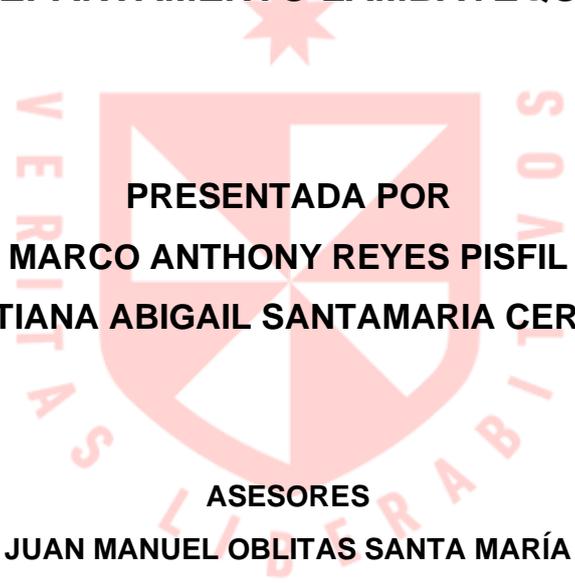


FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL CON ACELEROGRAMAS
SINTÉTICOS PARA DETERMINAR EL NIVEL DE
DESEMPEÑO SÍSMICO SEGÚN LA NORMA ATC40 DE UNA
EDIFICACIÓN DE 6 NIVELES DEL HOSPITAL REGIONAL
UBICADO EN LA PROVINCIA CHICLAYO –
DEPARTAMENTO LAMBAYEQUE**



**PRESENTADA POR
MARCO ANTHONY REYES PISFIL
TATIANA ABIGAIL SANTAMARIA CERNA**

**ASESORES
JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARÍA
ERNESTO ANTONIO VILLAR GALLARDO**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**CHICLAYO – PERÚ
2023**



CC BY-NC-SA

Reconocimiento – No comercial – Compartir igual

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

Facultad de
Ingeniería y
Arquitectura

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL CON ACELEROGRAMAS
SINTÉTICOS PARA DETERMINAR EL NIVEL DE DESEMPEÑO
SÍSMICO SEGÚN LA NORMA ATC40 DE UNA EDIFICACIÓN DE 6
NIVELES DEL HOSPITAL REGIONAL UBICADO EN LA PROVINCIA
CHICLAYO - DEPARTAMENTO LAMBAYEQUE**

**PARA OPTAR
EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR
MARCO ANTHONY REYES PISFIL
TATIANA ABIGAIL SANTAMARIA CERNA**

**ASESORES
JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARÍA
ERNESTO ANTONIO VILLAR GALLARDO**

**CHICLAYO – PERÚ
2023**

Dedico esta investigación a mis padres Luis Reyes y Carmen Pisfil, quienes siempre me han apoyado en todo momento, por su dedicación, sacrificio y amor, que me han ayudado a llegar hasta aquí y me han enseñado el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mi hermana Pricila, quien siempre ha estado a mi lado apoyándome para superar cualquier reto y seguir adelante.

A mi enamorada Tatiana por su constante motivación y por creer en mi para realizar este logro.

A mis queridas mascotas, Chale y Estrellita quienes han sido mi compañía fiel durante todo este proceso.

Dedico esta investigación a mis queridos padres, Jorge Santamaria y Silvia Cerna les expreso mi agradecimiento por el amor y el constante apoyo, he logrado llegar hasta este momento y convertirme en la persona que soy hoy.

A mi hermano Carlos por su cariño motivación constante.

A mi abuelita Margarita, quiero dedicarle un especial agradecimiento por su infinito amor y comprensión, siempre estaré agradecida por todo lo que ha hecho por mí.

A mi enamorado Marco por su amor y paciencia constante, para poder concluir este logro.

Nuestro agradecimiento a Dios, por brindarnos salud, y permitir alcanzar nuestros objetivos, que nos han llevado a superar cada obstáculo y a crecer a lo largo de este arduo camino académico.

Al Ing. Ramos Brast, por su tiempo, paciencia y su compromiso en guiarnos con su mentoría al éxito de la presente investigación.

Al Ing. Olarte Navarro, quien nos facilitó los equipos necesarios para el desarrollo de nuestros ensayos en la presente investigación.

Nuestro agradecimiento a cada ingeniero que ha contribuido a nuestra formación profesional a lo largo de estos años, brindándonos la oportunidad de aprender de sus experiencias y conocimientos.

RESUMEN

En los últimos 277 años, se ha venido acumulando una gran cantidad de energía en la costa central del Perú, lo que conllevará a la ocurrencia de sismos de gran magnitud. Por consiguiente, resulta crucial que las estructuras esenciales, como los hospitales, sean diseñadas para resistir sus impactos.

La presente investigación determina el nivel de desempeño sísmico según la norma ATC-40 aplicando un análisis dinámico no lineal con acelerogramas sintéticos en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la provincia de Chiclayo – departamento Lambayeque.

El estudio tiene un diseño no experimental con enfoque cuantitativo y un alcance explicativo, la muestra es una edificación de muros estructurales de seis niveles con un área de 2529.36 m², que pertenece al Hospital Regional de Lambayeque.

Como resultado del ensayo vibracional ambiental se obtuvo un periodo del suelo máximo de 0.18 segundos y un periodo máximo en estructura de 0.45 segundos. Se determinó una velocidad de onda de corte (V_{s30}) de 409 m/s; mediante la aplicación del análisis dinámico no lineal se encontraron derivas máximas de 0.017 m en la dirección X y 0.0076 m en la dirección Y para un sismo máximo.

Se concluye que la estructura se encuentra entre un nivel de desempeño de ocupación inmediata y seguridad de vida, para registros sísmicos similares al sismo de Lima de 1966 (Intensidad IX), sismo de Ancash de 1970 (Intensidad IX) y el sismo de Loreto de 2019 (Intensidad VI).

Palabras clave: análisis dinámico no lineal, acelerogramas, desempeño sísmico, ensayo vibracional ambiental, muros estructurales, registros sísmicos históricos.

ABSTRACT

Over the last 277 years, a large amount of energy has been accumulating in the central coast of Peru, which will lead to the occurrence of large earthquakes. Therefore, it is crucial that essential structures, such as hospitals, are designed to withstand their impacts.

The present investigation determines the level of seismic performance according to the ATC-40 standard by applying a nonlinear dynamic analysis with synthetic accelerograms in a 6-story building of the Regional Hospital located in the province of Chiclayo - Lambayeque department.

The study has a non-experimental design with a quantitative approach and an explanatory scope, the sample is a six-story structural wall building with an area of 2529.36 m², which belongs to the Regional Hospital of Lambayeque.

As a result of the environmental vibrational test, a maximum ground period of 0.18 seconds and a maximum period in structure of 0.45 seconds were obtained. A shear wave velocity (V_{s30}) of 409 m/s was determined; through the application of the nonlinear dynamic analysis, maximum drifts of 0.017 m in the X direction and 0.0076 m in the Y direction were found for a maximum earthquake.

It is concluded that the structure is between a performance level of immediate occupancy and life safety, for seismic records similar to the Lima earthquake of 1966 (Intensity IX), Ancash earthquake of 1970 (Intensity IX) and the Loreto earthquake of 2019 (Intensity VI).

Keywords: nonlinear dynamic analysis, accelerograms, seismic performance, environmental vibrational testing, structural walls, historical seismic records.

NOMBRE DEL TRABAJO

Plan de Tesis Reyes Pisfil - Santamaria Cerna.pdf

AUTOR

MARCO ANTHONY REYES PISFIL / TATI ANA ABIGAIL SANTAMARIA CERNA

RECUESTO DE PALABRAS

38120 Words

RECUESTO DE CARACTERES

208693 Characters

RECUESTO DE PÁGINAS

267 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

10.1MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 12, 2023 2:37 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 12, 2023 2:40 PM GMT-5

● 15% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



USMP
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Biblioteca FIA

Juana Chunga Rodríguez
Bibliotecóloga

INTRODUCCIÓN

El Perú está ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico, una zona de alta sismicidad donde existe la mayor concentración al 85% de acción sísmica de todo el mundo. Existen registros sísmicos desde el año 1513 según el Instituto Geofísico del Perú (Instituto Geofísico del Perú, 2022) entre los más representativos se menciona al terremoto de 2007 en Pisco con una magnitud de 8.0 clasificado como uno de los terremotos más violentos acontecidos en el Perú y el terremoto del 2019 en Loreto que tuvo una magnitud de 8, dejando como consecuencias pérdidas humanas, viviendas totalmente destruidas, así como hospitales dañados y hasta colapsados.

En el caso de la región Lambayeque, la sismicidad histórica es escasa ya que se encuentra en un prolongado silencio sísmico, debido a que los registros históricos de terremotos datan de 1606; el último sismo del 2022 en el departamento de Lambayeque tuvo como magnitud 4.4 con epicentro localizado en 120 km al oeste de Pimentel, Chiclayo – Lambayeque tal como lo indica IGP.

En nuestro país no hay una normativa que indique como evaluar el desempeño sísmico de una estructura existente ante un evento sísmico, sólo brindan protección contra sismos ante sismos atípicos, descuidando situaciones cómo los daños causados por sismos con periodos de retornos más frecuentes. Por tal motivo es esencial el investigar y realizar el desempeño sísmico de las estructuras principalmente en edificaciones esenciales, cuya función no debería interrumpirse ante los diferentes niveles de amenaza sísmica con el fin de proteger la vida de la población.

Con el propósito de determinar el nivel de desempeño sísmico según la norma ATC-40 en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la provincia de Chiclayo, en la presente investigación:

Se determina las frecuencias naturales del suelo y de la estructura de la edificación de 6 niveles del Hospital Regional de Lambayeque; para lograr este objetivo se realizó un ensayo vibracional en la zona in situ, siendo un total de 11 puntos analizados (4 en suelo y 7 en estructura), para este ensayo se utilizó un sismógrafo de banda ancha de marca Geobox, con el cual se tomó las lecturas de las frecuencias en las direcciones Norte, Este y Vertical en cada punto, las mediciones de cada punto en

suelo tuvieron una duración de 30 minutos, mientras que las mediciones en estructura fueron de 3 minutos.

Se identifican los registros sísmicos históricos, para cumplir este objetivo se seleccionaron 3 registros sísmicos de la base de datos del Instituto Geofísico del Perú, siendo el primer registro de la Estación sísmica Parque de la Reserva del Sismo de Lima y Callao de 1966 con intensidad de IX en escala de Mercalli y una profundidad de 64 km, el segundo registro de la estación sísmica Parque de la Reserva del Sismo en Ancash de 1970 con intensidad de IX en escala de Mercalli y una profundidad de 13 km, el tercer registro y último registro del sismo en Loreto de 2019 con una intensidad de VI en escala de Mercalli.

Se genera acelerogramas sintéticos para la aplicación del análisis dinámico no lineal mediante los registros sísmicos históricos seleccionados y espectros de pseudo-aceleraciones para sismo de diseño, sismo de servicio y sismo máximo, empleando los programas: SeismoSignal y Etabs, donde se realizó es escalamiento de los acelerogramas reales.

Inicialmente se realizó una encuesta a 12 profesionales, entre ingenieros civiles y arquitectos sobre la importancia de la evaluación del nivel de desempeño del Hospital Regional de Lambayeque, siendo este el nosocomio más importante de la región, posteriormente se realizó un ensayo de vibración ambiental para determinar los periodos y frecuencias en terreno natural y la estructura, mediante los programas Geopsy se analizaron estas frecuencias para obtener las curvas H/V y a través del software Dinver se determinó las velocidades de ondas de corte para cada punto para clasificar el tipo de suelo in situ.

Se generaron acelerogramas sintéticos, debido a la ausencia de sismos significativos en la región, se realizó un análisis dinámico no lineal para después determinar el nivel de desempeño sísmico de la estructura, para ello se empleó el software SeismoSignal y Etabs V18.

La importancia de esta investigación reside en conocer el nivel de desempeño sísmico de la edificación más representativa del Hospital Regional de Lambayeque a través del análisis dinámico no lineal empleando acelerogramas sintéticos y de esta

manera verificar si la estructura garantiza la seguridad y la protección de la población ante eventos sísmicos.

La presente investigación se divide en diferentes secciones:

En el Capítulo I se aborda la descripción del problema, se formulan tanto el problema general como los problemas específicos, se establecen los objetivos de la investigación, se justifica su relevancia e importancia, y se evalúa la viabilidad del estudio.

En el Capítulo II se describen los antecedentes a nivel internacional y nacional, se presentan las bases teóricas utilizadas en el estudio, se definen los términos y se plantean tanto las hipótesis generales como las específicas

En el Capítulo III se define el diseño de investigación, la población y muestra; se especifica los técnicas e instrumentos de recolección de datos, la operacionalización de las variables y se detalla el procesamiento de la investigación.

En el Capítulo IV se explica el desarrollo de la investigación, el ensayo de vibración ambiental, la elaboración de acelerogramas sintéticos, la aplicación del análisis dinámico no lineal y la determinación del nivel de desempeño sísmico de la estructura.

En el Capítulo V se presentan los resultados obtenidos de la investigación, los cuales se basan en los objetivos establecidos previamente.

En el Capítulo VI se presenta la discusión de los resultados obtenidos con las hipótesis planteadas y los antecedentes internacionales y nacionales.

