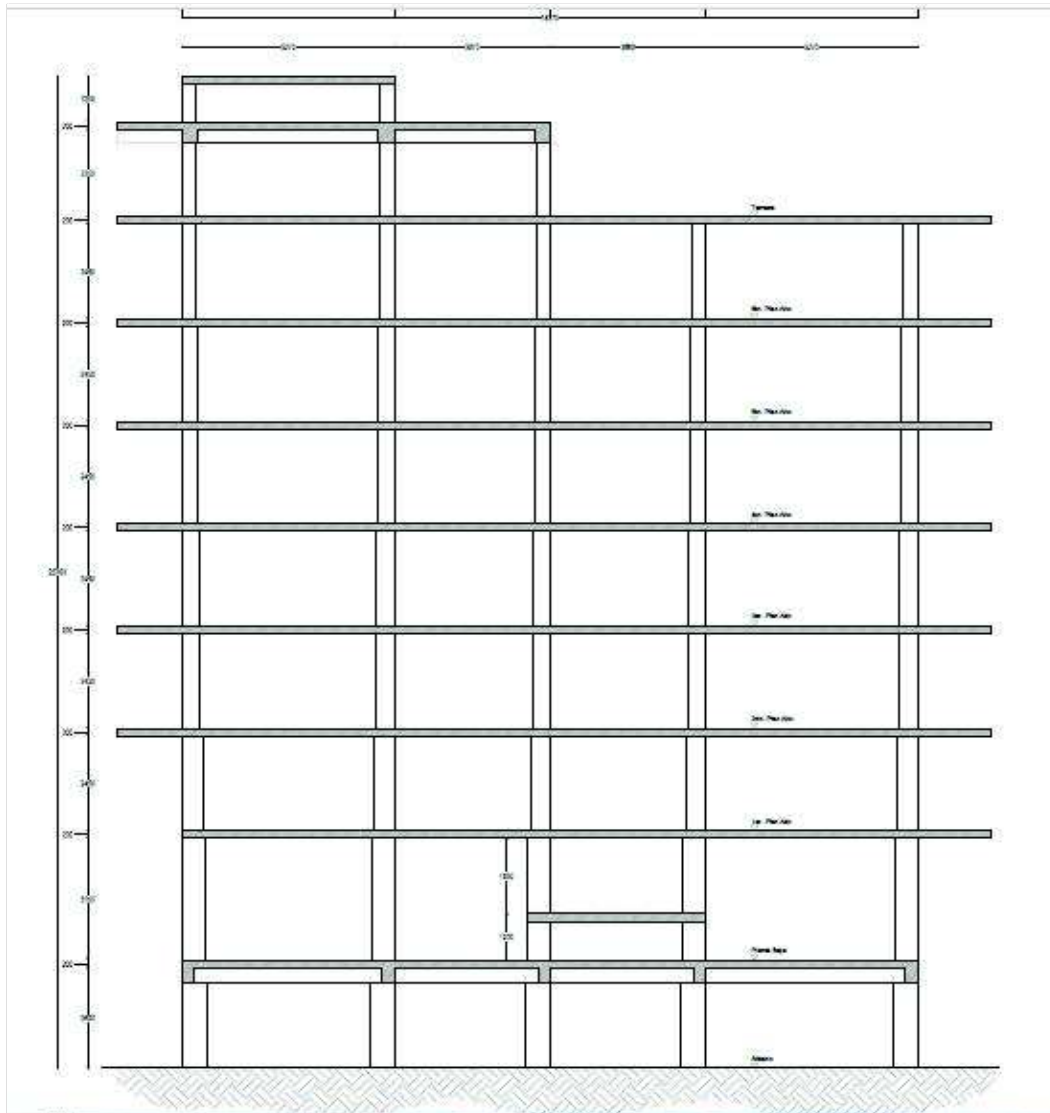
En el presente caso la estructura posee una sobrecubierta cuya dimensión  $b = 3.87 + 5.27 = 9.14\text{m}$ .

Mientras que la dimensión mayor es  $a = 18.27\text{ m}$ . Para que se cumpla la calificación de irregularidad en altura,  $a > 1.3b$ , como  $18.27 > 11.88$ , entonces la estructura posee irregularidad en altura, por lo tanto,  $\text{ØE} = 0.9$ . En la Ilustración II-8, se observa un corte de la edificación.

### **2.6.4. Otra fuente de vulnerabilidad**

La propia composición estructural columnas y vigas banda, por ser estructuras flexibles.





*Ilustración II-9 Vista de la elevación de la estructura. Fuente: Autores*

## **2.7. ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN Y VERTICALIDAD**

### **2.7.1. Resistencia del hormigón**

Hasta la presente fecha se han ejecutado extracciones de núcleos en partes sanas de elementos estructurales de la estructura, lo cual arroja una resistencia promedio 383 kg/cm<sup>2</sup>, de acuerdo con el reporte realizado por el Laboratorio CONGEOTEC S.A. (Tabla II-5).

Tabla II-5 Resistencia a compresión calados en hormigón. Fuente: CONGEOTEC

RESISTENCIA A COMPRESION DE NUCLEOS CALADOS EN HORMIGON											
ASTM C 42											
EDIFICIO VENUS LOOR											
RESPONSABLES: Thalia Zambrano y Alejandro Cobeña											
Muestra	Edificación	Dia.	Alt. s/r	Peso	Dens.	Alt. c/r	H/D	Carga	esistenci	Factor	R. Corr.
		mm	mm	g	kg/m3	mm		kN	kg / cm2	CORR.	kg / cm2
1	Edificación de apartamentos de la Sra. Venus Loor, 6 pisos sobre el suelo	70,2	91,6	802,3	2263	96,3	1,37	149,7	394	0,94	371
2		70,2	136,2	1185,0	2248	140,0	1,99	116,1	306	1,00	306
3		70,2	135,1	1200,1	2295	139,3	1,98	180,7	476	0,99	471
Notas:		s/r:	Altura sin refrentado.								
		c/r:	Altura con refrentado.								
		H/D:	Relación altura / diámetro.								
		Factor:	El factor de corrección considera la altura de la muestra con el refrentado, en comparación con el diámetro, según ASTM C 42.								

No se conoce de la existencia de planos estructurales ni la resistencia de diseño del hormigón, sin embargo, el requerimiento de resistencia a la compresión del hormigón según la Tabla 19.2.1.1 el ACI 2014, es de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Por lo tanto, **la estructura posee una resistencia a la compresión del hormigón en zonas sanas de la misma, mayor a lo requerido por la norma.**

### 2.7.2. Tomas esclerométricas

Los resultados de esclerometría presentan lecturas entre 33 y 35, con un valor mínimo único de 29, no son valores distantes el uno del otro y son consistentes con los valores de resistencia del hormigón.

Tabla II-6 Lectura de Ensayo ESCLEROMETRICO. Fuente: Autores

Descripción		Lecturas de rebote esclerometrico												Promedio de	VALORES		
N° de Nucleos	Ubicacion	N° puntos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	filas	EN kg/cm2	
N3	PB	1	42	40	42	38	44	46	44	38	46	50	46	44	43	460	
		2	38	44	40	44	42	38	44	40	38	42	42	38	41	420	
N2		3	46	42	38	44	40	38	36	46	38	36	44	42	41	420	
		4	44	40	40	44	38	36	46	48	44	38	42	36	41	420	
N1		5	42	44	38	40	38	40	40	42	44	38	40	40	41	420	
		6	42	44	38	44	38	36	36	40	46	42	44	36	41	420	
		1PA	7	46	40	38	44	38	36	36	40	38	38	36	42	39	380
			8	42	44	38	44	38	44	48	46	36	38	44	40	42	440
			9	46	40	38	44	38	36	36	40	46	42	38	42	41	420
			10	38	42	40	40	38	36	36	40	36	38	38	44	39	380
														Promedio	41	420	

### 2.7.3. Ensayo de contenido de cloruros

Se ejecuta este ensayo por cuanto está dentro de los requisitos de durabilidad exigidos en el CAPÍTULO 19: CONCRETO: REQUISITOS DE DISEÑO Y DURABILIDAD, del ACI 318 2014.

La **Tabla II-7**, menciona Categorías y clases de exposición, indicando las siguientes:

*Tabla II-7 Clases de protecciones de hormigón.. Fuente: (ACI, 2014)*

CATEGORIA	CLASE	CONDICIÓN
Protección del refuerzo para la corrosión (C)	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad
	C1	Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros
	C2	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen

La Categoría de Exposición C está subdividida en tres clases de exposición:

- La Clase de Exposición C0 se asigna cuando las condiciones de exposición no requieren protección adicional contra el inicio de corrosión del refuerzo.
- Las Clases de Exposición C1 y C2 se asigna a miembros de concreto no preesforzados y preesforzados, dependiendo del grado de exposición a fuentes externas de humedad y cloruros en servicio. Algunos ejemplos de fuentes externas de cloruros son el concreto en contacto directo con productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen.

Luego la **Tabla II-8**: Requisitos para el concreto según la clase de exposición define los límites Contenido máximo de iones de cloruro (Cl<sup>-</sup>) soluble en agua en el concreto, porcentaje por peso de cemento, se copian los que son para hormigón armado:

Tabla II-8 Clases de concreto y % de peso para hormigón armado. Fuente: ACI, 2014.

CLASE	Resistencia $f'c$ mínima (kg/cm <sup>2</sup> )	% por peso de cemento Para hormigón armado
C0	170	1.00
C1	170	0.30
C2	350	0.15

De acuerdo con el ensayo realizado en la Universidad Católica de Guayaquil se tienen los datos de contenido de cloruros respecto a la mezcla total y luego mediante una aproximación de diseño de mezcla, asumiendo 400 kg de cemento (8 sacos de 50kg), por cada m<sup>3</sup> de hormigón, se obtiene el porcentaje de cloruros respecto al peso del cemento.

Tabla II-9 Densidad, contenido de cloruros y % de cemento de la estructura. Fuente: Laboratorio de la Universidad Católica de Guayaquil.

Muestra	Edificación	Dens.	Cloruros	%	%
		kg/m <sup>3</sup>	sobre total	sobre total	sobre cemento
16	Edificación de apartamentos de la Sra. Venus Loor, 6 pisos sobre el suelo	2263	0,0113	0,0070	0,040
17		2248	0,0099	0,0061	0,034
18		2295	0,0092	0,0057	0,033

En conclusión, ninguno de las muestras supera los límites de la **Tabla II-9 del ACI 318 2014**

#### 2.7.4. Verticalidad de la estructura

No se observa pérdida de verticalidad de la estructura.

#### 2.8. PERIODO DE VIBRACIÓN

Se determinó el periodo de la estructura en base a vibración ambiental obteniendo los siguientes resultados:

PERIODO T (seg)	UBICACION
0.92	NS, perpendicular a la calle García Moreno
1.24	EW, paralelo a dicha calle
0.36	Sótano
0.38	Calle García Moreno

*Ilustración II-10 Resumen de periodos de vibración de la estructura. Fuente: (CEMSIS, 2016)*

Con el uso del acelerómetro se obtuvo el resultado del periodo fundamental de la estructura, pero se debían de despreciar valores fuera del rango medio, debido a que el equipo es sensible ante cualquier movimiento, también toma valores de los vehículos y personas que circulen dentro del perímetro externo de la estructura; el periodo fundamental de la estructura en tiempo real, debido a las cargas ambientales, da como resultado en **X 1.24** segundos y en **Y 0.92** segundos. Estos valores se los procedió a comprobar en el programa SAP2000 verificando la veracidad de los análisis.

La estructura posee un periodo de vibración mayor al que se esperaría para este tipo de estructuras de 8 pisos  $T \approx 0.10N$ , en donde  $N=8$ , número de pisos, por lo tanto,  $T \approx 0.8$  segundos, es una estructura flexible. La excesiva flexibilidad explicaría el colapso de paredes, escaleras y el colapso de algunos elementos estructurales producto de deformaciones en la estructura.

## **2.9. ESTUDIO GEOTÉCNICO.**

Se realizó un Ensayo de Penetración Estándar (SPT), cada metro de avance de profundidad y que consiste en contar el número de golpes (N) que se requiere para hincar el tubo saca-muestras de 30 cm. (después de penetrar 15 cm.) en el suelo, con un peso de 140 lbs (martillo de seguridad), y altura de caída libre de 75 cm. determinando así el grado de consistencia y compacidad del suelo.

Se recuperó la muestra de suelo respectiva, siguiendo las recomendaciones de manipuleo, rotulado y transporte, que se especifica en las normas ASTM, para ser ensayados en el laboratorio a partir de las propiedades índices.

Para la referencia de la ubicación de cada perforación, se utilizó un GPS<sub>MAP 78</sub> (GARMIN).

Tabla II-10 Coordenadas de la edificación. Fuente: Autores

<b>CÓDIGO</b>	<b>COORDENADAS</b>		<b>COTA</b> <i>(Referenciales)</i>	<b>PROF.</b> <i>(mts.)</i>
	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>		
<i>P-1</i>	<i>605547</i>	<i>7809</i>	<i>- 0.20</i>	<i>12.00</i>

Hasta la profundidad explorada, es decir 6.00 m, **no se detectó presencia del nivel freático.**

**- Estratigrafía.**

- 0.00 – 0.20 m. Relleno granular.
- 0.20 – 2.00 m. Arcilla arenosa (CL), mediana plasticidad  
Consistencia media.
- 2.00 – 3.00 m. Limo inorgánico (MH), altamente plástico.  
Consistencia firme.
- 3.00 – 6.80 m. Limo arenoso (MH\*), altamente plástico.  
Consistencia muy firme.
- 6.80 – 8.50 m. Arena arcillosa con grava (SC), altamente plástica.  
Compacidad densa.
- 8.50 – 12.00 m. Arcilla inorgánica (CH), altamente plástica.  
Consistencia muy firme a dura.

## **2.10. METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA**

Las metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios difieren en los recursos y en el rigor asociados a su implementación, por lo que la elección de la metodología a utilizar deberá ser hecha en función del objetivo de la evaluación, pero

también de la disponibilidad de los recursos tecnológicos, de la información del edificio y de la escala a la que va a ser trabajado. (Silva J. M., 2015)

Los métodos de evaluación de vulnerabilidad sísmica de estructuras, tienen como finalidad expresar la respuesta sísmica de las construcciones, medida en términos de daño, con base en la relación entre una determinada acción sísmica y las características intrínsecas de la estructura.

A continuación, en la Tabla II.11, se puede observar algunas de las principales metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios existentes, subdivididas en tres grupos:

- Metodologías de vulnerabilidad observadas.
- Metodologías de evaluación basadas en modelos simplificados.
- Metodologías de análisis detallado.

*Tabla II-11 Metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica aplicadas a diferentes escalas. Fuente: Silva, 2015*

Metodología	Campo de aplicación		Esfuerzo computacional		
	Conjunto de edificios	Edificio individual	Bajo	Moderado	Elevado
Vulnerabilidad observada	x		x		
Modelos de análisis simplificada	x	x		x	
Proceso de análisis detallada		x			x

## CAPÍTULO III

### 3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Con los datos obtenidos en base a estudios y visitas de campo se realizó un modelo en SAP2000, mismo que se concibió con la norma vigente en el Ecuador (NEC-15) para la evaluación de la estructura siguiendo los procesos y requerimientos que en ella se detallaban.

#### 3.1. MODELO ESTRUCTURAL

Para la elaboración del modelo estructural se utiliza el programa SAP2000, con la opción de elementos FRAME para las columnas y vigas y SHELL para muros de sótano y losas de piso. Cabe anotar que no existen vigas peraltadas, sin embargo, se asignarán vigas de 30 cm de ancho y de espesor el de la losa (20 cm).

A continuación, se presenta nuevamente la **Tabla II-3**, que contiene las dimensiones de columnas y alturas de entrepiso.

*Tabla II-3 Dimensiones de columnas por piso. Fuente: Autores*

<b>Planta</b>	<b>Dimensiones de columnas (cm)</b>	<b>Altura de entrepiso (cm)</b>
Sótano a PB	60x60	260
PB a 1PA	55x55	315
1PA a 2PA	50x50	245
2PA a 3PA	45X45	245
3PA a 4PA	45X45	245
4PA a 5PA	40x40	245
5PA a 6PA	40x40	245
6PA a Terraza	35x35	245
Terraza a Sobrecubierta	35 (circulares)	225

Las columnas salen con una dimensión de 60 cm desde el sótano disminuyendo su sección a razón de 5 cm de lado por piso, lo cual se considera aceptable, tal como se verá en los resultados del modelo.



### 3.2. Cargas y combinaciones de carga

Es importante conocer que para la realización de una evaluación estructural las combinaciones de cargas que se usan son diferentes a las usadas en el diseño, ya que en la evaluación se deben tomar las cargas reales existentes, mientras que en el diseño se usa cargas probables o aproximadas, es por ello que la *NEC-SE-RE, en el apartado 3.8 Combinación de cargas de la pág. 24* muestra las siguientes combinaciones:

$$1.1(D + 0.25L) + E$$

$$0.9 (D + 0.25L) + E$$

Dónde:

D: Carga muerta total de la estructura

E: Efectos de las fuerzas sísmicas

L: Sobrecarga (carga viva) (NEC-SE-RE, 2015)

#### 3.2.1. Carga Viva

Se tomaron en cuenta las cargas de acuerdo a la *NEC-SE-CG, en el apartado 4.2. Carga viva: sobrecargas mínimas, de la pág. 25* para las diferentes solicitaciones.

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m <sup>2</sup> )	Carga concentrada (kN)
<b>Residencias</b> Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	2.00	

*Ilustración III-1 Carga viva de acuerdo con la ocupación o los usos. FUENTE: (NEC-SE-CG, 2015)*

### 3.2.2. Carga Muerta

Las cargas muertas en las distintas edificaciones corresponden principalmente a:

Tabla III-1 Cargas muertas losas entrepiso. Fuente: Autores

<b>KG CARGAS MUERTAS LOSAS ENTREPISO</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CARGA</b>	<b>UNIDAD</b>
BLOQUES (LOSA)	80	KG/M2
TUMBADO	30	KG/M2
NIVELACIÓN PISO (3cm)	60	KG/M2
CERÁMICA	25	KG/M2
PAREDES (bloque alivianado)	150	KG/M2
<b>TOTAL</b>	<b>345</b>	<b>KG/M2</b>

Tabla III-2 Cargas muertas losa terraza. Fuente: Autores

<b>CARGAS MUERTAS LOSA TERRAZA</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CARGA</b>	<b>UNIDAD</b>
NIVELACIÓN PISO	80	KG/M2
CERÁMICA	25	KG/M2
PAREDES	50	KG/M2
<b>TOTAL</b>	<b>155</b>	<b>KG/M2</b>

### 3.2.3. Peso Propio:

El peso propio de la estructura es considerado por el software.

Tabla III-3 Combinaciones de carga. Fuente: Autores

<b>Combo Name</b>	<b>CaseType</b>	<b>CaseName</b>	<b>ScaleFactor</b>
COMB1	Linear Static	DEAD	1,100000
COMB1	Response Spectrum	SISMOX	1,000000
COMB1	Linear Static	LIVE	0,275000
COMB2	Linear Static	DEAD	0,900000

COMB2	Response Spectrum	SISMOX	1,000000
COMB2	Linear Static	LIVE	0,225000
COMB3	Linear Static	DEAD	1,100000
COMB3	Linear Static	LIVE	0,275000
COMB3	Response Spectrum	SISMOY	1,000000
COMB4	Linear Static	DEAD	0,900000
COMB4	Linear Static	LIVE	0,225000
COMB4	Response Spectrum	SISMOY	1,000000

### 3.2.4. Resistencia de materiales

La resistencia promedio es de 383 kg/cm<sup>2</sup>, valor que se obtuvo en base a los tres ensayos de compresión que se generaron.