Por último, se presentan las conclusiones correspondientes, así como las recomendaciones, la bibliografía y los anexos que respaldan el estudio realizado.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	vii
ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xvi
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Descripción de la situación problemática	1
1.2 Formulación del problema	7
1.2.1 Problema principal	8
1.2.2 Problemas específicos	9
1.3 Objetivos de la investigación	
1.3.1 Objetivo general	
1.3.2 Objetivos específicos	
1.4 Justificación de la investigación	10
1.4.1 Importancia de la investigación	
1.5 Impacto de la investigación	11
1.5.1 Impacto Teórico	
1.5.2 Impacto Práctico	12
1.6 Viabilidad de la investigación	13
1.6.1 Viabilidad Económica y Financiera	
1.6.2 Viabilidad Técnica	
1.6.3 Viabilidad Operativa	
1.6.4 Viabilidad Social	
1.7 Alcances y limitaciones de la investigación	
1.7.1 Alcances	

	Página
1.7.2 Limitaciones	14
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la investigación	15
2.1.1 Antecedentes Internacionales	
2.1.2 Antecedentes Nacionales	17
2.2 Bases Teóricas	20
2.2.1 Ondas Sísmicas	
2.2.2 Microtremores	21
2.2.3 Zonificación sísmica del Perú	22
2.2.4 Efecto del Perfil de Suelo	23
2.2.5 Zonificación sísmica regional	24
2.2.6 Método de Cociente Espectral H/V	27
2.2.7 Ensayo de Vibración Ambiental	28
2.2.8 Procesamiento de Datos	31
2.2.9 Acelerograma	32
2.2.10 Registros Sísmicos	33
2.2.11 Sismos Representativos Seleccionados	
2.2.12 Análisis Tiempo Historia	38
2.2.13 Software Geopsy	40
2.2.14 SeismoSignal	41
2.2.15 Criterio SESAME	42
2.2.16 Software Etabs	43
2.2.17 Norma ATC - 40	44
2.3 Definición de términos básicos	48

	Página
2.4 Formulación de hipótesis	50
2.4.1 Hipótesis principal	
2.4.2 Hipótesis específicas	
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1 Diseño investigación	51
3.1.1 Tipo de investigación	51
3.1.2 Diseño de investigación	
3.1.3 Nivel de investigación	52
3.2 Población y Muestra	
3.2.1 Población	
3.2.2 Muestra	53
3.3 Definición de Variables	56
3.3.1 Definición Conceptual	
3.3.2 Definición Operacional	58
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	59
3.4.1 Técnicas	
3.4.2 Instrumentos para la recolección	
3.5 Técnicas e instrumentos de procesamiento de datos	
3.5.1 Técnicas	
3.5.2 Instrumentos para la recolección	60
3.6 Procedimiento	
CAPÍTULO IV DESARROLLO	
4.1 Ubicación de la estructura planteada	61
4.2 Descripción del Área	62
4.3 Descripción de Ambientes	63

	Página
4.4 Ensayo de Vibración Ambiental	66
4.5 Obtención de puntos	68
4.5.1 Reconocimiento de terreno y plan de trabajo	
4.6 Ensayo en Suelo – Punto 1	80
4.6.1 Curva H/V, Frecuencias y Amplitudes	
4.6.2 Importación de datos del punto 1 al software Geopsy	
4.6.3 Evaluación SESAME	83
4.6.4 Inversión de la curva H/V en Geopsy Dinver	86
4.7 Ensayo en Suelo – Punto 2	90
4.7.1 Curva H/V, Frecuencias y Amplitudes	
4.7.2 Importación de datos del punto 2 al software Geopsy	91
4.7.3 Evaluación SESAME	93
4.7.4 Inversión de la curva H/V en Geopsy Dinver	95
4.8 Ensayo en Suelo – Punto 3	99
4.8.1 Curva H/V, Frecuencias y Amplitudes	
4.8.2 Importación de datos del punto 3 al software Geopsy	100
4.8.3 Evaluación SESAME	102
4.8.4 Inversión de la curva H/V en Geopsy Dinver	104
4.9 Ensayo en Suelo – Punto 4	108
4.9.1 Curva H/V, Frecuencias y Amplitudes	
4.9.2 Importación de datos del punto 4 al software Geopsy	109
4.9.3 Evaluación SESAME	111
4.9.4 Inversión de la curva H/V en Geopsy Dinver	113
4.10 Ensayo en Estructura – Punto 5	118

	Página
4.10.1 Generación de espectros resultantes en el software Geopsy	118
4.10.2 Determinación de periodos de vibración del punto 5	120
4.11 Ensayo en Estructura – Punto 6	121
4.11.1 Generación de espectros resultantes en el software Geopsy	
4.11.2 Determinación de periodos de vibración del punto 6	122
4.12 Ensayo en Estructura – Punto 7	123
4.12.1 Generación de espectros resultantes en el software Geopsy	
4.12.2 Determinación de periodos de vibración del punto 7	125
4.13 Ensayo en Estructura – Punto 8	
4.13.1 Generación de espectros resultantes en el software Geopsy	
4.13.2 Determinación de periodos de vibración del punto 8	127
4.14 Ensayo en Estructura – Punto 9	128
4.14.1 Generación de espectros resultantes en el software Geopsy	
4.14.2 Determinación de periodos de vibración del punto	129
4.15 Ensayo en Estructura – Punto 10	130
4.15.1 Generación de espectros resultantes en el software Geopsy	
4.15.2 Determinación de periodos de vibración del punto 10	131
4.16 Ensayo en Estructura – Punto 11	132
4.16.1 Generación de espectros resultantes en el software Geopsy	
4.16.2 Determinación de periodos de vibración del punto 11	133
4.17 Análisis Estático Lineal	134
4.17.1 Modelado de la estructura en Etabs	
4.17.2 Parámetros Sísmicos	135
4.18 Análisis Dinámico Lineal	143

	Página
CAPÍTULO V RESULTADOS	
5.1 Ensayo de Vibración Ambiental	186
5.2 Velocidad de Ondas de Corte	189
5.3 Fuerza cortante, desplazamientos y derivas	191
CAPÍTULO VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
6.1 Contrastación de Hipótesis	194
6.1.1 Hipótesis general HG: Desempeño sísmico	
6.1.2 Hipótesis específicas H1: Frecuencias naturales, amplitudes y periodos de vibración	195
6.1.3 Hipótesis específicas H2: Velocidad de ondas de corte	196
6.1.4 Hipótesis específicas H3: Fuerza cortante, desplazamiento y deriva	197
6.2 Contrastación con Antecedentes	198
6.2.1 Antecedentes Internacionales	
6.2.2 Antecedentes Nacionales	200
CONCLUSIONES	201
RECOMENDACIONES	202
ANEXOS	204
FUENTES DE INFORMACIÓN	235

ÍNDICE DE GRÁFICOS

TABLAS	Página
Tabla 1 Sismos significativos con epicentro en Perú 2014-2022.	2
Tabla 2 Población damnificada debido al terremoto de Pisco 2007	4
Tabla 3 Establecimientos de salud afectados por el terremoto de Pisco	6
Tabla 4 Periodo de retorno	23
Tabla 5 Categoría de las Edificaciones y su Factor	26
Tabla 6 Factor de Suelos	26
Tabla 7 Periodos T_P y T_L	27
Tabla 8 Información del registro sísmico 1966	34
Tabla 9 Información del registro sísmico 1970	36
Tabla 10 Información del registro sísmico 2019	37
Tabla 11 Nivel de Desempeño	45
Tabla 12 Pisos de la estructura	55
Tabla 13 Variable Independiente	57
Tabla 14 Variable Dependiente	57
Tabla 15 Dimensiones de variable Independiente	58
Tabla 16 Dimensión Variable Dependiente	58
Tabla 17 Descripción de ambientes	63
Tabla 18 Propiedades de Materiales	64
Tabla 19 Características de diseño	65
Tabla 20 Punto Microtremor Suelo 01	69
Tabla 21 Punto Microtremor Suelo 02	70
Tabla 22 Punto Microtremor Suelo 03	71

	Página
Tabla 23 Punto Microtremor Suelo 04	72
Tabla 24 Punto Microtremor Estructura 01	73
Tabla 25 Punto Microtremor Estructura 02	74
Tabla 26 Punto Microtremor Estructura 03	75
Tabla 27 Punto Microtremor Estructura 04	76
Tabla 28 Punto Microtremor Estructura 05	77
Tabla 29 Punto Microtremor Estructura 06	78
Tabla 30 Punto Microtremor Estructura 07	79
Tabla 31 Resultados obtenidos del punto 1 en el software Geopsy	84
Tabla 32 Criterios para curva confiable H/V del punto 1	85
Tabla 33 Criterios para peak H/V Claro del punto 1	85
Tabla 34 Valores umbral f y $A(f_0)$ para punto 1	86
Tabla 35 Resultados obtenidos del software Geopsy Dinver	89
Tabla 36 Determinación de la velocidad de onda de corte a 30 metros	89
Tabla 37 Clasificación del perfil de suelo del punto 1	90
Tabla 38 Resultados obtenidos del punto 2 en el software Geopsy	93
Tabla 39 Criterios para curva confiable H/V del punto 2	94
Tabla 40 Criterios para peak H/V Claro del punto 2	95
Tabla 41 Valores umbral f y $A(f_0)$ para punto 2	95
Tabla 42 Resultados obtenidos del software Geopsy Dinver	98
Tabla 43 Determinación de la velocidad de onda de corte a 30 metros	98
Tabla 44 Clasificación del perfil de suelo del punto 2	99
Tabla 45 Resultados obtenidos del punto 3 en el software Geopsy	102
Tabla 46 Criterios para curva confiable H/V del punto 3	103

	Página
Tabla 47 Criterios para peak H/V Claro del punto 3	104
Tabla 48 Valores umbral f y A(f0) para punto 3	104
Tabla 49 Resultados obtenidos del software Geopsy Dinver	107
Tabla 50 Determinación de la velocidad de onda de corte a 30 metros	107
Tabla 51 Clasificación del perfil de suelo del punto 3	108
Tabla 52 Resultados obtenidos del punto 4 en el software Geopsy	111
Tabla 53 Criterios para curva confiable H/V del punto 4	112
Tabla 54 Criterios para peak H/V Claro del punto 4	113
Tabla 55 Valores umbral f y A(f0) para punto 4	113
Tabla 56 Resultados obtenidos del software Geopsy Dinver	117
Tabla 57 Determinación de la velocidad de onda de corte a 30 metros	117
Tabla 58 Clasificación del perfil de suelo del punto 4	118
Tabla 59 Periodos de la estructura en el punto 5	120
Tabla 60 Periodos de la estructura en el punto 6	123
Tabla 61 Periodos de la estructura en el punto 7	125
Tabla 62 Periodos de la estructura en el punto 8	128
Tabla 63 Periodos de la estructura en el punto 9	130
Tabla 64 Periodos de la estructura en el punto 10	132
Tabla 65 Periodos de la estructura en el punto 11	134
Tabla 66 Ubicación del Proyecto para la determinación del factor Z	135
Tabla 67 Factor de Zona (Z)	136
Tabla 68 Factor de Uso (U)	136
Tabla 69 Factor de Suelo (S)	136
Tabla 70 Periodos T_P y T_L	137

	Página
Tabla 71 Periodo Fundamental de Vibración de la Estructura en Etabs	137
Tabla 72 Periodos de Vibración de la Estructura del ensayo	137
Tabla 73 Factor de Amplificación Sísmica	138
Tabla 74 Determinación de Sistema Estructural	138
Tabla 75 Factor de Amplificación Sísmica	138
Tabla 76 Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas	139
Tabla 77 Peso de estructura	139
Tabla 78 Cortante basal en “X”	139
Tabla 79 Cortante basal en “Y”	140
Tabla 80 Fuerza sísmica en altura	140
Tabla 81 Fuerza cortante	141
Tabla 82 Distorsión en X	141
Tabla 83 Distorsión en Y	142
Tabla 84 Desplazamientos	142
Tabla 85 Determinación de Sistema Estructural	143
Tabla 86 Espectro de diseño	144
Tabla 87 Cortante basal	146
Tabla 88 Cortante Basal Escalada	147
Tabla 89 Fuerza Sísmica en Altura	147
Tabla 90 Fuerza Cortante	148
Tabla 91 Modos de vibración, periodos y porcentajes	148
Tabla 92 Distorsión X	149
Tabla 93 Distorsión Y	150
Tabla 94 Desplazamientos	150

	Página
Tabla 95 Características principales del sismo de Lima y Callao de 1966	151
Tabla 96 Características principales del sismo de Ancash de 1970	152
Tabla 97 Características principales del sismo de Loreto de 2019	153
Tabla 98 Espectro de diseño según norma E.030	154
Tabla 99 Espectro para Sismos de Servicio, Diseño y Máximo	155
Tabla 100 Cortante basal en dirección EW y NS	164
Tabla 101 Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS	164
Tabla 102 Desplazamientos por piso en dirección EW y NS	165
Tabla 103 Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS	165
Tabla 104 Cortante basal en dirección EW y NS	167
Tabla 105 Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS	168
Tabla 106 Desplazamientos por piso en dirección EW y NS	168
Tabla 107 Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS	169
Tabla 108 Cortante basal en dirección EW y NS	170
Tabla 109 Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS	171
Tabla 110 Desplazamientos por piso en dirección EW y NS	171
Tabla 111 Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS	172
Tabla 112 Cortante basal en dirección EW y NS	173
Tabla 113 Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS	174
Tabla 114 Desplazamientos por piso en dirección EW y NS	174
Tabla 115 Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS	175
Tabla 116 Cortante basal en dirección EW y NS	175
Tabla 117 Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS	176
Tabla 118 Desplazamientos por piso en dirección EW y NS	176

	Página
Tabla 119 Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS	177
Tabla 120 Cortante basal en dirección EW y NS	177
Tabla 121 Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS	178
Tabla 122 Desplazamientos por piso en dirección EW y NS	178
Tabla 123 Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS	179
Tabla 124 Cortante basal en dirección EW y NS	179
Tabla 125 Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS	180
Tabla 126 Desplazamientos por piso en dirección EW y NS	180
Tabla 127 Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS	181
Tabla 128 Cortante basal en dirección EW y NS	181
Tabla 129 Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS	182
Tabla 130 Desplazamientos por piso en dirección EW y NS	182
Tabla 131 Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS	183
Tabla 132 Cortante basal en dirección EW y NS	183
Tabla 133 Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS	184
Tabla 134 Desplazamientos por piso en dirección EW y NS	184
Tabla 135 Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS	185
Tabla 136 Resultados del ensayo de vibración ambiental en suelo	186
Tabla 137 Velocidades de ondas de corte punto 1	189
Tabla 138 Velocidades de ondas de corte punto 2	189
Tabla 139 Velocidades de ondas de corte punto 3	190
Tabla 140 Velocidades de ondas de corte punto 4	190
Tabla 141 Cortantes, desplazamientos y derivas del ADNL	192
Tabla 142 Desempeño Sísmico para sismo de Lima de 1966	192

	Página
Tabla 143 Desempeño Sísmico para sismo de Ancash de 1970	193
Tabla 144 Desempeño Sísmico para sismo de Loreto de 2019	193
Tabla 145 Discusión de Hipótesis General HG	195
Tabla 146 Discusión de Hipótesis Específica H1	196
Tabla 147 Discusión de Hipótesis Específica H2	197
Tabla 148 Discusión de Hipótesis Específica H3	198
Tabla 149 Discusión de Antecedentes Internacionales	199
Tabla 150 Discusión de Antecedentes Nacionales	200
FIGURAS	
Figura 1 Histograma sísmicos Lambayeque	1
Figura 2 Mapa sísmico del Perú 1960-2022	3
Figura 3 Problemas de la investigación	7
Figura 4 Diagrama Causa - Efecto	8
Figura 5 Onda Sísmica	20
Figura 6 Onda Secundaria	20
Figura 7 Ondas Superficiales	21
Figura 8 Trayectoria de las ondas sísmicas	21
Figura 9 Mapa de Zonificación Sísmica del Territorio Nacional	24
Figura 10 Zona sísmica de los distritos de la provincia de Lambayeque	25
Figura 11 Sismógrafo Geobox	28
Figura 12 Punto en estructura (Sismógrafo)	29
Figura 13 Excavación para la toma de datos	30
Figura 14 Sismógrafo conectado al equipo	30
Figura 15 Registro de amplitudes	31