De acero de refuerzo 4200 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.3. Definición de cargas estáticas

Se ha seguido los lineamientos de la *NEC-SE-DS, en la pág. 64 del apartado 6.3.2.*

*Cortante basal de diseño V*; como se detalla a continuación:

**Cortante basal:**

$$v = \frac{I * S_a}{R * \varphi_E * \varphi_P} * W$$

*Ecuación III-1 Fuente: (NEC-SE-DS, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente, 2015)*

- **Factor de importancia por uso de la edificación es I=1**

Tabla III-4 Tipo de uso, destino e importancia de la estructura. FUENTE: (NEC-SE-DS, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente, 2015)

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
<b>Edificaciones esenciales</b>	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
<b>Estructuras de ocupación especial</b>	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
<b>Otras estructuras</b>	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

- **Zonificación Sísmica Z=0.50**

Tabla III-5 Valores del factor Z en función de la zona sísmica. FUENTE: (NEC-SE-DS, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente, 2015)

POBLACION	PARROQUIA	CANTON	PROVINCIA	Z
PUERTO LOPEZ	PUERTO LOPEZ	PUERTO LOPEZ	MANABI	0.50
AYAMPE	SALANGO	PUERTO LOPEZ	MANABI	0.50
MONTECRISTI	MONTECRISTI	MONTECRISTI	MANABI	0.50
AGUA PATO	EL ANEGADO (CAB EN ELOY ALFARO)	JIPIJAPA	MANABI	0.50
COJIMIES	COJIMIES	PEDERNALES	MANABI	0.50
PEDERNALES	PEDERNALES	PEDERNALES	MANABI	0.50
QUIROGA	QUIROGA	BOLIVAR	MANABI	0.50

- **Período de vibración (T):**

Ya que la estructura consta con muros de confinamiento o muros diafragma se optará por los coeficientes  $C_t=0.055$  y  $\alpha=0.75$  que se encuentran en la categoría escogida en la tabla 3.3.3

$$T = C_t * hn^\alpha$$

Ecuación III-2 Fuente: NEC

hn = 22.70 m (altura total de la edificación)

Tabla III-6 Valores para  $C_t$  y  $\alpha$  en función del tipo de estructura. FUENTE; (NEC-SE-DS, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente, 2015)

Tipo de estructura	$C_t$	$\alpha$
<b>Estructuras de acero</b>		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
<b>Pórticos especiales de hormigón armado</b>		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

- **Factor de Reducción de Resistencia Sísmica R=5**

Tabla III-7 Factor de reducción de Resistencia Sísmica Z. FUENTE; (NEC-SE-DS, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente, 2015)

Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Pórticos especiales sísmo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
<b>Pórticos resistentes a momentos</b>	
Pórticos especiales sísmo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sísmo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8
<b>Otros sistemas estructurales para edificaciones</b>	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sísmo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

### 3.3.1. Configuración Estructural

Cuando una estructura no contempla ninguno de los dos tipos de regularidades descritas en la *tabla 11 de la NEC-SE-DS 2015* (Peligro sísmico), ninguno de sus pisos,  $\phi_p$  tomará el valor de 1 y se lo considera como regular en planta.

$$\phi_p = 1$$

Cuando una estructura no contempla ninguno de los dos tipos de regularidades descritas *en las tablas 13 y 14 de la NEC-SE-DS* en ninguno de sus niveles  $\phi_E$  tomará el valor de 1 y se lo considera como regular en elevación.

$$\phi_E = 0,90$$

### 3.3.2. Definición de cargas dinámicas

En el análisis dinámico de la estructura se encuentra la determinación del tipo de suelo donde está cimentada la edificación, permitiendo que se establezcan los factores de sitio de acuerdo con la zona sísmica del lugar de ubicación de nuestro país.

Factores  $F_a$ ,  $F_d$  y  $F_s$  con respecto al tipo de perfil de subsuelo. **Tabla III-8, Tabla III-9 y Tabla III-10**

**$F_a=1.12$**

*Tabla III-8 Tipo de suelo y Factores de sitio  $F_a$ . FUENTE: (NEC-SE-DS, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente, 2015)*

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.5$
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección <a href="#">10.5.4</a>					

**Fd=1.11**

Tabla III-9 Tipo de suelo y Factores de sitio Fd. FUENTE: (NEC-SE-DS, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente, 2015)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

**Fs=1.40**

Tabla III-10 Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs FUENTE: (NEC-SE-DS, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente, 2015)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

### 3.3.3. Definición de coeficiente de importancia I

Una vez que la estructura este restaurada, funcionará como edificio residencial, por tanto, debe seguir operando de forma correcta frente a un evento sísmico considerable, en la tabla siguiente se determina el coeficiente  $I=1.0$

Tabla III-11 Tipo de uso, destino e importancia de la estructura. FUENTE: (NEC-SE-DS, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente, 2015)

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieran operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

### 3.3.4. Determinación del cortante basal

Se calcula el cortante basal de diseño con los valores obtenidos en los procesos:

$$V = \frac{I * S_a}{R * \phi_E * \phi_P} * W$$

Ecuación III-1

$$I = 1.0$$

$$R = 5$$

$$\phi_E = 1 \quad \phi_P = 1$$

$$S_a = 1.01$$

$$V = 0.202 W$$

$$W = 1(CM) + 0,25(CV)$$



$$W=743,3425\text{ton}+0,25(445,4548\text{ton})$$

$$W=854,70 \text{ ton}$$

$$V=172,65 \text{ ton}$$

### 3.3.5 Coeficiente k

Es el coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura T

Determinación de k:

*Tabla III-12 Cálculo de coeficiente k. FUENTE: (NEC-SE-DS, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente, 2015).*

Valores de T (s)	k
$\leq 0.5$	1
$0.5 < T \leq 2.5$	$0.75 + 0.50 T$
$> 2.5$	2

$$k = 0.75 + 0.50T$$

*Ecuación III-3. Fuente: (NEC, 2015)*

$$k = 0.75 + 0.50 (0.572)$$

$$k = 1.036 \text{ seg}$$

### 3.4. Espectro de respuesta

#### 3.4.1. Espectro de acuerdo a la Norma NEC.

De acuerdo con la NEC es el espectro que se elabora corresponde a un sismo de 475 años de periodo de retorno.

Tabla III-13 Datos para el cálculo de espectro. Fuente: Autores

<b>Cantón:</b>	<b>Pedernales</b>
<b>Provincia:</b>	<b>Manabí</b>
<b>Región:</b>	<b>Costa</b>
<b>Zona Sísmica:</b>	<b>VI</b>
<b>Factor de zona Z =</b>	<b>0,50</b>
<b>Factor n =</b>	<b>1,80 Resto del país</b>
<b>Suelo tipo:</b>	<b>D</b>
<b>Fa =</b>	<b>1,12</b>
<b>Fd =</b>	<b>1,11</b>
<b>Fs =</b>	<b>1,40</b>
<b>Factor r =</b>	<b>1,00 Para suelo tipo D</b>
<b>Importancia I=</b>	<b>1,00 Edificio</b>
<b>Reducción R =</b>	<b>5,00 Pórticos con vigas banda</b>
<b>Tc =</b>	<b>0,76 segundos =0.55Fs (Fd/Fa)</b>
<b>Sa = n Z Fa, T &lt; Tc</b>	<b>1,01</b>
<b>Gravedad (g) =</b>	<b>9,81 m/seg<sup>2</sup></b>

Tabla III-14 Valores de periodos y aceleraciones sismo NEC,

<b>T</b>	<b>Sa</b>	<b>Sa I/R</b>
0,00	1,01	0,202
0,76	1,01	0,202
1,00	0,77	0,154
1,50	0,51	0,103
2,00	0,38	0,077
2,50	0,31	0,062
3,00	0,26	0,051
3,50	0,22	0,044
4,00	0,19	0,038
4,50	0,17	0,034
5,00	0,15	0,031
5,50	0,14	0,028
6,00	0,13	0,026
6,50	0,12	0,024
7,00	0,11	0,022
7,50	0,10	0,021
8,00	0,10	0,019
8,50	0,09	0,018

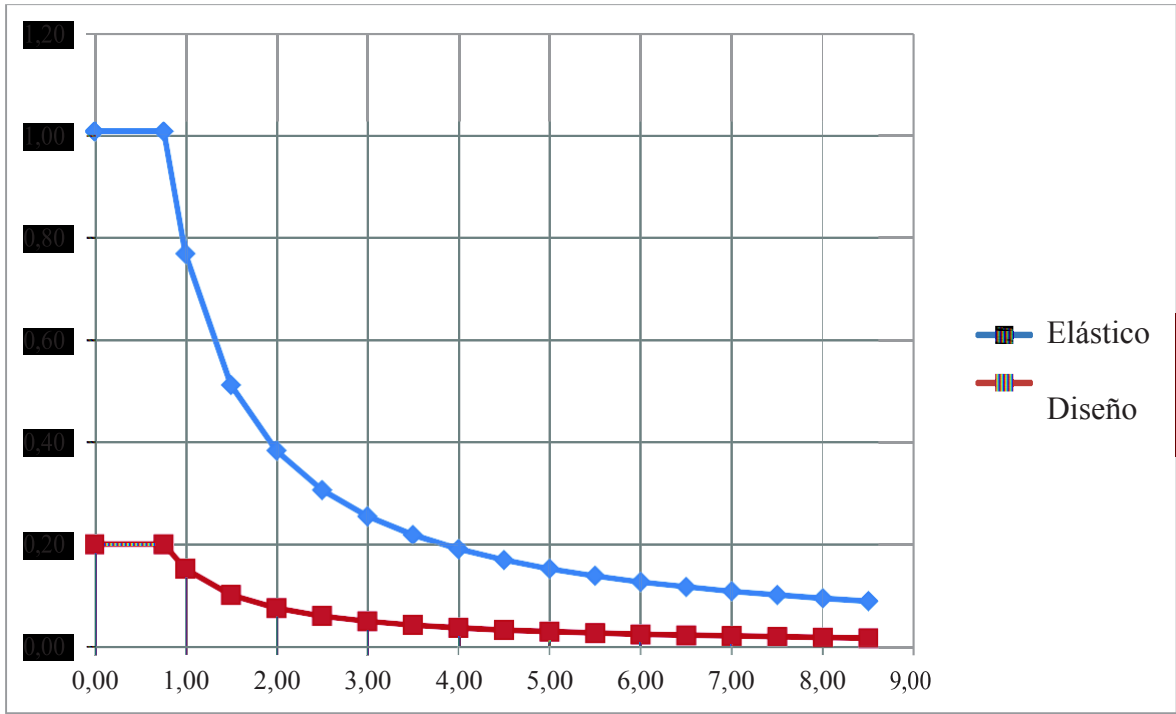


Ilustración III-2 1 Espectro Sísmico Elástico e Inelástico para el Edificio Venus Loor. FUENTE: Autores

### **3.5. Informe sísmico Pedernales**

En base a lo estudiado se pudo determinar lo siguiente:

El terremoto del 16 de abril en Pedernales correspondió a un sismo cercano a uno muy raro, con período de retorno igual a  $T_r = 1667$  años. (Villacres, 2016).

La aceleración en roca estimada para Pedernales el 16 de abril de 2016 fue de por lo menos 1,19g. Este es un valor mucho mayor al mínimo considerado por la NEC-15 para un sismo raro (0,50g). (Villacres, 2016) .

El suelo tipo D del sitio de construcción, amplifica la aceleración sísmica en roca en un 12%. Para una aceleración en roca de 1,19g ello corresponde a una aceleración en superficie de 1,33g. La aceleración máxima en superficie registrada en Pedernales por el IG-EPN fue de 1,41g. (Villacres, 2016)

Como se puede observar el factor Z para el sismo del 16 de abril, cercano al sismo Muy Raro, es  $Z=1.19$ , 2.38 veces mayor al  $Z=0.50$  previsto en la NEC para esta zona del país. (Villacres, 2016)

### 3.6.Resultados

#### 3.6.1. Periodo de la estructura.

Los periodos de vibración de la estructura son los mostrados en la **Tabla III-15**, se puede observar dentro de la misma tabla que el periodo fundamental de la estructura tiene un valor de **0,752484** s, mismo valor representa el primer modo de vibración de la estructura, es un valor considerablemente menor al obtenido en periodos experimentales ya que para el sentido X se determinó un valor de **1,24** s que corresponde a 1.5 veces más que al obtenido en SAP2000, por otra parte en Y se determinó un valor de **0,92** s mismo que se encuentra más cercano al obtenido en el análisis estructural.

*Tabla III-15 Periodos de vibración de la estructura. Fuente: Autores.*

OutputCase	StepType	StepNum	Period Sec
MODAL	Mode	1,000000	0,752484
MODAL	Mode	2,000000	0,702918
MODAL	Mode	3,000000	0,678237
MODAL	Mode	4,000000	0,260553
MODAL	Mode	5,000000	0,242416
MODAL	Mode	6,000000	0,238584
MODAL	Mode	7,000000	0,153633
MODAL	Mode	8,000000	0,148670
MODAL	Mode	9,000000	0,145679
MODAL	Mode	10,000000	0,116296
MODAL	Mode	11,000000	0,108416
MODAL	Mode	12,000000	0,104563

#### 3.6.2. Deformaciones laterales para el sismo de 475 años.

Se ingresó a la estructura modelada en SAP2000 el sismo de diseño contemplado por la NEC para un Tr de 475 años y se calcularon las derivas máximas por piso como se muestra en la **Tabla III-16**

Tabla III-16 Desplazamiento para sismo de 475 años. Fuente: Autores

Nivel	Ux (mm)	Uy (mm)	Altura entrepiso (mm)	Drift X(*)	Drift Y(*)
Sótano	-	-			
			2600	-	-
Planta Baja	-	-			
			3150	0,007	0,007
1PA	4,50	4,60			
			2450	0,010	0,011
2PA	9,40	9,90			
			2450	0,011	0,012
3PA	14,80	15,60			
			2450	0,010	0,011
4PA	19,60	20,80			
			2450	0,010	0,010
5PA	24,30	25,60			
			2450	0,007	0,007
6PA	27,90	29,20			
			2450	0,006	0,005
Terraza	30,80	31,70			
			2250	0,005	0,004
Sobrecubierta	33,00	33,70			

(\*) Los drift se multiplican por  $R=5$

Los valores  $U_x$  y  $U_y$  son deformaciones totales, son tomados directamente de la salida del programa SAP2000, están divididos por el factor  $R=5$ , por ello el drift se multiplica por 5.

#### Deformaciones máximas sismo Tr 475 años según la NEC

Se calculó las derivas máximas, para el sismo propuesto por la NEC y las derivas que se generaron fueron menores que las permitidas por la norma, como se muestra a continuación:

$$\Delta M = 0.75R\Delta E$$

*Ecuación III-4 Fuente: (NEC, 2015)*

Dónde:

$\Delta M$ : Deriva máxima inelástica

$\Delta E$ : Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas ( $\Delta E=0.012$ )

R: Factor de reducción de resistencia (R=5)

$$\Delta M = 0.75 \times 0.012 = 0.009 < 0.02, \text{ ok}$$

El valor máximo de deriva máximo esperado para el sismo considerado por la NEC, es menor al permitido, pese a ello, la estructura se vio afectada por un sismo de magnitud mucho mayor, por lo cual es necesario determinar las deformaciones laterales para el sismo sufrido en el 16A.

### 3.6.2. Deformaciones laterales para el sismo de 1667 años.

Se ingresó a la estructura modelada en SAP2000 el sismo que sufrió la misma el 16 de abril del 2016 con un Tr de 1667 años y se obtuvieron las derivas máximas por piso como se muestra en la **Tabla III-17**

*Tabla III-17 Desplazamiento para sismo de Tr 1667 años. Fuente: Autores.*

Nivel	Ux (mm)	Uy (mm)	Altura entrepiso (mm)	Drift X(*)	Drift Y(*)
Sótano	-	-			
			2600,00	-	-
Planta Baja	-	-			
			3150,00	0,017	0,017
1PA	10,60	11,00			
			2450,00	0,024	0,026
2PA	22,40	23,50			
			2450,00	0,026	0,028
3PA	35,10	37,10			
			2450,00	0,023	0,025
4PA	46,60	49,40			
			2450,00	0,023	0,023



5PA	57,80	60,80			
			2450,00	0,018	0,017
6PA	66,40	69,30			
			2450,00	0,014	0,012
Terraza	73,30	75,40			
			2250,00	0,011	0,010
Sobrecubierta	78,30	80,10			

(\*) Los drift se multiplican por R=5

### Deformaciones máximas sismo Tr 1667 según la NEC

Se utilizó la misma ecuación que para el sismo de Tr 475 años y se obtuvo valores de deriva superiores a los permitidos por la norma, como se detalla a continuación:

$$\Delta M = 0.75R\Delta E = 0.75 \times 0.028 = 0.021 > 0.02, \text{ no pasa}$$

Las derivas sufridas por este sismo son superiores a las permitidas por la norma, por lo cual es de suma importancia tomar medidas para la intervención de la edificación.

#### 3.6.3. Elementos estructurales

Existen agrietamientos importantes de ciertos elementos estructurales, lo cual es esperado para el nivel de sismo que soportó la estructura, cercano al muy raro, por lo que se deberán de tomar medidas necesarias para su intervención y reforzamiento.

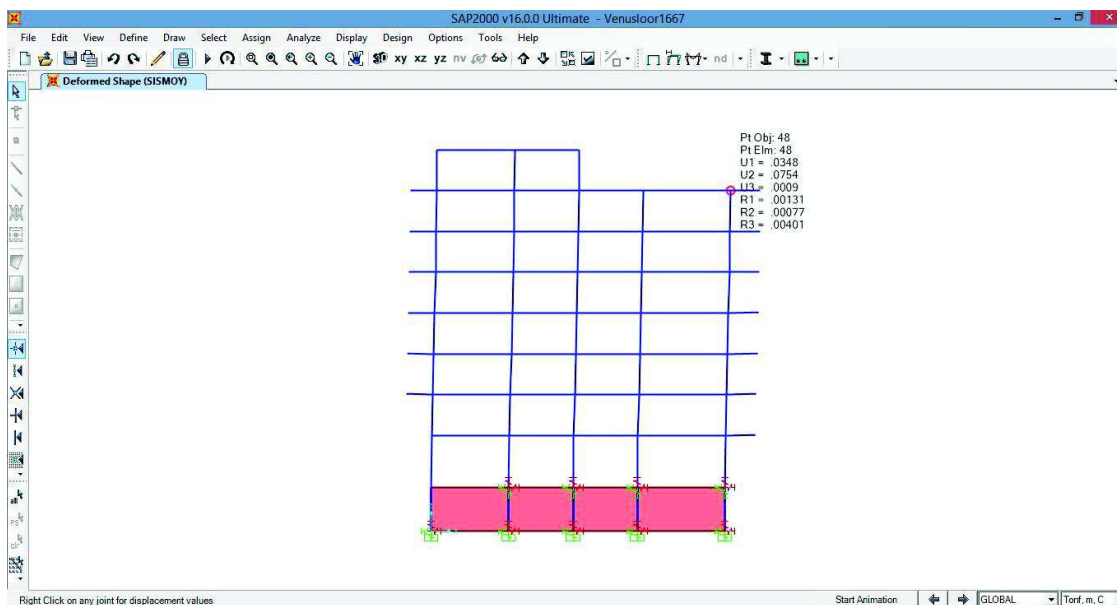


Ilustración III-3 Modelo estructural edificio Venus Loor en SAP2000. Fuente: Autores.

### 3.7. INTERVENCIÓN Y REFORZAMIENTO

Por su flexibilidad la estructura debería ser intervenida para disminuir el periodo de vibración.

La estructura posee columnas de dimensiones acordes con su altura, resistencia a la compresión del hormigón mayor a lo exigido por la norma. Si hubo colapso de paredes y mucho daño severo en las mismas, se debió a la flexibilidad y a que el sismo ocurrido se acerca mucho al sismo muy raro con periodo de retorno  $Tr \approx 1667$  años. (Villacres, 2016)

De acuerdo con ATC-14, el porcentaje de daño esperado durante sismos fuertes en edificios de pórticos de hormigón armado con diseño sismo-resistente, es una función del grado de intensidad en la Escala Mercalli Modificada. Para una intensidad de grado IX, como en el caso de Venus Loor durante el terremoto del 16 de abril de 2016, el porcentaje de daño esperado sería aproximadamente del 33%.

En cambio, si se tratara de un edificio de las mismas características, pero sin diseño sismo-resistente, según la misma ATC14, el daño esperado correspondería aproximadamente al 70%. El porcentaje de daños observado en el edificio Venus Loor durante el terremoto del 16 de abril de 2016 se acercan más al de un edificio de pórticos de hormigón armado sin diseño sismo-resistente durante un sismo de intensidad IX en la escala de Mercalli Modificada ya que los daños sufridos corresponden a un 60% de la edificación.

En sus actuales condiciones, el edificio Venus Loor no está en capacidad de volver a soportar un sismo de esas categorías ( $Tr \approx 1667$  años).

El edificio no debe ser ocupado hasta que no se reparen y refuercen los elementos estructurales afectados (columnas) y se repongan o reparen las paredes colapsadas o dañadas. También requerirá retiro de escombros y limpieza.

De los resultados de las deformaciones laterales para el sismo de  $Tr \approx 1667$  años, las deformaciones superan al máximo permitido por la NEC ( $0.021 > 0.02$ ).

Para el sismo de diseño de  $Tr \approx 475$  años, la estructura posee deformaciones menores a las permitidas por la NEC.

Eso aplicado al Edificio Venus Loor, se realiza una nueva corrida en el programa de análisis estructural para 4 pisos y los resultados son los siguientes:

- Periodo de vibración:  $T=0.38$  segundos, cercano al del suelo.
- Deformaciones relativas de la estructura de 4 pisos y sismo de  $T_r = 475$  años.