Figura 16 Espectro promedio	32
Figura 17 Acelerograma	32
Figura 18 Sismo de Lima y Callao 1966	34
Figura 19 Sismo de Ancash 1970	35
Figura 20 Sismo de 2019	37
Figura 21 Software Etabs	39
Figura 22 Aceleración vertical versus Tiempo	40
Figura 23 Software Geopsy	41
Figura 24 SeismoSignal 2023	42
Figura 25 Modelamiento Estructural	44
Figura 26 Curva de Capacidad	46
Figura 27 Espectro de demanda sísmica E.030	47
Figura 28 Espectro de capacidad y demanda y puntos de desempeño	48
Figura 29 Diseño de Investigación	51
Figura 30 Hospital Regional de Lambayeque	52
Figura 31 Localización de Estudio	53
Figura 32 Detalles Bloque C	54
Figura 33 Proyección Arquitectónica 3D	55
Figura 34 Ubicación de puntos analizados en terreno	56
Figura 35 Procedimiento de la investigación	60
Figura 36 Ubicación del Proyecto	61
Figura 37 Plano del Bloque C	62
Figura 38 Módulos independientes de la edificación	65
Figura 39 Equipo utilizado para el ensayo de vibración ambiental.	66
Figura 40 Distancia del sismógrafo al equipo	67

Figura 41 Reconocimiento del terreno	68
Figura 42 Punto Microtremor Suelo 01	69
Figura 43 Punto Microtremor Suelo 02	70
Figura 44 Punto Microtremor Suelo 03	71
Figura 45 Punto Microtremor Suelo 04	72
Figura 46 Punto Microtremor Estructura 01	73
Figura 47 Punto Microtremor Estructura 02	74
Figura 48 Punto Microtremor Estructura 03	75
Figura 49 Punto Microtremor Estructura 04	76
Figura 50 Punto Microtremor Estructura 05	77
Figura 51 Punto Microtremor Estructura 06	78
Figura 52 Punto Microtremor Estructura 07	79
Figura 53 Curvas H/V promedio del punto 01 en Excel	80
Figura 54 Importación de datos del punto 1 en el software Geopsy	81
Figura 55 Amplitudes del punto 1	81
Figura 56 Determinación de la curva H/V del punto 1	82
Figura 57 Resultados obtenidos de la curva H/V del punto 1	83
Figura 58 Curvas H/V máxima, media y mínima del punto 1	83
Figura 59 Inversión de curva de razón espectral H/V del punto 1	86
Figura 60 Runs asignados para el punto 1	87
Figura 61 Gráfica del Status generados del margen de error	87
Figura 62 Resultados del punto 1 obtenidos en Geopsy Dinver	88
Figura 63 Perfil de suelo del punto 1	88
Figura 64 Curvas H/V promedio del punto 02 en Excel	90
Figura 65 Importación de datos del punto 2 en el software Geopsy	91

Figura 66	Amplitudes del punto 2 en sus componentes	91
Figura 67	Determinación de la curva H/V del punto 2	92
Figura 68	Resultados obtenidos de la curva H/V del punto 2	92
Figura 69	Curvas H/V máxima, media y mínima del punto 2	93
Figura 70	Inversión de curva de razón espectral H/V del punto 2	95
Figura 71	Runs asignados para el punto 2	96
Figura 72	Gráfica del Status generados del margen de error	96
Figura 73	Resultados del punto 2 obtenidos en Geopsy Dinver	97
Figura 74	Perfil de suelo del punto 2	97
Figura 75	Curvas H/V promedio del punto 03 en Excel	99
Figura 76	Importación de datos del punto 3 en el software Geopsy	100
Figura 77	Amplitudes del punto 3 en sus componentes	100
Figura 78	Determinación de la curva H/V del punto 3	101
Figura 79	Resultados obtenidos de la curva H/V del punto 3	101
Figura 80	Curvas H/V máxima, media y mínima del punto 3	102
Figura 81	Inversión de curva de razón espectral H/V del punto 3	104
Figura 82	Runs asignados para el punto 3	105
Figura 83	Gráfica del Status generados del margen de error	105
Figura 84	Resultados del punto 3 obtenidos en Geopsy Dinver	106
Figura 85	Perfil de suelo del punto 3	106
Figura 86	Curvas H/V promedio del punto 04 en Excel	108
Figura 87	Importación de datos del punto 4 en el software Geopsy	109
Figura 88	Amplitudes del punto 4 en sus componentes	109
Figura 89	Determinación de la curva H/V del punto 4	110
Figura 90	Resultados obtenidos de la curva H/V del punto 4	110

Figura 91 Curvas H/V máxima, media y mínima del punto 4	111
Figura 92 Inversión de curva de razón espectral H/V del punto 4	114
Figura 93 Runs asignados para el punto 4	115
Figura 94 Gráfica del Status generados del margen de error	115
Figura 95 Resultados del punto 4 obtenidos en Geopsy Dinver	116
Figura 96 Perfil de suelo del punto 4	116
Figura 97 Espectro resultante en Z, del punto 5 en estructura	119
Figura 98 Espectro resultante en Norte, del punto 5 en estructura	119
Figura 99 Espectro resultante en Este, del punto 5 en estructura	120
Figura 100 Espectro resultante en Z, del punto 6 en estructura	121
Figura 101 Espectro resultante en Norte, del punto 6 en estructura	121
Figura 102 Espectro resultante en Este, del punto 6 en estructura	122
Figura 103 Espectro resultante en Z, del punto 7 en estructura	123
Figura 104 Espectro resultante en Norte, del punto 7 en estructura	124
Figura 105 Espectro resultante en Este, del punto 7 en estructura	124
Figura 106 Espectro resultante en Z, del punto 8 en estructura	126
Figura 107 Espectro resultante en Norte, del punto 8 en estructura	126
Figura 108 Espectro resultante en Este, del punto 8 en estructura	127
Figura 109 Espectro resultante en Z, del punto 9 en estructura	128
Figura 110 Espectro resultante en Norte, del punto 9 en estructura	129
Figura 111 Espectro resultante en Este, del punto 9 en estructura	129
Figura 112 Espectro resultante en Z, del punto 10 en estructura	130
Figura 113 Espectro resultante en Norte, del punto 10 en estructura	131
Figura 114 Espectro resultante en Este, del punto 10 en estructura	131
Figura 115 Espectro resultante en Z, del punto 11 en estructura	132

Figura 116	Espectro resultante en Norte, del punto 11 en estructura	133
Figura 117	Espectro resultante en Este, del punto 11 en estructura	133
Figura 118	Vista frontal del Hospital Regional de Lambayeque	134
Figura 119	Vista posterior del Hospital Regional de Lambayeque	135
Figura 120	Desplazamiento en X y Y	143
Figura 121	Espectro elástico de aceleraciones	146
Figura 122	Desplazamiento X y Y	151
Figura 123	Acelerogramas Lima y Callao de 1966	152
Figura 124	Acelerogramas Sismo de Ancash de 1970	152
Figura 125	Acelerogramas Sismo de Loreto de 2019	153
Figura 126	Espectro de respuesta del sismo de Lima y Callao de 1966.	156
Figura 127	Espectro de respuesta del sismo de Ancash de 1970	156
Figura 128	Espectro de respuesta del sismo de Loreto de 2019	157
Figura 129	c entre el sismo de diseño y el sismo de 1966	158
Figura 130	Ajuste Espectral entre el sismo de diseño y el sismo de 1970	158
Figura 131	Ajuste Espectral entre el sismo de diseño y el sismo del 2019	159
Figura 132	Acelerograma EW del Sismo de Lima y Callao de 1966	159
Figura 133	Acelerograma NS del Sismo de Lima y Callao de 1966	160
Figura 134	Acelerograma EW del Sismo de Ancash de 1970	160
Figura 135	Acelerograma NS del Sismo de Ancash de 1970	161
Figura 136	Acelerograma EW del Sismo de Loreto de 2019	161
Figura 137	Acelerograma NS del Sismo de Loreto de 2019	162
Figura 138	Acelerograma sintético generado en Etabs	163
Figura 139	Asignación de casos de carga para análisis	163
Figura 140	Deformación de la estructura	166

Figura 141	Desplazamientos máximos por piso en dirección EW y NS	166
Figura 142	Función de Cortantes con respecto al tiempo en EW y NS	167
Figura 143	Deformación de la estructura	169
Figura 144	Desplazamientos máximos por piso en la dirección EW y NS.	170
Figura 145	Función de Cortantes con respecto al tiempo en EW y NS	170
Figura 146	Deformación de la estructura	172
Figura 147	Desplazamientos máximos por piso en la dirección EW y NS	173
Figura 148	Función de Cortantes con respecto al tiempo en EW y NS.	173
Figura 149	Curvas medias H/V resultante del ensayo	187
Figura 150	Frecuencias mínimas, medias y máximas en suelo	187
Figura 151	Amplitud mínimas, medias y máximas en suelo	188
Figura 152	Periodos de la Estructura según Ensayo	188
Figura 153	Velocidades de ondas de corte promedio Vs30	191
Figura 154	Velocidades de ondas de corte para los cuatro estratos	191

CAPÍTULO I

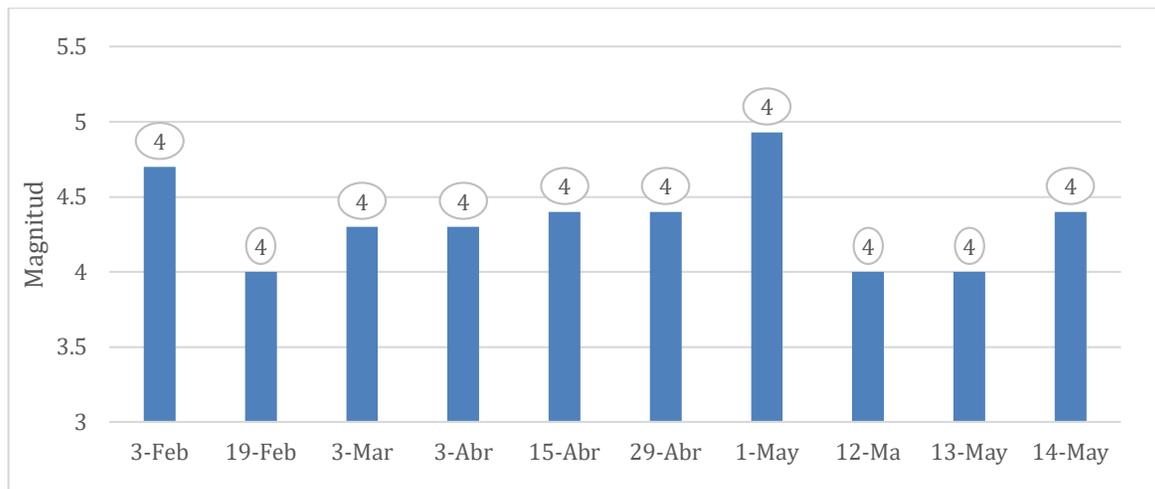
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la situación problemática

Nuestro país se encuentra ubicado en el “Cinturón de Fuego del Pacífico”, una zona de alta actividad sísmica debido a la presencia de placas tectónicas que se mueven y entran en contacto en esta región, por esta razón el Perú experimenta movimientos sísmicos, que generan un impacto significativo que puede causar daños a las edificaciones y coloca a las personas en peligro. Por este motivo es importante que las estructuras que diseñemos sean sismorresistentes, que permitan resistir o absorber la energía generada por los sismos, logrando esto mediante un buen análisis y diseño estructural, incorporando sistemas de amortiguación o disipadores sísmicos y evaluando el nivel de desempeño con el fin de minimizar el daño que puedan ocasionar los sismos y aumentar la seguridad de los ocupantes.

Figura 1

Histograma sísmicos Lambayeque



Nota. Registros sísmicos del departamento de Lambayeque Enero – Mayo 2023.

Fuente: Instituto Geofísico del Perú (2022)

El Perú ha sufrido una serie de eventos sísmicos importantes a lo largo de la historia entre los más importantes de los últimos años podemos resaltar algunos cómo el terremoto de Ucayali en 2015 con una magnitud de 7.6, el sismo de Loreto en 2019

con una magnitud de 8.0, el sismo de Sullana en 2021 con una magnitud de 6.2 y el sismo de Puno en 2022 con una magnitud de 7.2. (Terremotos en Perú, s.f.) Todos ellos causaron un gran impacto en la población y en la infraestructura del país, incluyendo la destrucción de edificios y pérdida de vidas humanas.

Tabla 1

Sismos significativos con epicentro en Perú 2014-2022.

Fecha	Magnitud	Epicentro
24 de agosto de 2014	6,8	60 kilómetros al este de la localidad de Tambo, Ayacucho
25 de noviembre de 2015	7,6	83 y 99 kilómetros al sur de Esperanza, Ucayali
17 de julio de 2017	6,3	45 kilómetros al suroeste de Ático
10 de octubre de 2017	6,3	108 kilómetros al suroeste de Tacna, Tacna
14 de enero de 2018	7,1	40 kilómetros al sur de Lomas, Arequipa
5 de enero de 2019	6,8	205 kilómetros al norte de Puerto Esperanza, Ucayali
1 de marzo de 2019	7,3	Con epicentro a 8 km al noroeste de Puno
26 de mayo de 2019	8,0	70 km de Alto Amazonas, Loreto
27 de diciembre de 2020	6,0	36 km al sur - suroeste de Chala, Arequipa.
22 de junio de 2021	6,4	33 km al SO de Mala - Lima
30 de julio de 2021	6,2	18 km al oeste-noroeste de Sullana
26 de mayo de 2022	7,2	10 km al oeste de Azángaro, Puno.

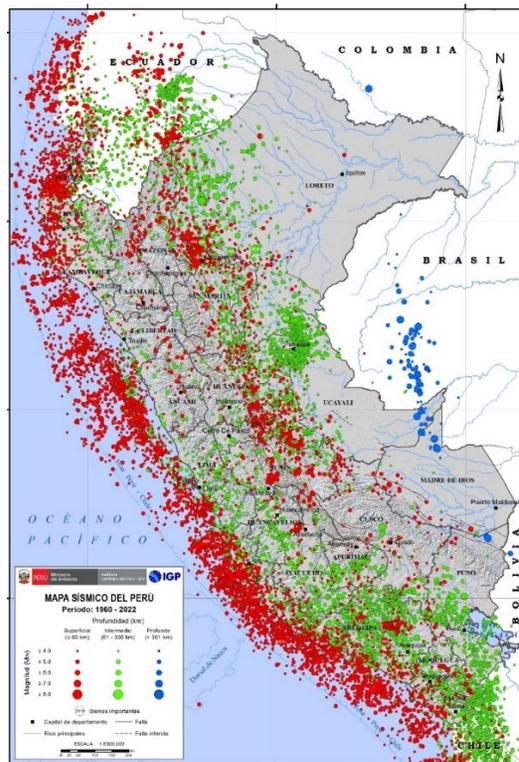
Fuente: Instituto Geofísico del Perú (2022)

Los sismos en Perú han causado un gran número de víctimas y daños materiales en el país. En los últimos años, varios sismos han sacudido diferentes regiones de Perú, causando la muerte de cientos de personas y dejando a miles de personas sin hogar. Un claro ejemplo es el sismo del sur del Perú en 2007, siendo el sismo más significativo en términos de daños en nuestro país en el siglo XXI, también conocido como el terremoto de Ica. Según Hernando (2020) este sismo de magnitud 8.0 ocurrió el 15 de agosto del 2007, con una duración aproximada de 4 minutos, afectó la costa sur del Perú, causando alrededor de 600 muertes y más de 1,300 heridos, provocando además daños considerables a las infraestructuras siendo un total de 48,000 viviendas destruidas y 450,000 damnificados.