Tabla III-18 Desplazamientos estructura intervenida para sismo de  $T_r 475$  años. Fuente: Autores.

Nivel	Ux (mm)	Uy (mm)	Altura entrepiso (mm)	Drift X(*)	Drift Y(*)
Sotano	-	-			
			2600,00	-	-
Planta Baja	-	-			
			3150,00	0,004	0,004
1PA	2,40	2,70			
			2450,00	0,005	0,006
2PA	4,90	5,60			
			2450,00	0,004	0,005
3PA	7,10	8,10			
			2450,00	0,003	0,003
Cubierta	8,40	9,60			

Las deformaciones relativas de entrepiso alcanzan valores de 0.006, lo cual significa que la estructura debe ser intervenida eliminando las losas superiores a la cuarta losa, reparando elementos estructurales (columnas), no es necesario añadir refuerzo externo para rigidizar la estructura.

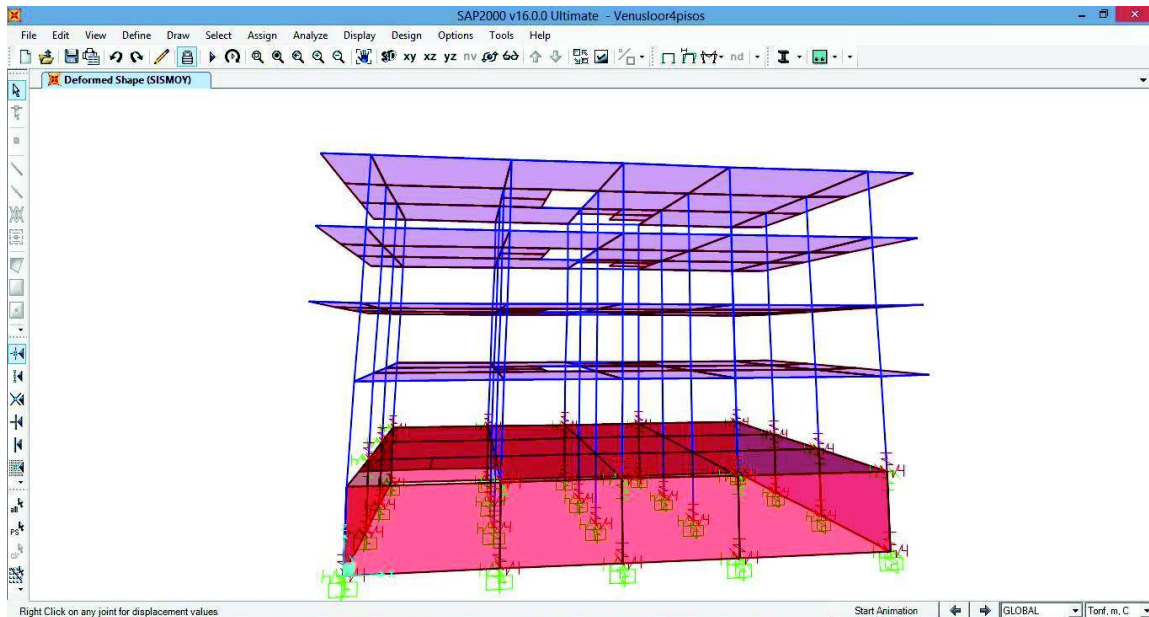


Ilustración III-4 Salida del programa SAP 2000, 4 pisos  $T_r = 475$  años. Fuente: Autores.

### 3.8. Costo de intervención

Sin embargo, es necesario realizar en columnas de sótano, planta baja, primera planta alta y segunda planta alta, tratamientos de reparación, así como también agregar resistencia por medio de aplicación de elementos de fibras de carbono.

Tabla III-19 Costos de intervención estructura. Fuente: Autores.

<b>DERROCAMIENTOS Y RETIROS</b>				<b>8.555,69</b>
DERROCAMIENTOS Y RETIROS	m3	648,65	13,19	8.555,69
<b>REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL</b>				<b>96.802,26</b>
Suministro e instalación de mantos de fibra de carbono adherida con epóxico	m2	210,00	200,79	42.165,90
Redondeado o pulido de esquinas	m	420,00	3,57	1.499,40
Preparación de la superficie de hormigón	m2	283,50	7,94	2.250,99
Imprimación o adherencia con epóxico	m2	283,50	5,38	1.525,23
Mortero de reparación estructural (espesor de 3cm)	m2	283,50	40,24	11.408,04
Suministro e instalación de platina de	m	200,00	168,59	33.718,00

carbono				
Tratamiento con inhibidor de corrosión Ferrogard 903	m2	378,00	7,95	3.005,10
Rellenos con morteros de reparación estructural	kg	100,00	8,00	800,00
Perforación para anclajes de prof.=17 cm con epóxico	u	60,00	7,16	429,60
TOTAL				<b>105.357,95</b>

El costo de intervención asciende a USD 105,357.95, a ello hay que agregar lo que falte por paredes y acabados. La estructura si se hiciera nueva de 4 pisos posee un área de 1927 m<sup>2</sup>, con costo unitario del orden de 700 \$/m<sup>2</sup> y el costo total aproximado ascendería a 1.35 millones de dólares. Por lo tanto, el valor de intervención se justifica.

## CONCLUSIONES

- La estructura posee daño estructural en ciertos elementos estructurales y colapso de mampostería en planta baja, primer piso y segundo piso. Daños severos de mampostería en mampostería de plantas altas.
- Las deformaciones calculadas para el sismo de diseño ( $T_r \approx 475$  años) son de 0,009 por lo que cumplen para el mismo, sin embargo, para el sismo que soportó el 16 de abril (cercano al muy raro  $T_r \approx 1667$  años), se concluye que las deformaciones sufridas por el evento sísmico alcanzaron valores de hasta 0.021 mismo que son mayores al 0.02 permitido por la NEC.
- Los antecedentes técnicos y económicos expuestos sustentan la recomendación de demoler parcialmente la estructura por métodos manuales y el reforzamiento de ciertos elementos estructurales que sufrieron daño ante el evento sísmico.
- Si la estructura se interviene y se opta por el diseño de 4 pisos que se modeló se obtendrá un periodo de vibración cercano al del suelo  $T=0.38s$  y por ende se mejoraría el comportamiento de la estructura frente a posteriores eventos sísmicos.

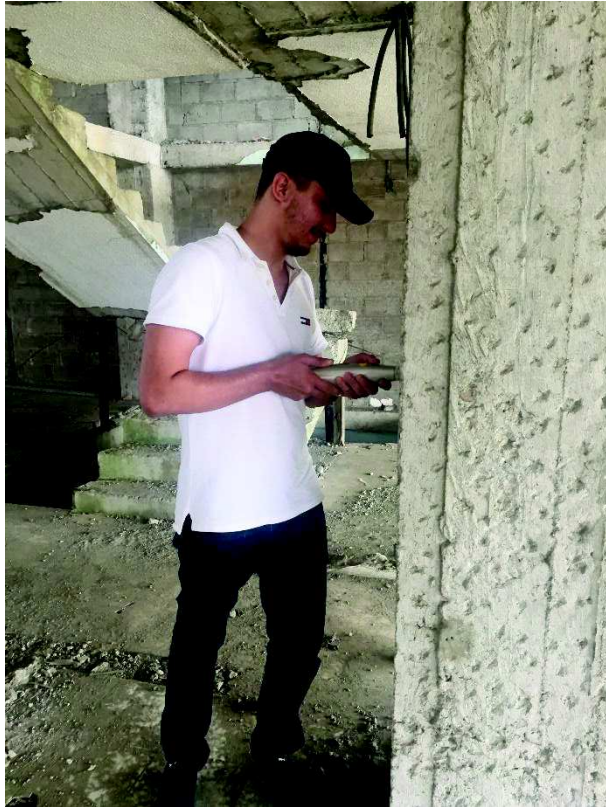
## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado. (2012). *http://www.scielo.org.mx*. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-092X2016000100001](http://www.scielo.org.mx: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100001)
- Alvarado, A. (31 de Marzo de 2019). *ecuadorenvivo.com*. Obtenido de <http://www.ecuadorenvivo.com/sociedad/190-sociedad/94900-alta-sismicidad-es-una-realidad-en-el-ecuador-el-universo-de-guayaquil.html#.XW3XQ3u23IU>
- Barbat, H. O. (2005). *Cálculo y diseño sismorresistente*. Barcelona, España: Editor A. H. Barbat. .
- Campos, A. V. (21 de Abril de 2004). Obtenido de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1367/ICI\\_120.pdf?sequence=4](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1367/ICI_120.pdf?sequence=4)
- CEMSIS. (2016). *REPORTE DE ENSAYO DE VIBRACION AMBIENTAL* .
- CENTENO, L. E. (Abril de 2010). *Repositorio Digital*. Obtenido de Repositorio Digital: <http://repositorio.iaen.edu.ec/bitstream/24000/438/1/IAEN-M022-2010.pdf>
- Chunga, K. (2016). *Geología de Terremotos y Tsunamis*. Quito: Seccion Nacional del Ecuador del Instituto Panamericano de Geografía e Historia IPGH. .
- Cordero, G. (2017). *eltelegrafo.com.ec*. Obtenido de [eltelegrafo.com.ec: http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/ecuador/1/el-terremoto-afecto-a-24-013-edificaciones](http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/ecuador/1/el-terremoto-afecto-a-24-013-edificaciones)
- El Universo, D. (17 de abril de 2016). *el universo*. Obtenido de [el universo: http://www.eluniverso.com/noticias/2016/04/17/nota/5531580/sismos-mas-potentes-que-han-afectado-ecuador](http://www.eluniverso.com/noticias/2016/04/17/nota/5531580/sismos-mas-potentes-que-han-afectado-ecuador)
- IG-EPN. (2016). *Informe Sismico Especial N. 18 - 2016. Escuela Politecnica Nacional*,. Obtenido de Informe Sismico Especial N. 18 - 2016. Escuela Politecnica Nacional,: <http://www.igepn.edu.ec/1324-informe-sismico-especial-n-18-2016.html>
- Martillo, C. (2018). *eluniverso.com*. Obtenido de [eluniverso.com: http://www.eluniverso.com/noticias/2019/04/13/nota/7282394/alta-sismicidad-es-realidad-ecuador](http://www.eluniverso.com/noticias/2019/04/13/nota/7282394/alta-sismicidad-es-realidad-ecuador)
- MIDUVI. (2016). *habitatyvivienda.gob.ec*. Obtenido de [habitatyvivienda.gob.ec: http://www.habitatyvivienda.gob.ec/5-956-edificaciones-ha-evaluado-el-ministerio-de-desarrollo-urbano-y-vivienda-en-las-provincias-afectadas-por-el-sismo/](http://www.habitatyvivienda.gob.ec/5-956-edificaciones-ha-evaluado-el-ministerio-de-desarrollo-urbano-y-vivienda-en-las-provincias-afectadas-por-el-sismo/)
- Nacional, E. P. (16 de abril de 2018). *Instituto Geofísico* . Obtenido de Instituto Geofísico : <https://www.igepn.edu.ec/interactuamos-con-usted/1572-dos-anos-despues-del-terremoto-de-pedernales-actualizacion-sismica>

- NEC-SE-CG. (2015). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, CARGAS (NO SISMICAS)*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda..
- NEC-SE-DS. (2015). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- NEC-SE-RE. (2015). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION, Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Plan Reconstruyo Ecuador, C. P. (2016). *Informe Trimestral de Gestion*. Quito.
- Productiva, C. d. (Agosto de 2016). *reconstruyoecuador.gob.ec*. Obtenido de reconstruyoecuador.gob.ec: [https://www.reconstruyoecuador.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/Informe-Asamblea\\_SeTec-Reconstrucci%C3%B3n\\_20160830.pdf](https://www.reconstruyoecuador.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/Informe-Asamblea_SeTec-Reconstrucci%C3%B3n_20160830.pdf)
- Russell. (2010). *Ventanas al Universo. Ultima visita* .  
[http://www.windows2universe.org/earth/geology/quake\\_4.html&lang=sp&e](http://www.windows2universe.org/earth/geology/quake_4.html&lang=sp&e).
- Santoña, A. M. (1 de marzo de 2013). *HOY*. Obtenido de HOY:  
<http://blogs.hoy.es/ciencia-facil/2013/03/01/tembala-la-naturaleza/>
- Sergisai. (2016). Obtenido de  
[https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6222/03CAPITULO\\_2.pdf](https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6222/03CAPITULO_2.pdf)
- Silva, J. M. (2015). *Metodologia de Avaliação da Vulnerabilidade Sísmica de Edifícios em*. Potugal: Universidade de Aveiro, Departamento de.
- Silva, J. M. (2015). *Metodologia de Avaliação da Vulnerabilidade Sísmica de Edifícios em Betão Armado*. . Aveiro, Portugal: Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil. .
- UDEP. (2015). CAPITULO 5 VULNERABILIDAD SISMICA.  
[http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_134\\_180\\_87\\_1230.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_134_180_87_1230.pdf)
- Villacres, A. (2016). *Estimacion de Daños Causados por el sismo del 16 de Abril del 2016*. Ecuador-Pedernales.
- Yépes, H. (2018). *eluniverso.com*. Obtenido de eluniverso.com:  
<https://www.eluniverso.com/noticias/2019/04/13/nota/7282394/alta-sismicidad-es-realidad-ecuador>



# **ANEXOS**



*ANEXO 1 ENSAYO CON ESCLERÓMETRO DEL EDIFICIO “VENUS LOOR” EN COLUMNAS DE PLANTA BAJA  
FUENTE: AUTORES*



*ANEXO 2 ENSAYO CON ESCLERÓMETRO DEL EDIFICIO “VENUS LOOR” EN COLUMNAS  
DEL SOTANO FUENTE: AUTORES*



*ANEXO 3 MUESTRA DE ENSAYO CON ESCLERÓMETRO DEL EDIFICIO "VENUS LOOR". FUENTE: AUTORES*



*ANEXO 4 EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS EN COLUMNAS DEL EDIFICIO "VENUS LOOR" FUENTE: AUTORES*



*ANEXO 6 ENSAYOS A COMPRESIÓN DE COLUMNAS DEL EDIFICIO  
"VENUS LOOR FUENTE: AUTORES*



*ANEXO 5 ENSAYOS A COMPRESIÓN DE VIGA DEL EDIFICIO "VENUS  
LOOR FUENTE: AUTORES*



*ANEXO 7 ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL EDIFICIO "VENUS LOOR" FUENTE: AUTORES*



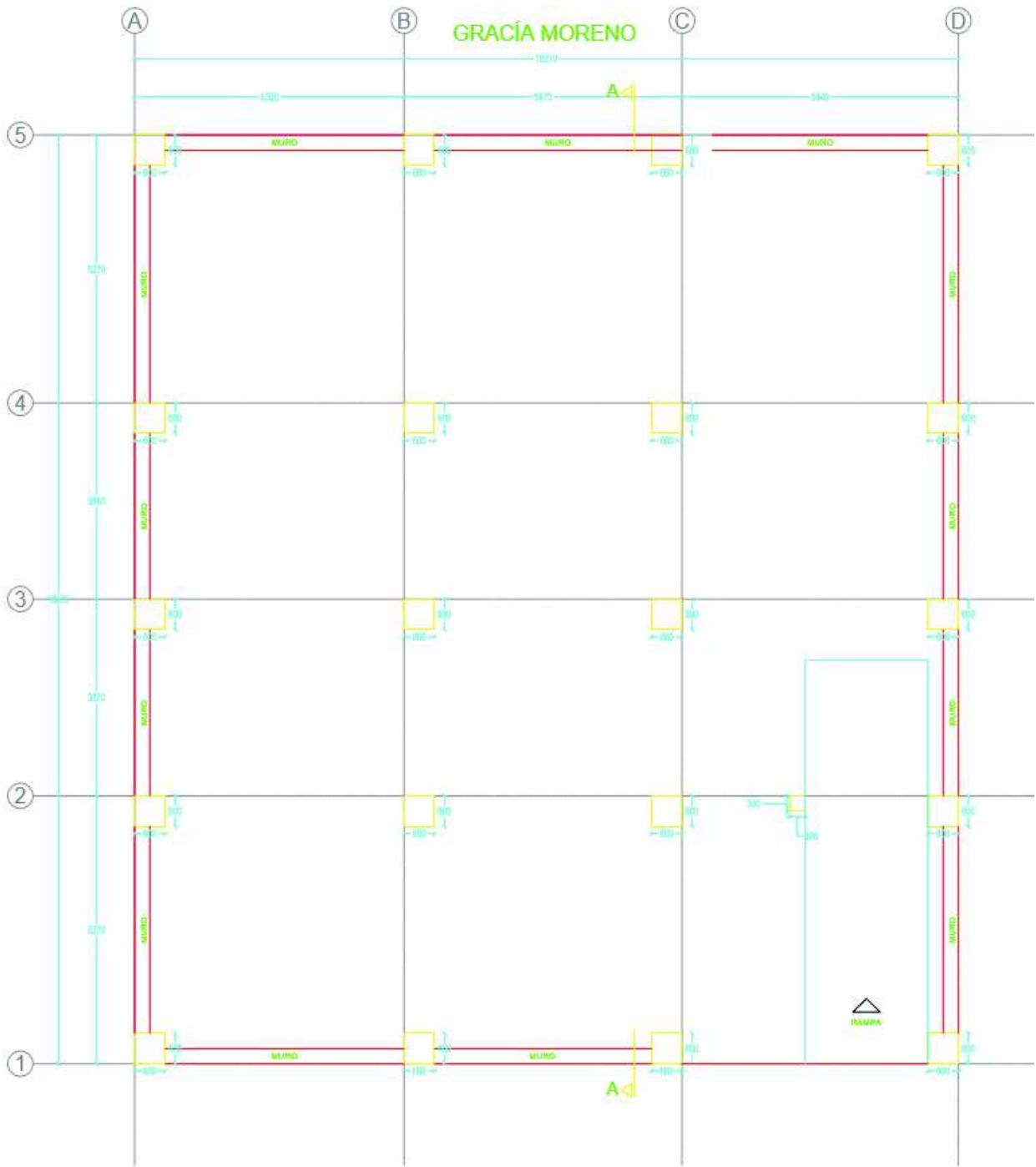
*ANEXO 8 MUESTRA EXTRAIDA DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO FUENTE: AUTORES*



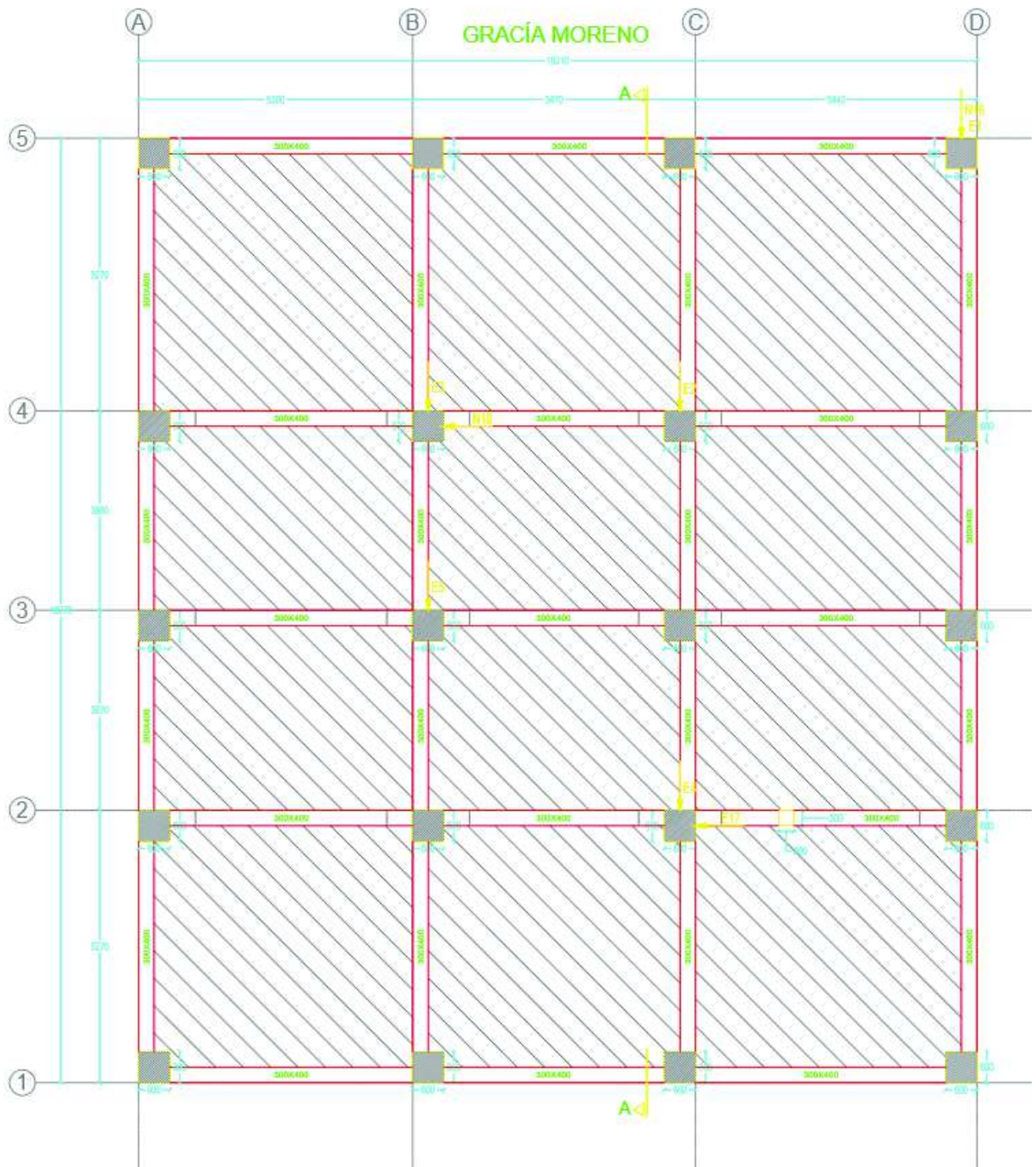
*ANEXO 9 TOMA DE MEDIDAS FUENTE: AUTORES*