La Fig. 2 muestra la actividad sísmica del Perú entre 1960 y 2022 con magnitudes en la escala iguales o superiores a 4.0. Se visualiza que la región central y sur del Perú muestra una mayor actividad sísmica en comparación con la región norte.

Figura 2

Mapa sísmico del Perú 1960-2022



Nota. Mapa sísmico del Perú donde periodo 1960 – 2022. Fuente: IGP (2023)

Tabla 2*Población damnificada debido al terremoto de Pisco 2007*

Provincia	Población Total	Población afectada	% Población Afectada	Población no Afectada	% Población no Afectada
Ica	642253	544980	84.85%	97273	15.15%
Ica	320152	247142	77.20%	73010	22.80%
Chincha	194536	183556	94.36%	10980	5.64%
Pisco	127565	114282	89.59%	13283	10.41%
Lima	194291	139310	71.70%	54981	28.30%
Cañete	172896	120261	69.56%	52635	30.44%
Yauyos	21395	19049	89.03%	2346	10.97%
Huancavelica	40629	38353	94.40%	2276	5.60%
Castrovirreyña	16978	16266	95.81%	712	4.19%
Huaytará	20696	19300	93.25%	1396	6.75%
Huancavelica	2955	2787	94.31%	168	5.69%
Total	877173	722643	82.38%	154530	17.62%

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (2008).

Aunque los sismos en sí no causan directamente muertes, pueden generar daños en edificaciones. Si estas estructuras no están adecuadamente diseñadas y construidas para resistir los movimientos sísmicos, pueden colapsar y resultar en lesiones y pérdidas humanas. Por lo tanto, es crucial que se garantice la seguridad de las personas a través de estructuras sismorresistentes.

Se debe brindar un enfoque principal a las edificaciones esenciales puesto que estas estructuras son consideradas críticas para la seguridad y el bienestar de la población. En caso de un evento sísmico o cualquier otro desastre, estos edificios

deben ser capaces de funcionar adecuadamente para brindar servicios esenciales y ayudar a mitigar los efectos del desastre. Por ejemplo, los hospitales son edificaciones esenciales debido a su papel crítico en la atención médica durante y después de un evento sísmico. Durante un terremoto, es importante que los hospitales estén en capacidad de brindar atención médica a las víctimas de manera eficiente y segura. Esto requiere que los edificios estén contruidos de manera adecuada y hayan sido diseñados bajo una normativa sismorresistente para cumplir con los estándares de seguridad necesarios para proteger a los pacientes, al personal médico y a los edificios mismos, minimizando los daños y riesgo a la población.

Tomando de modelo el terremoto de Pisco en 2007 podemos constatar que tuvo un impacto significativo en los hospitales y centros de salud de la región, muchos de estos edificios fueron destruidos o severamente dañados por el sismo, lo que dificultó la atención médica a las víctimas y complicó los esfuerzos de rescate y socorro. Los establecimientos de salud, particularmente los más antiguos, colapsaron en gran parte de su estructura, lo que provocó la muerte de pacientes y médicos.

Este evento ilustra la importancia de construir edificaciones esenciales de manera segura y resistente a los terremotos, para minimizar los daños y riesgos a la población y garantizar la continuidad de los servicios esenciales en caso de un desastre.

Al tomar medidas adecuadas para fortalecer la infraestructura y mejorar la preparación ante los terremotos, se pueden minimizar los efectos negativos y ayudar a proteger a las comunidades afectadas.

Según Bambarén y Alatrística (2009). Se calcula que se necesitan aproximadamente 126,5 millones de dólares para la rehabilitación de los hospitales y 5,3 millones de dólares para la recuperación de la infraestructura y el equipamiento de los centros de salud de nivel inicial. En total, los daños en la infraestructura y el equipamiento ascendieron a 131,8 millones de dólares, siendo el 96% de este total atribuido a los hospitales y el 4% restante a los centros de salud de nivel inicial. (p. 177-184). En la siguiente tabla N°3, se presenta el impacto en la infraestructura de

hospitales y centros de salud en las diferentes provincias afectadas por el terremoto que tuvo lugar en Pisco en el año 2007.

Tabla 3

Establecimientos de salud afectados por el terremoto de Pisco

Provincias	Establecimientos Afectados			Total
	Hospitales	Centros de Salud	Puestos de Salud	
Cañete	1	1	1	3
Castrovirreyna	-	-	6	6
Chincha	1	6	7	14
Huancavelica	-	1	-	1
Huaytará	-	1	6	7
Ica	2	1	-	3
Pisco	1	6	8	15
Yauyos	-	1	15	16
Total	5	17	43	65

Fuente: MINSA (2008)

Con el propósito de evaluar edificaciones existentes cómo los hospitales y mejorar el diseño estructural para su buen funcionamiento durante un sismo, es que se propone el análisis por desempeño sísmico como una alternativa moderna en la ingeniería estructural.

El análisis por desempeño sísmico se basa en simular el comportamiento de una estructura durante un terremoto y evaluar su capacidad para mantener su integridad estructural. Su importancia radica en identificar los puntos débiles de una estructura y riesgos potenciales que pueden surgir durante un evento sísmico

Analizando la problemática de los eventos sísmicos y su efecto sobre edificaciones esenciales cómo hospitales, hemos optado como objeto de estudio para el presente proyecto de tesis para determinar del nivel desempeño sísmico mediante

el análisis dinámico no lineal de la superestructura del bloque “C y F” del Hospital Regional de Lambayeque, el cual posee un área de 2529.36 metros cuadrados y 6 niveles. En este sector funcionan áreas administrativas, farmacias y otros ambientes.

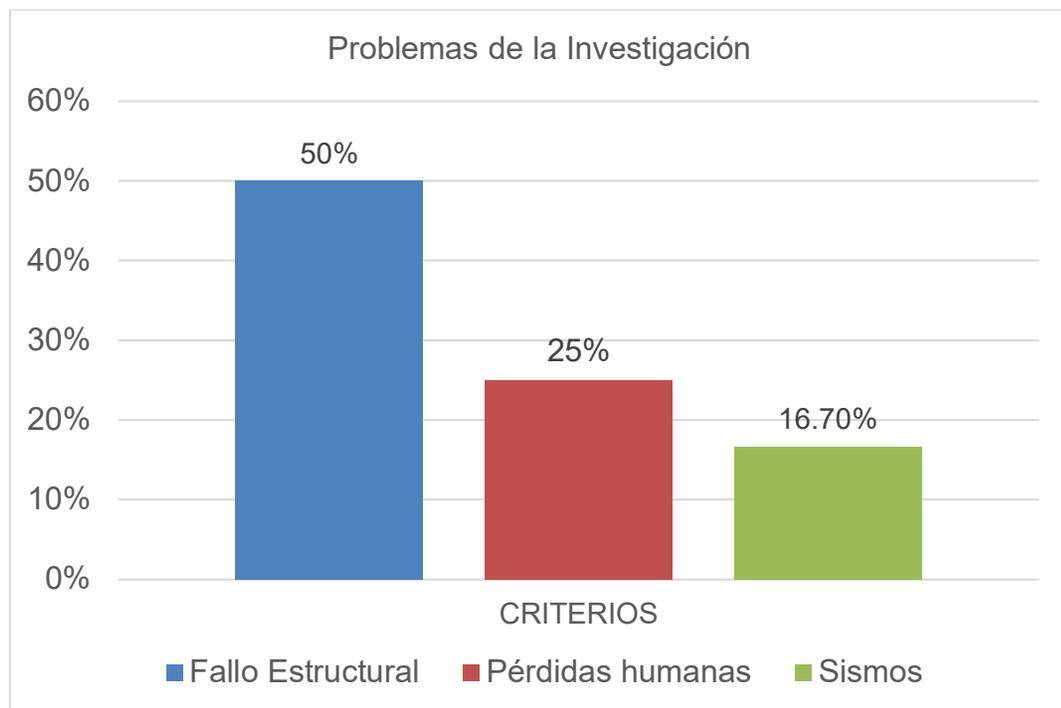
Se evaluará la estructura diseñada por el proyectista según la Norma ATC-40 para indicar el nivel de desempeño sísmico de esta edificación y garantizar la seguridad y operatividad de esta edificación esencial.

1.2 Formulación del problema

Para el desarrollo de esta tesis se realizó una encuesta externa realizada a 12 ingenieros expertos sobre el tema, donde se realizó la siguiente pregunta: ¿Cuál es el problema principal que genera vulnerabilidad sísmica en edificaciones esenciales como los hospitales? En la figura 3 se puede inferir que la principal problemática identificada durante la investigación se relaciona con la falla estructural, seguido de pérdidas humanas, teniendo por último los eventos sísmicos.

Figura 3

Problemas de la investigación



Nota. La figura muestra la cifra de cuál es el principal problema según la encuesta. Fuente. Elaboración propia (2023).

Se recopiló información para poder potenciar la investigación, donde se realizó el diagrama causa - efecto para mostrar todas las posibles causas que existieron detrás de la problemática, siendo el efecto el no cumplir con el nivel de desempeño sísmico de una estructura esencial; por lo tanto, el problema consiste en determinar nivel de desempeño sísmico de una edificación mediante el análisis dinámico no lineal.

Como se aprecia en la figura 4, las respuestas de los expertos fueron clave para la creación del diagrama de causa y efecto que se muestra a continuación.

Figura 4

Diagrama Causa - Efecto



Nota. Esta figura muestra el diagrama causa – efecto donde se identifica cuáles son las posibles causas y efecto del presente proyecto. Elaborado por: los autores.

1.2.1 Problema principal

¿Cuál es el nivel de desempeño sísmico según la norma ATC-40, aplicando un análisis dinámico no lineal con acelerogramas sintéticos en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la provincia de Chiclayo – departamento Lambayeque?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cuál es el impacto de la aplicación del ensayo de vibración ambiental en suelo y estructura de una edificación de 6 niveles del Hospital Regional, ubicado en la provincia de Chiclayo - Departamento Lambayeque?

¿Cómo influye la velocidad de ondas de corte considerando el parámetro V_{s30} en el suelo de una edificación de 6 niveles del Hospital Regional de Lambayeque?

¿Cuál es la respuesta de la estructura mediante un análisis dinámico no lineal con acelerogramas sintéticos según la norma ATC-40 para determinar el nivel de desempeño sísmico de una edificación de 6 niveles del Hospital Regional de Lambayeque?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar el nivel de desempeño sísmico aplicando un análisis dinámico no lineal con acelerogramas sintéticos según la norma ATC-40 en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la provincia de Chiclayo - departamento Lambayeque.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar el impacto del ensayo de vibración ambiental en suelo y en estructura en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional, ubicado en la provincia de Chiclayo - Departamento Lambayeque

Estimar modelos de velocidad de ondas de corte considerando el parámetro V_{s30} en el suelo de una edificación de 6 niveles del Hospital Regional de Lambayeque.

Obtener la respuesta de la estructura mediante un análisis dinámico no lineal para determinar el nivel de desempeño sísmico según la norma ATC-40 en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la provincia de Chiclayo – departamento Lambayeque.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Importancia de la investigación

Se realizó con la finalidad de profundizar en los conceptos de desempeño sísmico en hospitales, su importancia y las metodologías que se emplean para ello, cómo el análisis dinámico no lineal, tomando de ejemplo el Hospital Regional de Lambayeque. En el Perú no contamos con normativas que permitan evaluar el riesgo sísmico de una edificación existente, por lo que estas metodologías se convierten en una opción de poder realizar la evaluación de desempeño sísmico y asegurar la protección estructural de los edificios durante y después de un evento sísmico.

A lo largo de la historia nuestro país ha experimentado una serie de eventos sísmicos significativos que han causado graves daños y pérdidas humanas. Algunos de los terremotos más destructivos en Perú incluyen al terremoto de Lima en 1966 y el terremoto de Ancash en 1970 los cuales tuvieron resultados catastróficos como viviendas colapsadas, personas heridas y pérdidas de vidas humanas. Los sismos también representan una amenaza para las infraestructuras incluyendo puentes, carreteras, hospitales y edificios. Con una población en aumento y una urbanización incontrolada en áreas de alto riesgo sísmico, es fundamental implementar las acciones adecuadas para incrementar la preparación y resistencia de estas estructuras frente a los sismos.

Las edificaciones esenciales como los Hospitales deben garantizar la seguridad y el bienestar de la población en caso de un evento sísmico, por lo tanto, es importante que estas estructuras sean diseñadas y construidas para ser sismorresistentes y puedan cumplir con sus funciones en una situación de emergencia.

En Perú, los terremotos también han causado graves daños a los hospitales y a la atención médica en general. Durante el terremoto de 2007 en Pisco, muchos hospitales sufrieron daños estructurales y se vieron obligados a cerrar temporal o permanentemente debido, incluso algunos de ellos sufrieron el colapso total, interrumpiendo la atención médica para las comunidades afectadas. Es aquí donde el análisis dinámico no lineal se convierte en una herramienta útil para evaluar el

desempeño sísmico de un hospital u otra edificación esencial y garantizar la seguridad de esta ante un sismo.

En este tipo de análisis se emplean acelerogramas (registros de aceleración en un punto en el tiempo), para estudiar el comportamiento dinámico de estructuras en respuestas a cargas sísmicas. Un acelerograma es una medida de la aceleración que se produce en un punto en el tiempo (sismos registrados), esta metodología estudia la respuesta dinámica considerando la no linealidad de la estructura y componentes, permitiendo estimar la respuesta de la estructura a diferentes intensidades y duraciones de carga sísmica, lo que es esencial para el diseño y evaluación de comportamiento sísmico de las estructuras.