*ANEXO 10 DAÑOS GRAVES EN ESCALERAS FUENTE: AUTORES*

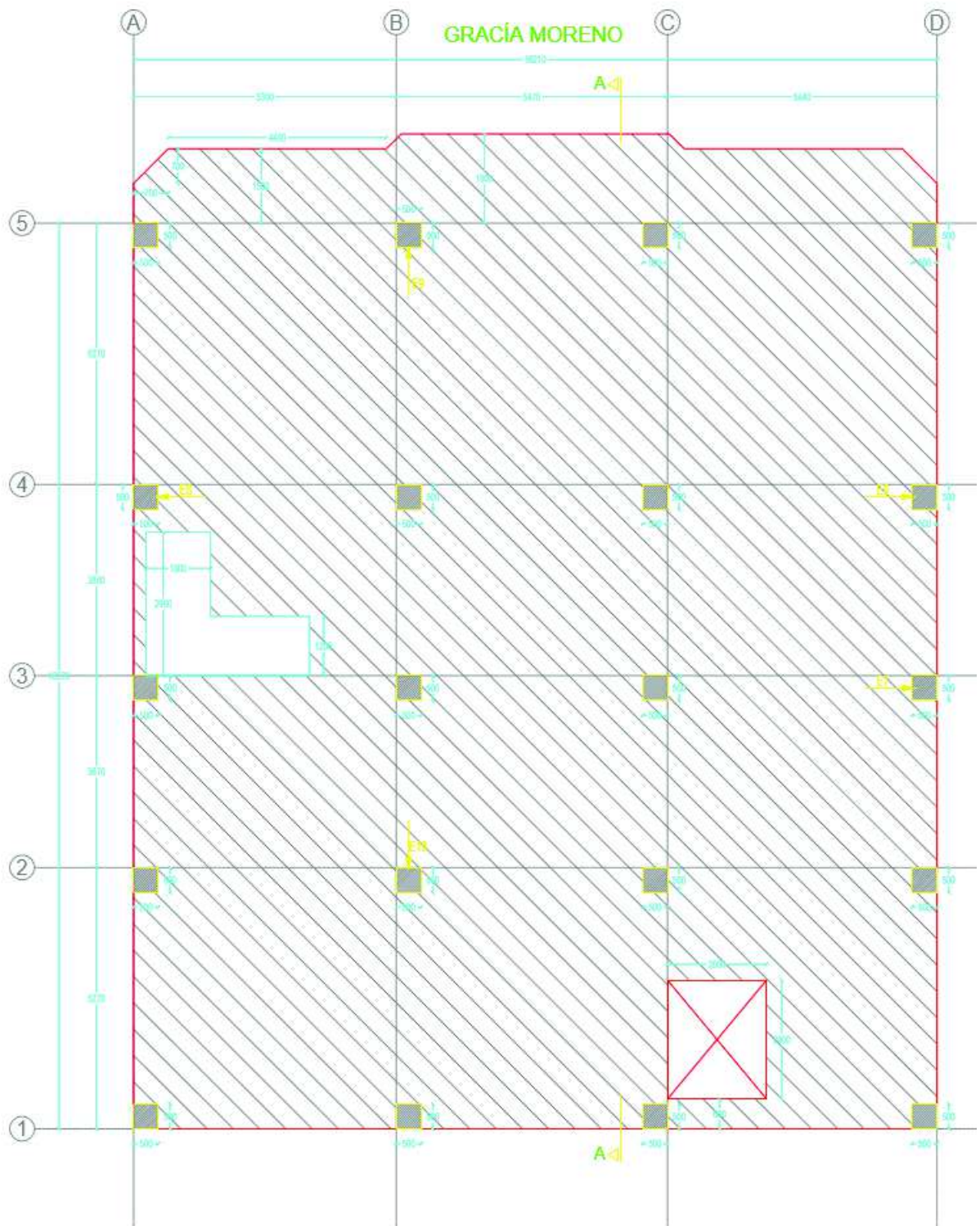


ANEXO 11 PLANTA DEL SOTANO FUENTE: AUTORES

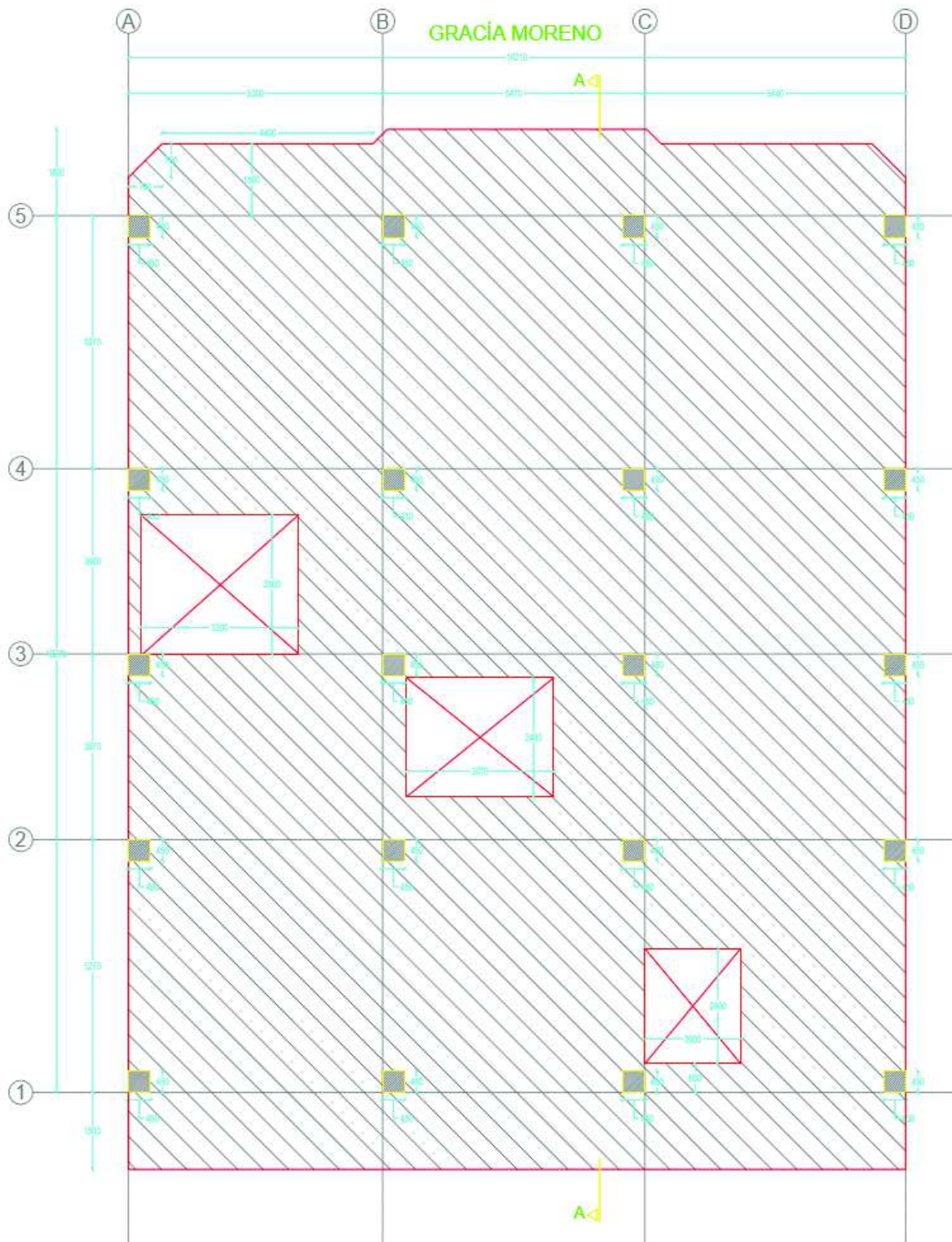


ANEXO 12 PLANTA BAJA FUENTE: AUTORES

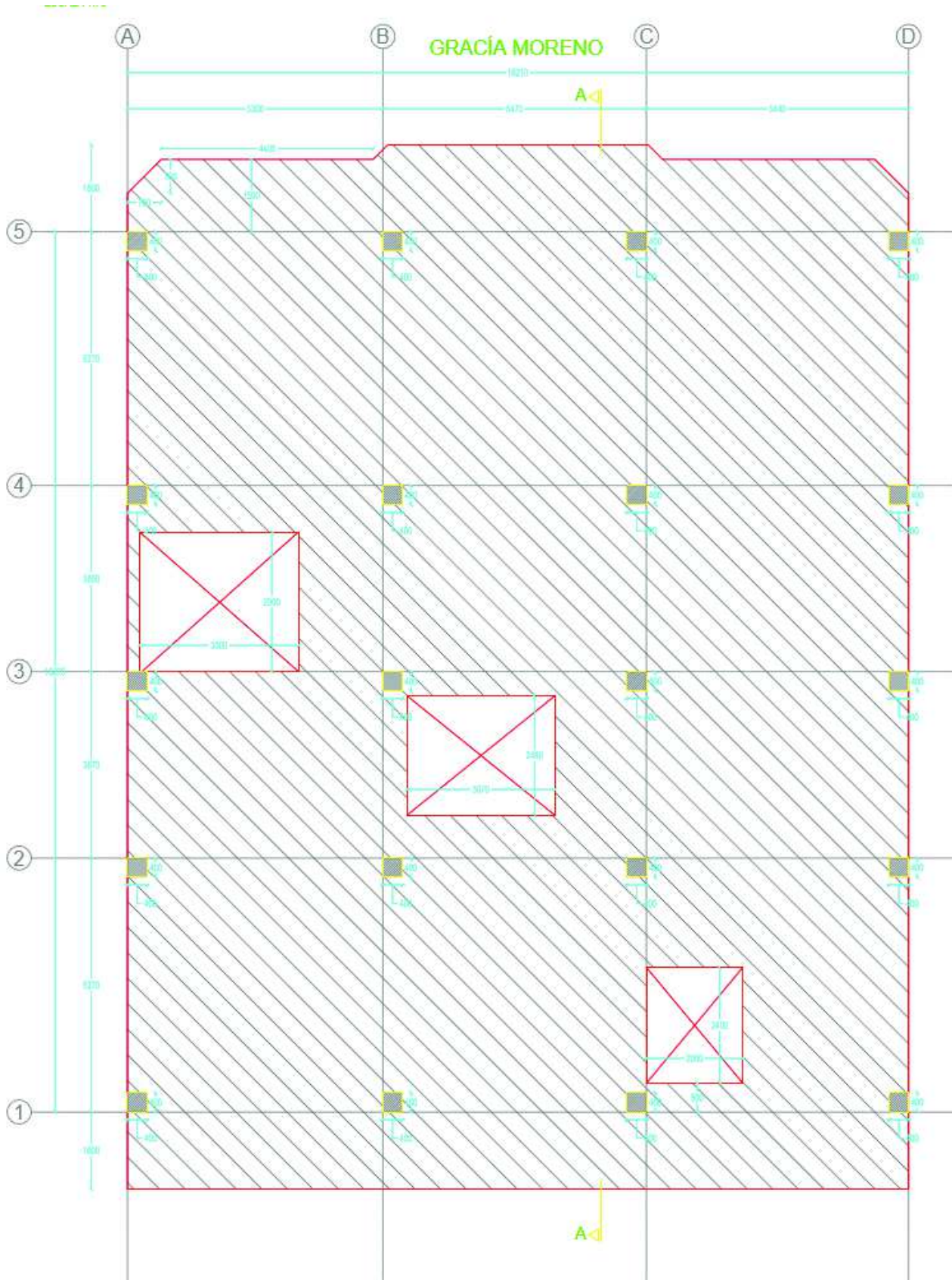




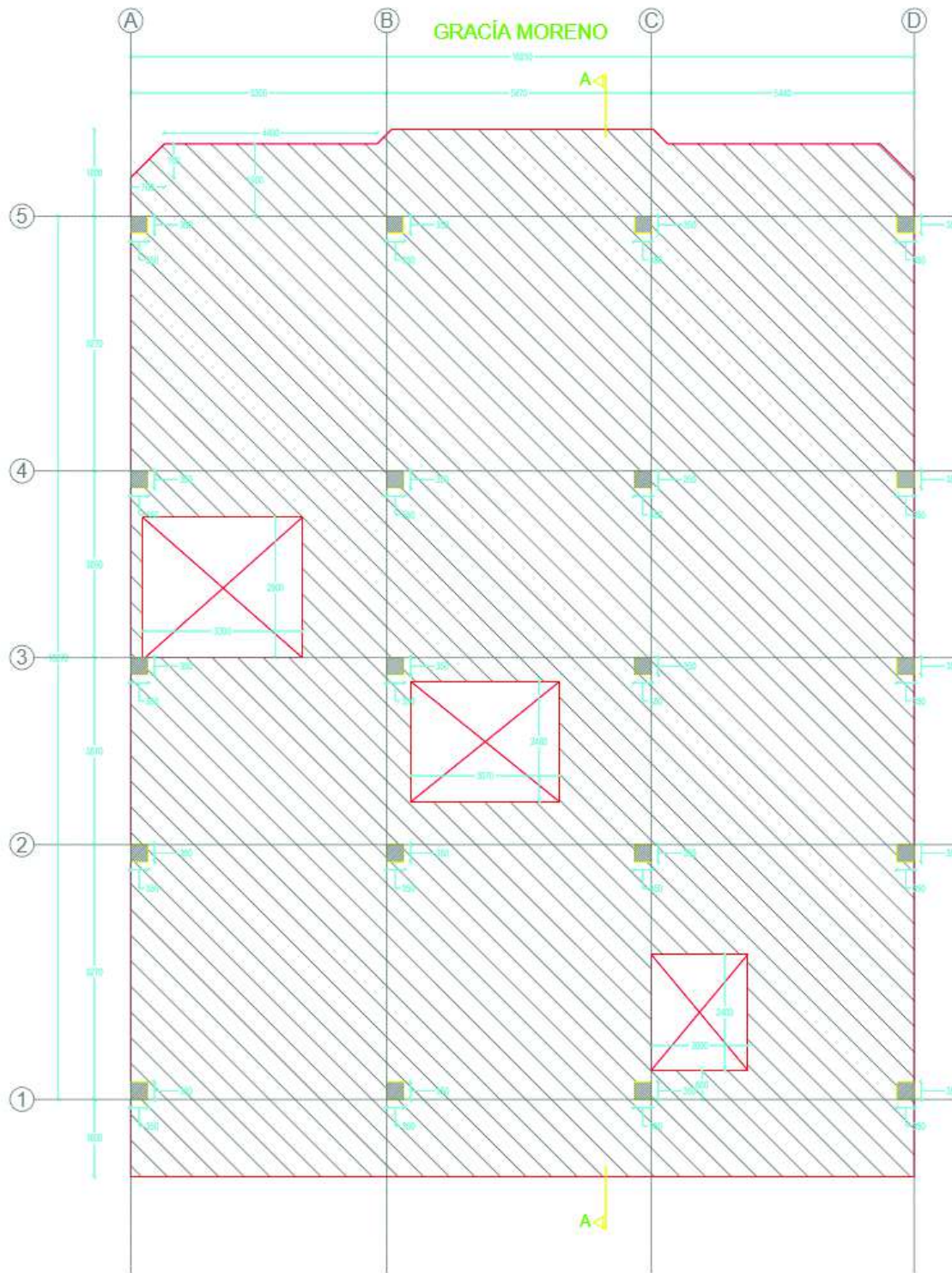