Se demostrará la importancia de esta investigación evaluando el nivel de desempeño del Hospital Regional siendo este, uno de los nosocomios más destacados de la región, con un nivel III-1 (alta complejidad), verificaremos los resultados obtenidos a través de las metodologías de análisis dinámico no lineal, realizaremos una comparación de los resultados obtenidos y clasificaremos el nivel de desempeño obtenido y comprobaremos si cumplen con los criterios necesarios que requiere una edificación esencial para garantizar la integridad de la estructura y la funcionalidad durante y después de un terremoto, esto con el fin de salvaguardar la vida de las personas de la región e incentivando a realizar el mismo análisis en otras edificaciones esenciales para dar a conocer que estructuras necesitan reforzamiento estructural y evitar así el colapso de las mismas y sobre todo evitar las pérdidas humanas.

1.5 Impacto de la investigación

La contribución de los resultados obtenidos ha sido analizada y así dividida en efectos teóricos y prácticos.

1.5.1 Impacto Teórico

Aportará información sobre las metodologías para la generación y aplicación de acelerogramas artificiales en la zona de estudio, podrá determinar si la estructura cumple con los estándares establecidos en la norma ATC-40 para los diferentes niveles de desempeño.

Aportará conocimientos nuevos acerca del análisis dinámico no lineal con acelerogramas sintéticos mediante el escalamiento de acelerogramas de sismo para un sismo de diseño, sismo de servicio y sismo máximo, también el ensayo de vibración ambiental brinda conocimiento científico para determinar el periodo fundamental de la estructura y del suelo, clasificando su tipo según la norma E.030.

Adapta a nuestra realidad enfoques extranjeros mediante la Norma ATC-40 para la identificación de daños estructurales después de un terremoto a través de la clasificación del nivel de desempeño de la estructura.

1.5.2 Impacto Práctico

Beneficiará a toda la población del distrito de Chiclayo, provincia y departamento de Lambayeque debido a que brindará seguridad y confianza en la estructura del hospital ante un evento sísmico. Esto ayudaría a preservar la integridad y el bienestar del personal médico y de los pacientes tanto durante como después de un sismo.

Servirá a entidades públicas e ingenieros estructurales que utilicen los resultados del desempeño sísmico para una restructuración de la edificación o para incorporar sistemas de aislamiento o disipación sísmica. Proporciona una guía para administradores y autoridades del hospital en la toma de decisiones en la gestión de riesgos sísmicos.

La utilidad que tendrá es de comunicar a las autoridades regionales el nivel de vulnerabilidad sísmica del Hospital Regional de Lambayeque en función de registros sísmicos históricos, para que se tomen medidas preventivas y se evite un posible desastre en caso de un terremoto.

Resolverá los problemas sobre la ausencia de registros sísmicos mediante el uso de acelerogramas sintéticos y sobre la probabilidad de fallo o colapso en caso de sismo, identificando el nivel de desempeño de la estructura.

1.6 Viabilidad de la investigación

1.6.1 Viabilidad Económica y Financiera

Los autores se hicieron cargo de los costos relacionados con la investigación, incluyendo la adquisición del equipo y software utilizados para llevar a cabo los ensayos de vibración ambiental.

1.6.2 Viabilidad Técnica

Se contará con información técnica tal como los planos arquitectónicos y estructurales, estudio de mecánica de suelos y memorias descriptivas del proyecto. Se contará con recursos tecnológicos como de softwares de estructuras y hojas de cálculo, con los cuales hizo que el desarrollo de la tesis fuera factible técnicamente.

1.6.3 Viabilidad Operativa

Este proyecto de investigación partirá en base a la información recolectada para su elaboración; utilizando los planos de estructuras auténticos que fueron empleados en la construcción del Hospital Regional de Lambayeque, así mismo se emplearán las normativas nacionales e internacionales y la información bibliográfica que se requiera, también contaremos con la asesoría de un ingeniero estructural como apoyo para la elaboración del presente proyecto.

1.6.4 Viabilidad Social

Este presente proyecto tiene un impacto positivo para la sociedad permitiendo brindar la seguridad que necesita una estructura esencial como lo es el Hospital Regional de Lambayeque, teniendo en cuenta la demanda de personas que alberga esta edificación, evaluando el nivel desempeño que este tendrá ante un evento sísmico y brindando la seguridad que debe tener una estructura sismorresistente.

1.7 Alcances y limitaciones de la investigación

1.7.1 Alcances

Se centra en el estudio del desempeño sísmico de un hospital y la evaluación de su nivel de respuesta ante un evento sísmico mediante el análisis dinámico no lineal siendo esta metodología la que brinda resultados más reales y precisos del comportamiento de una estructura, se aplicaron normativas internacionales y se recopiló la información como planos arquitectónicos, estructurales, así mismo a partir

de esta información se realizó el modelamiento en Etabs para la posterior evaluación de desempeño aplicando el análisis dinámico no lineal.

1.7.2 Limitaciones

El estudio se centra en el comportamiento sísmico del Hospital, empleando la metodología de análisis dinámico no lineal. Se busca evaluar la capacidad de resistencia del edificio frente a terremotos severos de diferentes períodos de retorno. Los resultados obtenidos incluyen las máximas fuerzas cortantes generadas y los desplazamientos laterales máximos en cada nivel y realizando una comparación entre ellos para cada situación. Se encuentra muy poca información o antecedentes de proyectos donde empleen el análisis dinámico no lineal en centros de salud, por ser una metodología más rigurosa de realizar, pero que brinda resultados más precisos del comportamiento de una estructura. Consideramos también como otra limitación la ausencia de normas nacionales para el desempeño sísmico en edificaciones, si bien es cierto que hay normativas nacionales que permiten realizar un análisis y diseño sísmico de una edificación, no existe normativas en nuestro país para el desempeño sísmico por lo que se recurrió a normativas internacionales como el ATC-40.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Chininín & Duran (2022) En su tesis “**Análisis del comportamiento dinámico no-lineal en OpenSees de estructuras con disipadores sísmicos metálicos ranurados-desacoplados**” para la obtención profesional de Ingeniero Civil en la Universidad de Cuenca del título, evalúa el comportamiento sísmico con disipadores TADAS convencionales frente a TADAS ranurados, al realizar cortes horizontales en la placa de conexión, se busca reducir la rigidez total de la estructura. Esto permite que las placas triangulares se activen de acuerdo con las demandas de deformación durante un sismo, cuando se requiere una mayor capacidad de deformación. Se examinaron 6 registros sísmicos que fueron escalados para diferentes intensidades, incluyendo intensidades de servicio, diseño y MCE. En total, se llevaron a cabo 72 análisis dinámicos de tiempo-historia. Durante cada análisis, se registraron los desplazamientos de los pisos y las reacciones en la base de la estructura. Estas variables se utilizaron para calcular la deriva entre pisos, la deriva del techo con respecto a la base y el cortante basal. Como conclusión, se observa una notable sensibilidad de los TADAS ranurados ante las derivas de activación de las placas, puesto que en la mayoría de los casos presentan un comportamiento completamente distinto.

Galarza, D. (2019) En su tesis “**Evaluación del Desempeño Sísmico del edificio de la Oscus mediante comparación del análisis estático no lineal (Pushover), Análisis estático modal (Pushover multimodal) y Dinámico no-lineal (Historia de respuesta)**” para la obtención del título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Técnica de Ambato, se emplearon el espectro de respuesta y acelerogramas cuidadosamente seleccionados, ajustados y escalados según la NEC-SE-DS para un terremoto con una probabilidad de excedencia del 10% en un período de retorno de 50 años ($T_r=475$ años; Raro), continuando con Pushover (NSP) y el segundo Pushover Multimodal (MPA), se realizó una comparación entre

los resultados obtenidos del análisis de respuesta histórica y un modelo estructural tridimensional para evaluar el desempeño sísmico del edificio. Se determinó que la estructura alcanza su desplazamiento máximo antes de cumplir con su objetivo de desplazamiento, lo cual indica una importante inconsistencia en su comportamiento sísmico y demuestra una alta vulnerabilidad y un potencial riesgo potencial de colapso.

Ulloa, R. (2018) en su tesis **“Aplicación del método de Nakamura H/V, para estudiar el riesgo sísmico en la zona comprendida por el despliegue de estaciones IMAD”** para la obtención del título profesional de Geofísica en la Universidad de Concepción, el objetivo principal fue identificar las frecuencias en las que una onda sísmica experimenta una amplificación máxima utilizando el método de tasas espectrales H/V, estas frecuencias se utilizaron para analizar y evaluar diferentes aspectos relacionados con ellas. Se obtuvieron los datos de las estaciones pertenecientes a la red IMAD que registraron las vibraciones sísmicas, el software Bash y Generic Mapping Tools se utilizaron como herramientas principales para analizar los datos y obtener los resultados. Se determinó que las estaciones ubicadas en suelos sedimentarios presentan rangos de frecuencia entre 1,5 y 8,5 Hz, con un pico en esa franja. Sin embargo, se observó que las estaciones cercanas a los bordes de los suelos sedimentarios y adyacentes a otros tipos de suelo no se encuentran dentro de ese rango de frecuencia, lo cual indica que pertenecen a otro tipo de suelo. Se atribuye la posible clasificación errónea al uso de un mapa geológico impreciso.

Bedecarratz, L. (2018) En su tesis **“Modelación no lineal de un edificio de hormigón armado y aplicación de metodología de diseño por desempeño”** para la obtención del título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad de Chile, el objetivo principal de este estudio es realizar la modelación de un edificio de concreto armado que sufrió daños durante el terremoto del 27F y aplicar la metodología de diseño por desempeño. El propósito es evaluar si mediante el uso de un modelo no lineal se habría podido prever de manera anticipada el daño real sufrido por la estructura. La metodología empleada en este estudio es de carácter no experimental

y descriptivo. Se hicieron uso de los programas informáticos Etabs y Perform 3D. Se concluye que el modelo desarrollado es capaz de predecir de manera precisa los daños presentes en el edificio, teniendo en cuenta la demanda de desplazamiento que pudo haber ocurrido.

Stelios & Rui (2018) en su artículo “**Análisis sísmico no lineal de estructuras enmarcadas: desarrollos recientes**” comenta que el análisis no lineal dinámico se emplea para verificar los diseños estructurales basados en métodos elásticos, a fin de permitir una mejor estimación de la verdadera respuesta estructural del edificio. Por ejemplo, el ATC 58: Directrices para la evaluación del desempeño sísmico of Buildings (ATC, 2009) emplea análisis dinámicos no lineales para la evaluación del desempeño de edificios nuevos y existentes por igual, incluidos modelos de fragilidad que relacionan los parámetros de demanda estructural con daños y pérdidas explícitos métrica.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Quispe (2021) en su tesis sobre “**Comparación entre análisis dinámico tiempo-historia en sismos frecuentes y análisis espectral para un edificio de vivienda de 14 pisos**” para la obtención del título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Científica del Perú, El objetivo principal fue evaluar el comportamiento del edificio diseñado según el R.N.E. en vigor hasta el año 2019, ante cargas sísmicas generadas por terremotos habituales. Se presentaron los coeficientes de carga en comparación con la resistencia proporcionada en todos los análisis realizados, tomando en cuenta una sobre resistencia estructural igual a 2. Los resultados mostraron que el cociente entre la carga promedio del análisis temporal y la carga espectral se encuentra en el rango de 2.86 a 1.80, con un valor promedio de 2.41. la carga estructural generada por un terremoto frecuente es 2.41 veces más alta que la carga de diseño obtenida mediante el análisis espectral. En consecuencia, se puede concluir que la carga espectral es inferior a la carga del análisis temporal para terremotos frecuentes. Además, se observa que las restricciones establecidas por las normas peruanas para el diseño de estructuras resistentes a los terremotos no aseguran un rendimiento satisfactorio de la estructura ante terremotos frecuentes.

Chuquicahua, D. (2020) Con su tesis **Análisis no lineal estático y dinámico de un edificio de concreto armado con disipadores de energía SLB en la ciudad de Chiclayo** para la obtención del título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, se enfocó en examinar y contrastar el desempeño sísmico de un edificio de concreto armado equipado con disipadores de energía SLB utilizando tanto el análisis estático no lineal como el análisis dinámico no lineal. En su estudio, modeló 32 disipadores en dirección X y 36 en dirección Y, utilizando un coeficiente de reducción sísmica $R = 6$. La conclusión de la investigación fue que el modelado de los disipadores SLB como elementos nLink fue beneficioso en términos de ahorro de tiempo de modelado y determinó que el uso de un coeficiente de reducción sísmica $R = 6$ fue apropiado, ya que los muros desacoplados con estos disipadores absorbieron más del 80% de la fuerza sísmica, esto indica que el sistema estructural de muros mostró un buen rendimiento.

Zanelli & Paredes (2019) en su tesis sobre **Diseño Estructural de un Pabellón de Hospital con Aisladores Sísmicos** para la obtención del título profesional de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú, se llevó a cabo el diseño estructural de un pabellón hospitalario ubicado en la costa de Lima, utilizando aisladores sísmicos. Posteriormente, se realizó una evaluación de la respuesta del edificio frente a un sismo extremo con un periodo de retorno de 2500 años. Según la normativa peruana. La metodología utilizada implicó una revisión exhaustiva de los principios teóricos del aislamiento sísmico, seguida de un análisis temporal no lineal en el dominio dinámico. Durante este análisis, se determinaron las respuestas máximas del edificio en términos de desplazamientos, aceleraciones y fuerzas. Según los resultados obtenidos, se determinó que el edificio sufriría únicamente daños menores en sus componentes tanto estructurales como no estructurales después de un sismo extremo.

Gallegos, C. (2018) en su tesis sobre **Comparación De Los Métodos De Análisis Sísmico Tiempo Historia Lineal Elástico Y Modal Espectral** para la obtención del título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de San Agustín, cuyo objetivo la comparación de resultados obtenidos mediante dos métodos

de análisis sísmicos. El propósito principal era garantizar que los desplazamientos entre pisos debido a un sismo no excedieran los límites permitidos. El diseño de la investigación es no experimental y según su finalidad es aplicada. Finalmente se concluye que se realizaron tres análisis utilizando tres acelerogramas representativos de sismos: Lima 1974, Moquegua 2001 y Pisco 2007. Estos acelerogramas fueron ajustados al espectro sin reducir de E.030 ETABS, y se llevaron a cabo tres nuevos análisis de Tiempo Historia utilizando estos ajustes.

Espinoza & Quinto (2018) en su tesis sobre ***Estudio comparativo de respuestas sísmicas entre modal espectral y tiempo historia aplicado a un edificio 16 pisos en el distrito de Magdalena del Mar – Lima, 2018*** para la obtención del título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Cesar Vallejo, tuvo como objetivo principal llevar a cabo una comparación de las respuestas sísmicas de una estructura de 16 pisos utilizando tanto el método dinámico modal espectral como el método de tiempo historia. Metodología utilizada fue de naturaleza no experimental, cuantitativa, descriptiva y transversal. Se empleó el software ETABS como la herramienta principal para obtener los resultados. Como conclusión, se determinó que los valores obtenidos mediante el método de tiempo historia superan a los del método modal espectral. Estos métodos son de gran importancia en el campo de la ingeniería civil estructural sísmica.

Cevasco & Condo (2020) en su tesis sobre ***Análisis del comportamiento sísmico dinámico de un edificio multifamiliar de 37 niveles con disipadores de fluido viscoso en la victoria*** para la obtención del título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Ricardo Palma, el propósito principal de este estudio fue examinar el rendimiento de la estructura al implementar disipadores de fluido viscoso. La metodología utilizada fue de enfoque cuantitativo y alcance descriptivo. Además, se optó por un muestreo no probabilístico por conveniencia. El software ETABS fue utilizado como la herramienta principal para obtener los resultados, evaluando la eficiencia de la estructura a través de modelos iterativos. Como resultado, se concluye que la implementación de disipadores de fluido viscoso en los niveles 1 al 36 ha mejorado significativamente la respuesta sísmica del edificio.

2.2 Bases Teóricas

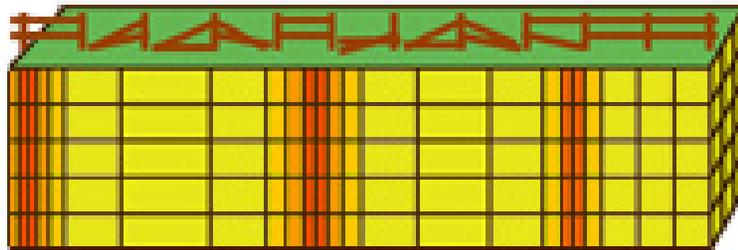
2.2.1 Ondas Sísmicas

Las ondas sísmicas se registran y se estudian utilizando instrumentos llamados sismógrafos. Estos dispositivos registran las vibraciones y permiten a los científicos analizar y comprender mejor la naturaleza de los terremotos, incluyendo su ubicación, magnitud y patrones de propagación. El estudio de las ondas sísmicas es fundamental para la sismología, que es la rama de la geofísica que se dedica al estudio de los terremotos y la estructura interna de la Tierra.

Las ondas P se caracterizan por su velocidad rápida y su capacidad de propagarse a través de sólidos, líquidos y gases. Estas ondas generan compresión y expansión del material en la dirección de su propagación.

Figura 5

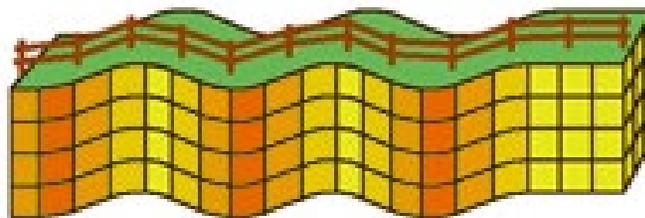
Onda Sísmica



Las ondas S son más lentas y solo se propagan a través de medios sólidos. Se mueven perpendicularmente a la dirección de propagación.

Figura 6

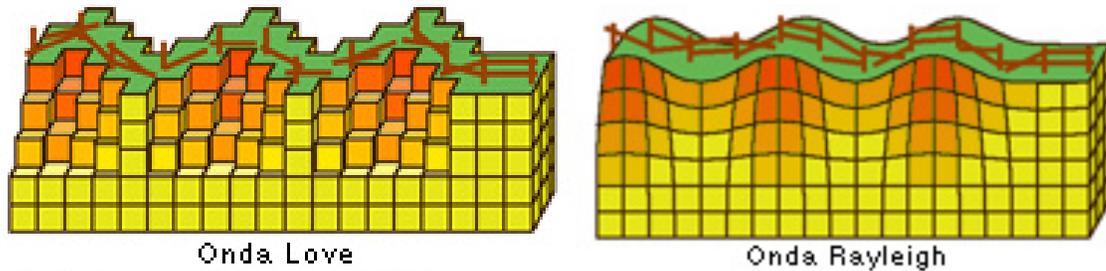
Onda Secundaria



Las ondas superficiales se desplazan a lo largo de la superficie de la Tierra y son generadas por la interacción de las ondas P y S con la superficie. Son responsables de la mayoría de la destrucción causada por los terremotos.

Figura 7

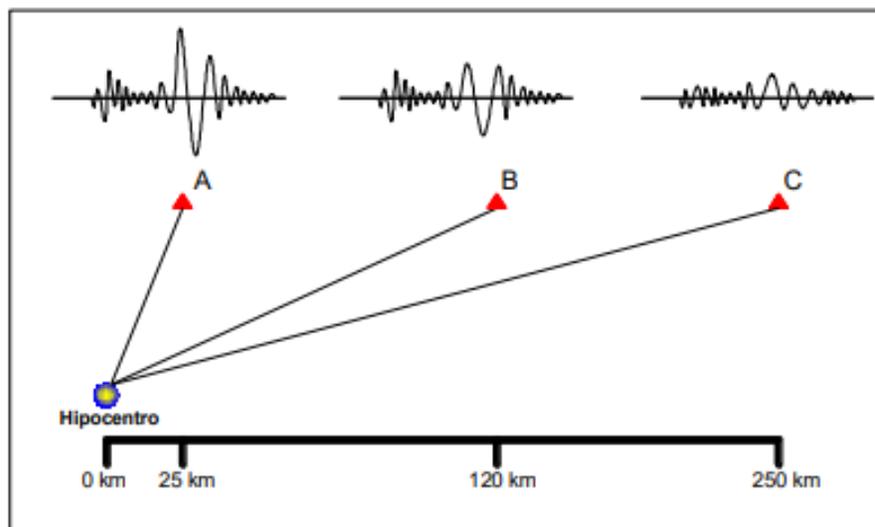
Ondas Superficiales



La amplitud máxima se encuentra en el punto A, el periodo P indica la duración necesaria para completar un ciclo, las ondas con periodos más largos tienen amplitudes más pequeñas en comparación con las ondas de periodos más cortos. Por otro lado, en la figura 8 se muestra cómo mientras más cerca se está del epicentro la amplitud aumenta, a medida que nos alejamos del foco del sismo, los periodos largos tienden a predominar.

Figura 8

Trayectoria de las ondas sísmicas



2.2.2 Microtremores

Definidos como vibraciones ocasionadas por alteraciones ambientales del tipo natural, entre ellas se puede distinguir tres dominios de frecuencia:

2.2.2.1 Microsismos (Baja frecuencia < 0.5 Hz)

Principalmente se generan debido a fenómenos naturales de gran envergadura, como las fuerzas de las olas en el mar y las perturbaciones atmosféricas significativas. Además, estos microsismos se consideran estacionarios, ya que sus características no experimentan cambios a lo largo del tiempo (días y horas).

2.2.2.2 Alta frecuencia (> 1 Hz) – microtemblores

Este tipo de frecuencia sucede de fuentes generadas por la actividad humana, como el tráfico de vehículos y peatones. A veces también pueden surgir de fuentes naturales, pero en una escala local, como el viento causado por edificios y vegetación. Estas vibraciones presentan cambios significativos en una escala relacionada con la actividad humana, dependiendo de la zona horaria.

2.2.2.3 Frecuencia intermedia (1 Hz y 0,5 Hz)

La frecuencia de este tipo está determinada por las propiedades del subsuelo, lo que significa que tanto las fuentes de vibraciones naturales como las generadas por la actividad humana pueden influir en el grado de estacionariedad de manera variable en cada caso. Un ejemplo de esto es el oleaje en las costas cercanas.

2.2.3 Zonificación sísmica del Perú

Esta zonificación se basa en estudios geológicos y sismológicos para determinar la probabilidad de ocurrencia de terremotos y la intensidad esperada en cada zona. El proceso de convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana es el responsable de la geodinámica y geomorfología actuales. Este proceso genera deformación elástica en el área de contacto, la cual se acumula gradualmente a lo largo del tiempo. Cuando los esfuerzos generados superan la rigidez de la zona de contacto, se produce la fractura y se generan ondas sísmicas que se propagan en todas las direcciones.

En el Perú, la zonificación sísmica se divide en cinco categorías: Zona de Muy Bajo Riesgo (Zona 0), Zona de Bajo Riesgo (Zona 1), Zona de Riesgo Moderado (Zona 2), Zona de Alto Riesgo (Zona 3) y Zona de Muy Alto Riesgo (Zona 4). Cada una de estas zonas representa diferentes niveles de peligro sísmico, que van desde áreas con menor probabilidad de terremotos hasta áreas con mayor actividad sísmica y mayor potencial de daños.

2.2.4 Efecto del Perfil de Suelo

Los valores máximos de aceleraciones utilizados para evaluación del riesgo sísmico en el área de estudio corresponden a valores registrados en roca. No obstante, lo que es relevante para la ingeniería sísmica son los valores en la superficie, ya que es allí donde se encuentran ubicadas las estructuras. Por esta razón, las normas incluyen el parámetro de amplificación sísmica, que tiene en cuenta las características del perfil del suelo y facilita la determinación de la magnitud con la que las ondas sísmicas se amplifican en los suelos de superficie. (Norma Peruana de Diseño Sismoresistente E.030, 2019). Por último, para obtener los valores de amplificación del suelo se realiza una interpolación basada en las aceleraciones obtenidas.

Tabla 4

Periodo de retorno

Periodo de Retorno (años)	Z (g)	S
43	0.15	1.84
72	0.18	1.74
475	0.35	1.20
475 (E- 0.30)	0.45	1.10

Fuente: E.030 (2019)

2.2.5 Zonificación sísmica regional

El Instituto Geofísico del Perú (2023) evaluó el riesgo sísmico a nivel regional en varios departamentos del país, incluyendo Lambayeque. Esta región se encuentra en una zona sísmica activa debido a su ubicación geográfica y su proximidad a las fallas tectónicas, se llevó a cabo utilizando un enfoque probabilístico y se creó un mapa que muestra la evaluación de dicho peligro. Estos resultados coinciden con las conclusiones de estudios previos realizados por el CISMID.

Figura 9

Mapa de Zonificación Sísmica del Territorio Nacional



Nota. La figura muestra las cuatro zonas sísmicas del Perú. Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones E.030 (2019)

La ciudad de Chiclayo se encuentra en una zona de sismicidad moderada a alta, específicamente en la Zona III y IV, siendo la Zona IV la de mayor riesgo.

Figura 10

Zona sísmica de los distritos de la provincia de Lambayeque

Provincia	Distritos	Zona
Lambayeque	Salas	3
	Chochope	
	Íllimo	
	Jayanca	
	Lambayeque	
	Mochumi	
	Mórrope	4
	Motupe	
	Olmos	
	Pacora	
San José		
Túcume		

Fuente: E.030 (2019).

a) Factor Zona:

La zona en la que se ubica la ciudad de Chiclayo se clasifica como sísmica 4, es decir, una zona de alta sismicidad, y tiene asignado un factor de zona Z de 0.45.

Por estar situado en la ciudad de Chiclayo, el hospital está en la zona sísmica 4, el valor del factor de zona "Z" para este proyecto será el correspondiente a dicha zona. **Z = 0.45**

b) Factor de Uso (U)

En el artículo 15 de la norma E.030 se establece una clasificación de las edificaciones en categorías como esenciales, importantes, comunes y temporales.

Tabla 5*Categoría de las Edificaciones y su Factor*

Categoría	Factor U
A Edificaciones Esenciales	1.5
B Edificaciones Importantes	1.3
C Edificaciones Comunes	1
D Edificaciones Temporales	A criterio

Fuente: Norma Peruana de Diseño Sismoresistente E.030 (2019)

c) Factor de Suelo

Dependiendo de la clasificación y la ubicación de la zona donde se encuentra el perfil, se determina el factor de suelo correspondiente:

Tabla 6*Factor de Suelos*

Zona	So	S1	S2	S3
Z4	0.8	1.0	1.1	1.1
Z3	0.8	1.0	1.2	1.2
Z2	0.8	1.0	1.2	1.4
Z1	0.8	1.0	1.6	2.0

Fuente. Norma Peruana de Diseño Sismoresistente E.030 (2019)

Tabla 7*Periodos T_P y T_L*

Periodos T_P y T_L		
S	T_p (s)	T_L (s)
S0	0.3	3.0
S1	0.4	2.5
S2	0.6	2.0
S3	1.0	1.6

Fuente: Norma Peruana de Diseño Sismoresistente E.030 (2019)

2.2.6 Método de Cociente Espectral H/V

El método propuesto por Nakamura en 1989 consiste en utilizar las vibraciones ambientales registradas en una única estación para determinar la función de transferencia del suelo. El propósito principal de este método es identificar el periodo fundamental del sitio.

$$T = H(f) / V(f)$$

Donde:

T: Función de transferencia

H (f): Componente horizontal de un registro sísmico

V (f): Componente vertical de un registro sísmico

Este método se puede utilizar solo para frecuencias por debajo de la frecuencia de resonancia de las ondas P y permite identificar el máximo de la resonancia fundamental para las ondas S. En consecuencia, el método de Nakamura proporciona una forma de estimar el efecto de sitio mediante la relación del espectro de amplitud de Fourier del componente horizontal dividido por el espectro de la componente vertical (H/V).

2.2.7 Ensayo de Vibración Ambiental

Conocido como microtemores o ruido sísmico, ondas de baja intensidad que se propagan en el suelo debido a factores naturales y humanos. Estas ondas abarcan un rango de frecuencias de 0.01 a 30 Hz, las fuentes naturales, como el viento, arboles, los vientos y las tormentas, generan ondas con frecuencias menores a 1 Hz. Por otro lado, las fuentes no naturales, como el tráfico, la vibración de maquinaria y otras actividades humanas, producen ondas con frecuencias mayores a 1 Hz.

Figura 11

Sismógrafo Geobox



Fuente: Material fotográfico propio (2023)

La técnica de H/V (cociente espectral horizontal a vertical) puede utilizar en tiempo real, y permite monitorear una amplia variedad de situaciones de manera eficiente y confiable.

Los datos pueden ser almacenados en formatos comunes como SAF, H-V y GSE, lo que permite la compatibilidad del Geobox de Sara con diversos programas. Aunque este sismógrafo está especialmente diseñado para la grabación de ruido sísmico, también tiene la capacidad de registrar terremotos y vibraciones artificiales. Los resultados del H/V se pueden obtener en cuestión de segundos.

Figura 12

Punto en estructura (Sismógrafo)



Elaborado por: los autores. (2023)

El sismógrafo Geobox está específicamente diseñado para realizar registros sísmicos pasivos de microtemores o ruido ambiental. Mediante el uso de LOG-MT, una computadora convencional se transforma en una potente estación sísmica que permite al usuario llevar a cabo análisis de vibración, así como estudios sísmicos o geofísicos.

2.8.1 CONSIDERACIONES BÁSICAS

Asegurar que el equipo esté correctamente nivelado y orientado hacia el norte.

Los puntos de registro deben ubicarse en áreas de terreno natural.