ANEXO 13 LOSA 1er PISO ALTO FUENTE: AUTORES



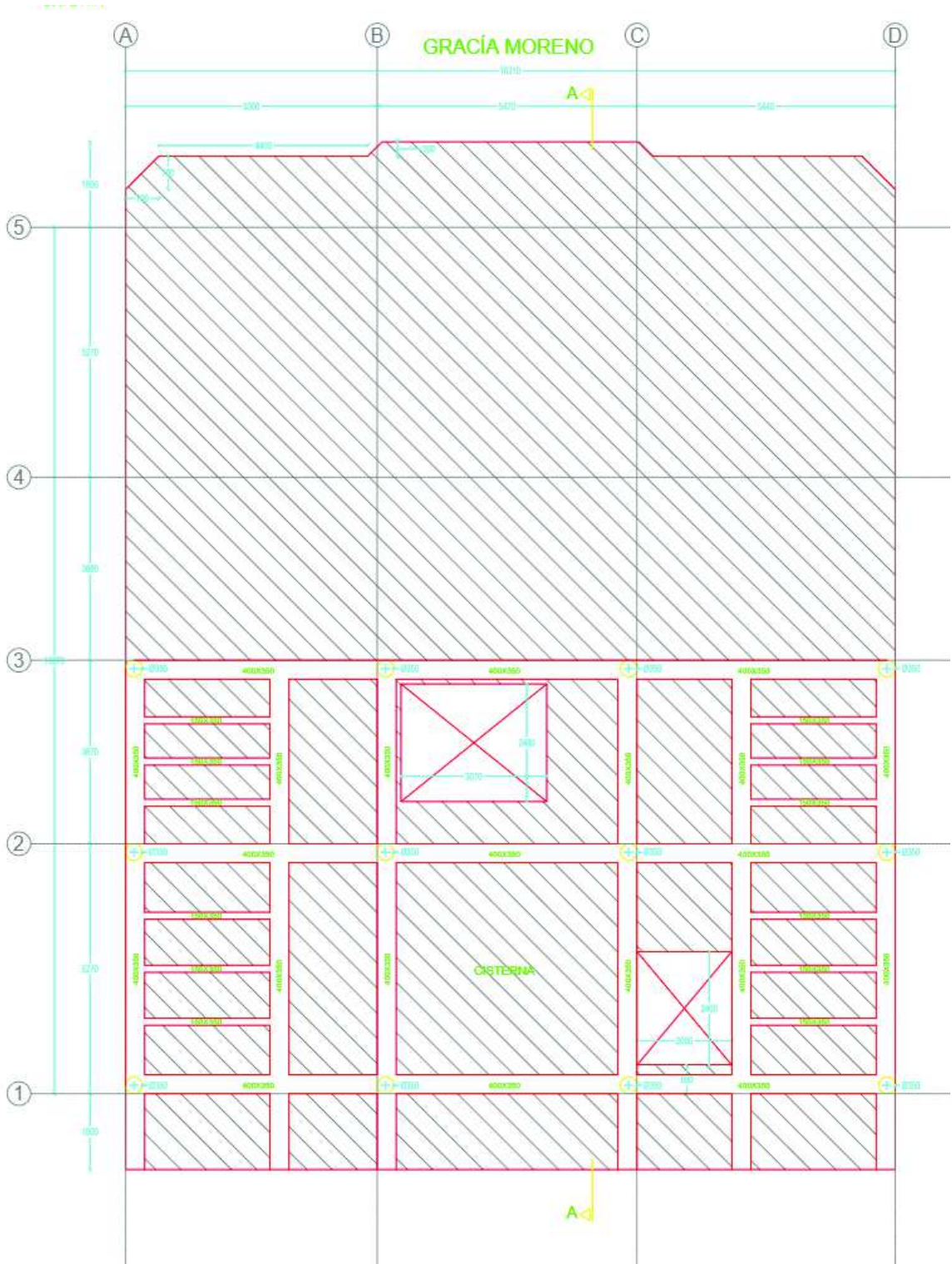
ANEXO 14 LOSA 2do Y 3ero PISO ALTO FUENTE: AUTORES



ANEXO 15 LOSAS 4to Y 5to PISO ALTO FUENTE: AUTORES



ANEXO 16 LOSA 6to PISO ALTO FUENTE: AUTORES



ANEXO 17 LOSA DE TERRAZA FUENTE: AUTORES