En lugares cubiertos de vegetación, se recomienda excavar un hoyo de un aproximado de 30 cm x 40 cm. Esta medida también es aconsejable en caso de vientos fuertes.

Figura 13

Excavación para la toma de datos



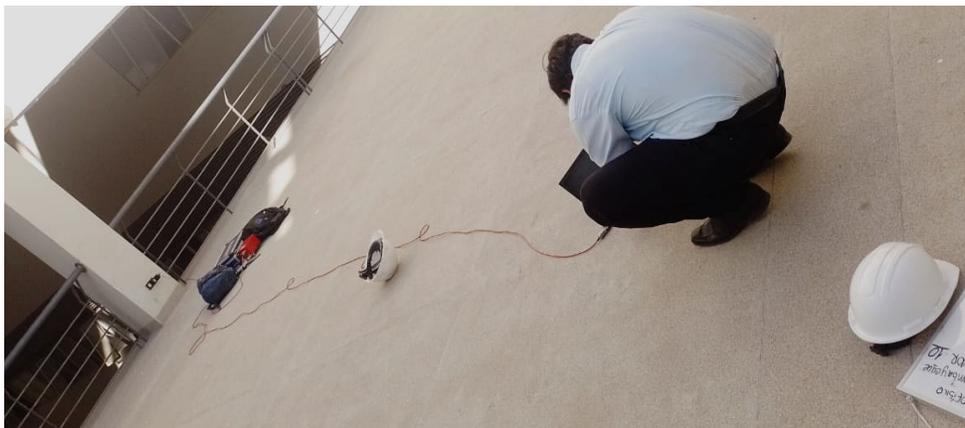
Elaborado por: los autores. (2023)

Es preferible realizar el ensayo en lugares con poca afluencia de personas, para evitar alteraciones en las señales.

El tiempo de registro mínimo en suelo debe ser de 30 minutos y en estructura de 3 minutos ya que un periodo más corto puede resultar en la falta de captura de frecuencias bajas y conducir a resultados incorrectos.

Figura 14

Sismógrafo conectado al equipo



Elaborado por: los autores. (2023)

En la Figura 15 se muestra al equipo conectado a un computador portátil, donde se muestra el software Seismo-Win visualizando las vibraciones ambientales en las direcciones Norte-sur, Este-Oeste y vertical. A medida que se realiza el registro en cada punto, la información obtenida se guarda en el software.

2.2.8 Procesamiento de Datos

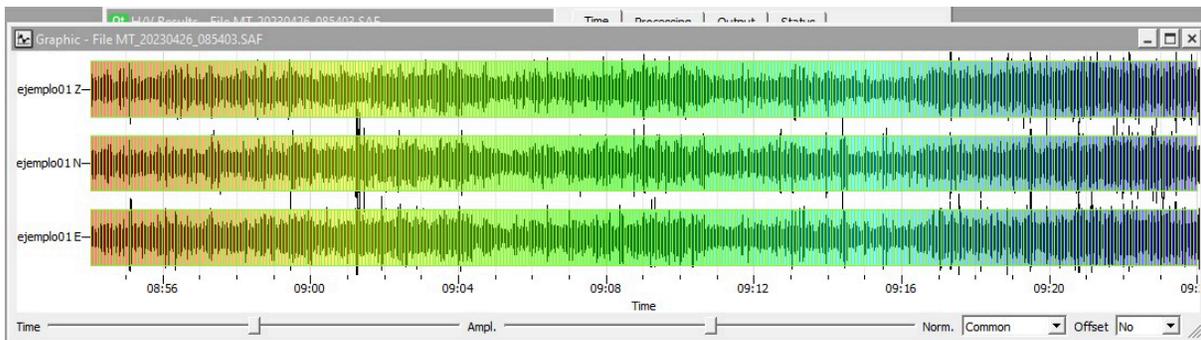
El análisis de amplitudes espectrales se utiliza para interpretar los registros del ensayo de Microtremor. El procedimiento consiste en seguir los pasos a continuación:

1. Suavizado de las señales
2. Realización de la transformada rápida de Fourier (FFT) en cada intervalo de tiempo determinado.
3. Obtención del promedio de los espectros horizontales generados.
4. Cálculo de la amplitud horizontal y amplitud vertical.
5. Período de registro de 20 minutos para cada punto analizado.

El proceso consiste en calcular la transformada rápida de Fourier (FFT) de la señal en intervalos de tiempo de 20 segundos cada uno. Posteriormente, se realiza un promedio de las FFT obtenidas para cada componente de la señal.

Figura 15

Registro de amplitudes

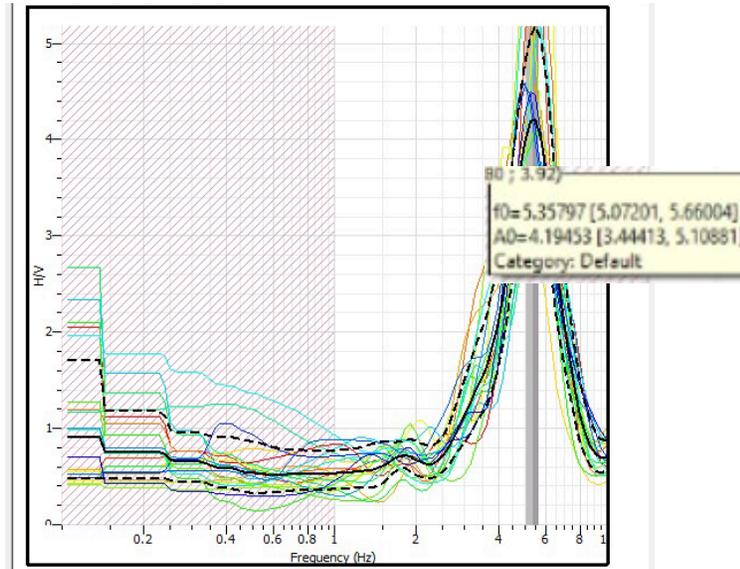


Fuente. Geopsy (2023)

La Figura muestra el espectro promedio de la razón (H/V). En la representación gráfica, la línea continua de color negro representa el espectro promedio A_0 , mientras que la frecuencia f_0 se encuentra en el eje horizontal.

Figura 16

Espectro promedio



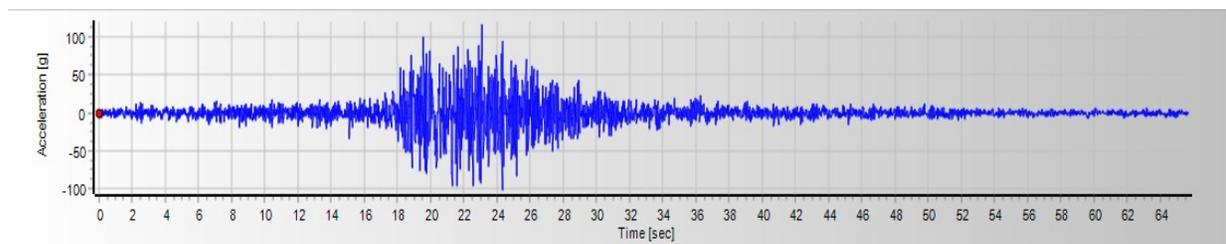
Elaborado por: los autores. (2023).

2.2.9 Acelerograma

Se puede entender como un registro temporal de la aceleración del suelo en un punto específico durante un terremoto, y se obtienen valores de aceleración a través de un dispositivo llamado acelerógrafo. Los acelerogramas son caracterizados por ser altamente irregulares y oscilatorios, con pequeñas amplitudes iniciales que aumentan rápidamente hasta alcanzar valores máximos y luego disminuyen. Además de la aceleración máxima, hay otras características importantes que se deben considerar ya que la respuesta de una estructura puede variar al ser sometida a diferentes acelerogramas con diferentes aceleraciones máximas.

Figura 17

Acelerograma



Elaborado por: los autores. (2023)

2.2.10 Registros Sísmicos

Los registros sísmicos son mediciones de las vibraciones del suelo durante un terremoto. Se obtienen utilizando instrumentos como sismógrafos o acelerógrafos, que registran las ondas sísmicas en diferentes componentes. Estos registros son importantes para comprender los terremotos, evaluar su magnitud y analizar el comportamiento del suelo y las estructuras. También se utilizan en la investigación científica, el diseño de estructuras resistentes a los terremotos y la evaluación del peligro sísmico en una región determinada. En resumen, los registros sísmicos son mediciones de las vibraciones del suelo durante un terremoto y son fundamentales para comprender y mitigar los efectos de los terremotos.

2.2.11 Sismos Representativos Seleccionados

En el análisis de tiempo-historia, no se puede confiar en un solo registro, ya que la respuesta de la estructura puede variar incluso cuando se somete a la misma fuente de excitación. Por lo tanto, es necesario contar con múltiples registros para obtener resultados más precisos.

El sismo de Lima de 1966, el sismo de Ancash de 1970 y el sismo de Loreto de 2019. Los acelerogramas utilizados se obtienen del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, conocido como CISMID.

Sismo de 1966 Lima

El 17 de octubre de 1966, a las 4:41 de la tarde, gran parte del Perú sufrió uno de los terremotos más intensos que tuvo en décadas, de 8.1 magnitud. duró unos 45 segundos.

Figura 18

Sismo de Lima y Callao 1966



Nota. El terremoto de Lima en 1966. Fuente: Panamericana (2023).

Tabla 8

Información del registro sísmico 1966

Información sobre la estación sísmica	
Nombre de estación	Parque de la Reserva
Ubicación de la estación	Parque de la Reserva, Lima
Latitud	-12.07
Longitud	-77.04
Altitud (m)	130
Modelo de acelerómetro	Acelerógrafo Analógico
Frecuencia de muestreo (Hz)	50
Información sobre el terremoto	
Fecha	Octubre 17, 1966
Hora de origen (Local)	16:41:00
Latitud	-10.70
Longitud	-78.70
Profundidad (km)	24.00
Magnitud	8.1

Información sobre el registro			
Tiempo récord (Local)	16:41:00		
Número de muestras	00:00:00		
Máxima aceleración	.-180.56	-268.24	94.29
Unidades de datos	cm/s ²		

Fuente: CISMID (2023)

Sismo de 1970 Ancash

El terremoto de magnitud 7,9 en la región de Ancash resultó en un desprendimiento en el nevado Huascarán, ocasionando un aluvión en Yungay. Este desastre causó una tragedia con más de 70 mil personas fallecidas y 20 mil desaparecidas.

Figura 19

Sismo de Ancash 1970



Fuente: Instituto Geofísico del Perú

Tabla 9*Información del registro sísmico 1970*

Información sobre la estación sísmica			
Nombre de estación	Parque de la Reserva		
Ubicación de la estación	Parque de la Reserva, Lima		
Latitud	-12.07		
Longitud	-77.04		
Altitud (m)	130		
Modelo de acelerómetro	Acelerógrafo Analógico		
Frecuencia de muestreo (Hz)	50		
Información sobre el terremoto			
Fecha	Mayo 31, 1970		
Hora de origen (Local)	15:23:00		
Latitud	-9.36		
Longitud	-78.87		
Profundidad (km)	64.00		
Magnitud	7.9		
Información sobre el registro			
Tiempo récord (Local)	15:23:00		
Número de muestras	2255		
Máxima aceleración	-105.05	-97.81	74.03
Unidades de datos	cm/s ²		

Fuente: CISMID (2023)

Sismo de 2019 Loreto

El terremoto de mayor relevancia tuvo lugar el 26 de mayo a las 2:41 a.m., con su epicentro localizado en Loreto y una magnitud de 8.0.

Figura 20

Sismo de 2019



Fuente: IGP (2019)

Tabla 10

Información del registro sísmico 2019

Información sobre la estación sísmica	
Nombre de estación	CISMID
Estación	Facultad de Ingeniería Civil, UNI
Latitud	-12.07
Longitud	-77.04
Altitud (m)	130
Coordenadas	-12.022234, -77.049046
Frecuencia de muestreo (Hz)	200

Información sobre el terremoto	
Fecha	Mayo 26, 2019
Hora de origen (Local)	02:41:12
Latitud	-5.70
Longitud	-75.27
Profundidad (km)	141.00
Magnitud	8.0
Información sobre el registro	
Tiempo récord (Local)	07:41:40
Número de muestras	87602
Máxima aceleración	-22.430000 -16.140000 -10.550000
Unidades de datos	cm/s ²

Fuente: CISMID (2023)

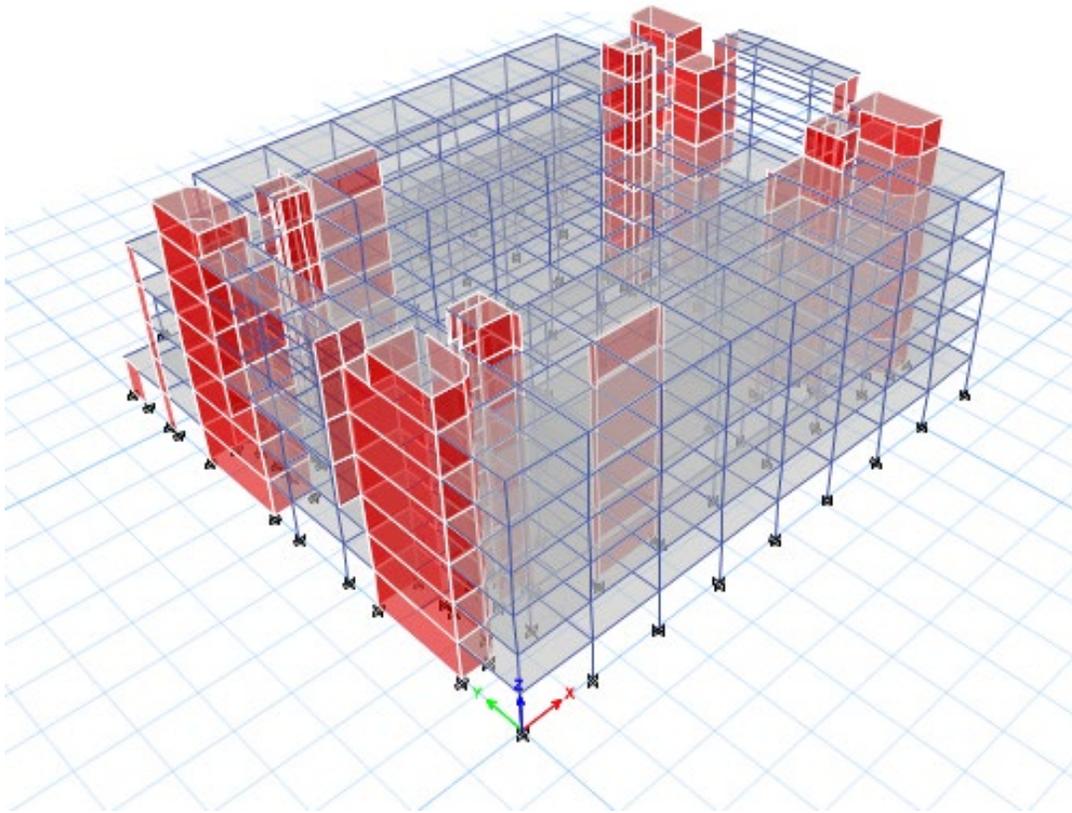
2.2.12 Análisis Tiempo Historia

El análisis dinámico no lineal consiste en aplicar una demanda a la estructura utilizando registros sísmicos, los cuales deben ser cuidadosamente seleccionados y ajustados de acuerdo a lo establecido en la Norma E.030 la estructura experimentará una respuesta que depende de los contenidos de frecuencia y amplitud de la aceleración del terremoto. Para el modelo, se debe aplicar simultáneamente cada par de componentes del registro, teniendo en cuenta la excentricidad de masa que resulte más desfavorable.

Los desplazamientos relativos máximos dan una idea del nivel de deterioro estructural, mientras que las aceleraciones absolutas máximas están vinculadas a los daños no estructurales y a cómo los humanos perciben el movimiento provocado por los terremotos. (Gonzales, 2014).

Figura 21

Software Etabs



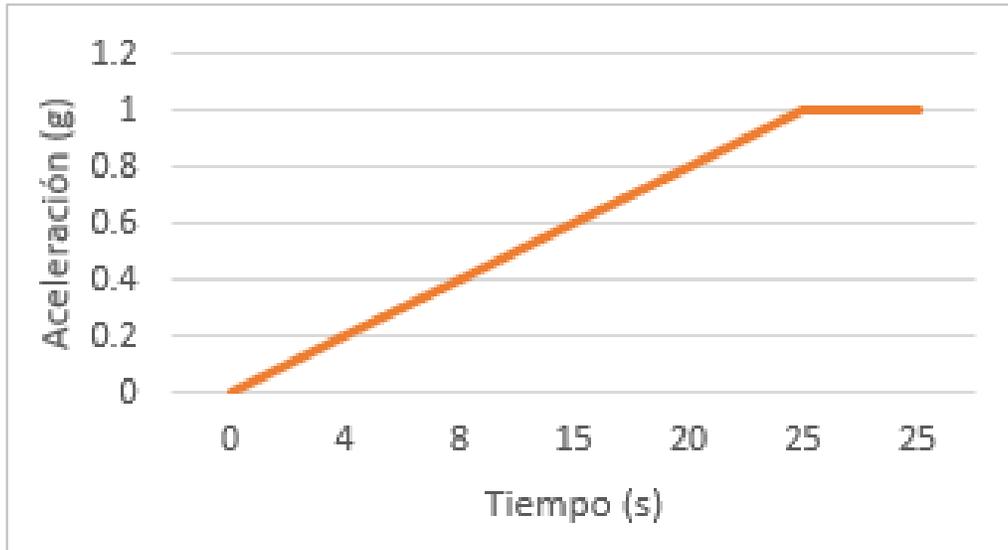
Elaborado por: los autores (2023).

Al utilizar varios registros sísmicos, podemos observar cómo la estructura se comporta de manera diferente frente a cada sismo, lo que demuestra la importancia del análisis de tiempo-historia. Este análisis proporciona una respuesta estructural que depende del desarrollo del terremoto.

Para realizar esta evaluación, se requiere generar un modelo tridimensional del edificio utilizando el software ETABS 2018. Siguiendo los requisitos de la Norma E.030, se aplicó el procesamiento de señales sísmicas para representar el espectro de diseño de un terremoto con un amortiguamiento estructural del 5%. El objetivo principal es verificar las derivas y aceleraciones del edificio.

Figura 22

Aceleración vertical versus Tiempo



Elaborado por: los autores. (2023)

Si se realizan análisis utilizando tres juegos de registros, se seleccionará la respuesta máxima de los parámetros relevantes para el diseño. En caso de que se realicen 7 o más análisis, se empleará el valor promedio de los parámetros de interés para el diseño.

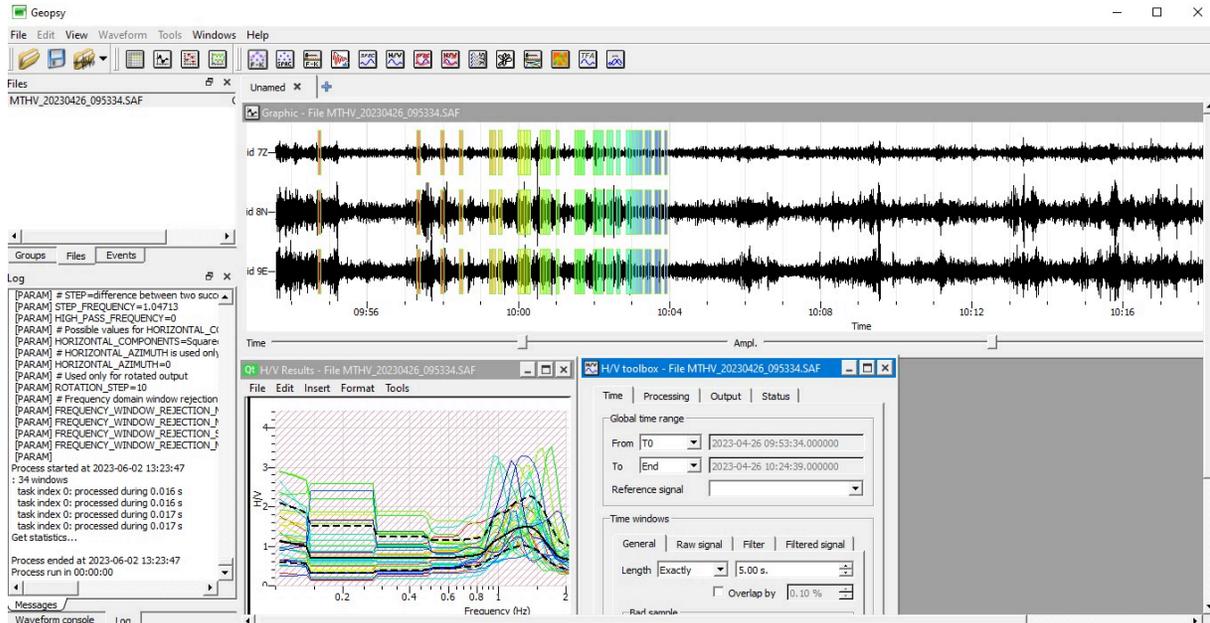
Si no se dispone de al menos tres eventos sísmicos para llevar a cabo los análisis, se pueden generar acelerogramas artificiales que proporcionen el número necesario de registros y componentes para realizar los análisis requeridos.

2.2.13 Software Geopsy

Geopsy es un software de gran potencia y de libre licencia que forma parte del proyecto SESAME. Este software permite llevar a cabo diversas técnicas geofísicas, como MASW, ReMi, refracción H/V e interpretación SPAC. Geopsy cuenta con una interfaz gráfica de usuario que simplifica la gestión, visualización y análisis de señales geofísicas. Además, sirve como una base de datos donde se recopila toda la información relacionada con las señales registradas.

Figura 23

Software Geopsy



Fuente: Geopsy. Elaborado por: los autores. (2023)

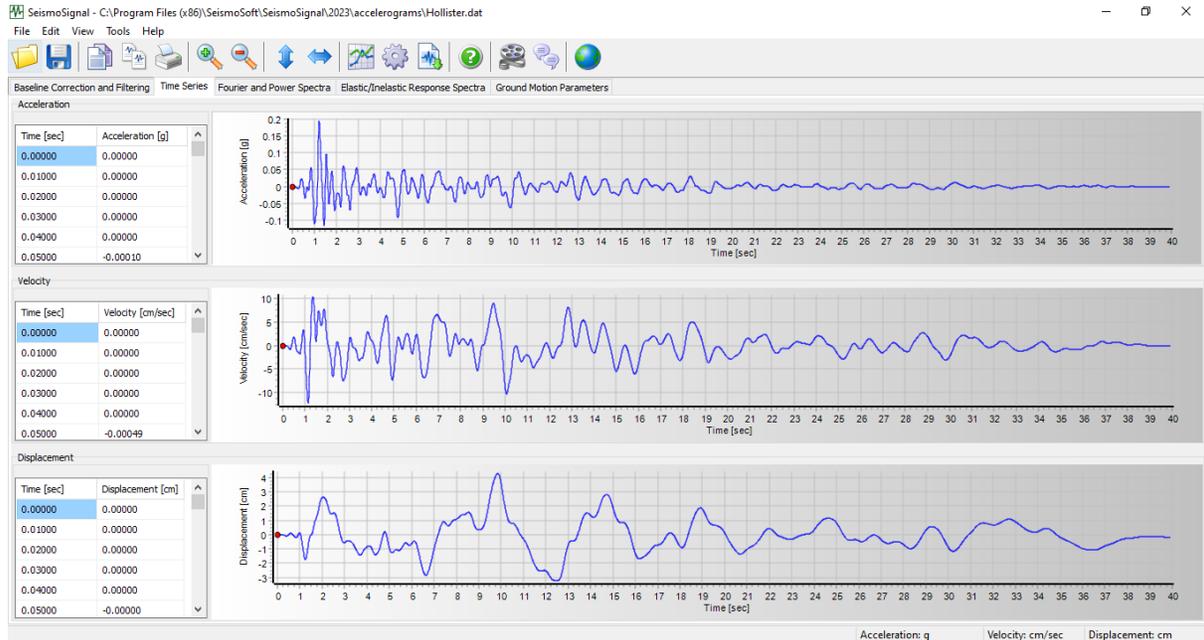
2.2.14 SeismoSignal

SeismoSignal es un software que permite de manera sencilla y eficiente de procesar datos de movimiento fuerte de aceleraciones sísmicas, con una interfaz visual fácil de usar, que permite obtener varios parámetros de sismo.

El programa tiene la capacidad de leer acelerogramas almacenados en diferentes formatos de archivo de texto, los cuales pueden ser filtrados y corregidos en su línea base. Para esta última función, se pueden utilizar polinomios de hasta tercer orden, y se ofrecen tres tipos diferentes de filtros digitales, todos ellos capaces de realizar filtrados pasa-alto, pasa-bajo, pasa-banda y de rechazo de banda.

Figura 24

SeismoSignal 2023



Fuente: Software SeismoSignal. Elaborado por: los autores. (2023)

2.2.15 Criterio SESAME

La evaluación de Efectos de sitio usando excitaciones ambientales (Site Effects Assessment Using Ambient Excitations) se desarrolló con el objetivo de disponer de un enfoque confiable para analizar y evaluar riesgos, así como estrategias de mitigación sísmica. Su base se encuentra en la caracterización de los efectos del sitio, utilizando grabaciones ambientales (microtremores) en combinación con la técnica de la razón espectral H/V. Ofrece métodos prácticos para la recopilación de datos en terreno, el procesamiento y la interpretación de los resultados. SESAME (2004)

A continuación, se presentan los requisitos establecidos por el proyecto SESAME para obtener una curva H/V confiable y un pico claro. La curva se considerará confiable si cumple al menos dos de los tres criterios establecidos.

Curva H/V:

i. $f_0 > \frac{10}{t_w}$

- ii. $n_c(f_0) > 200$
- iii. $\sigma_A(f) < 2$ para $0.5 * f_0 < f < 2 * f_0 > 0.5 \text{ Hz}$
ó $\sigma_A(f) < 3$ para $0.5f_0 < f < 2 * f_0 < 0.5 \text{ Hz}$

Peak H/V claro (por lo menos 5 de los 6 criterios cumplidos):

- i. $\exists f^- \in \left[\frac{f_0}{4}, f_0 \right] \frac{A_H}{V}(f^-) < \frac{A_0}{2}$
- ii. $\exists f^+ \in [f_0, 4 * f_0] \frac{A_H}{V}(f^+) < \frac{A_0}{2}$
- iii. $A_0 > 2$
- iv. $f_{peak} * \left[\frac{A_n}{v}(f) \pm \sigma_A(f) \right] = f_0 \pm 5\%$
- v. $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
- vi. $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

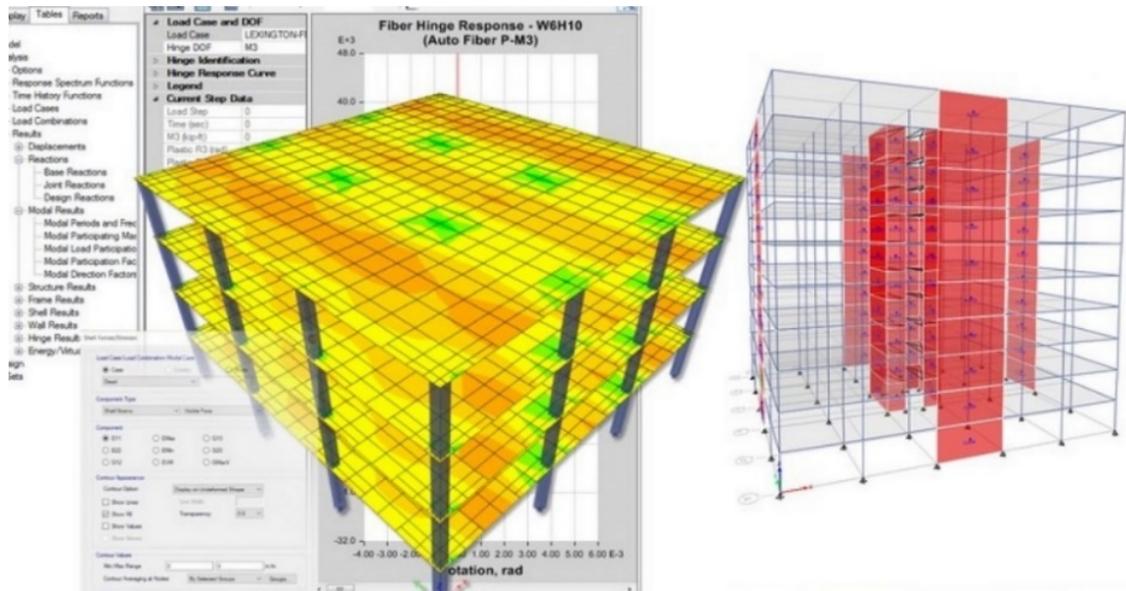
El no cumplimiento de estos nueve criterios no implica que el resultado final sea incorrecto, sino que tienen como objetivo reducir la probabilidad de errores en los datos proporcionando recomendaciones desde la etapa de campo hasta el análisis en software.

2.2.16 Software Etabs

ETABS proporciona herramientas para modelar y analizar sistemas estructurales complejos y permite la visualización y la representación gráfica de los resultados del análisis en forma de diagramas o gráficos. Los resultados del análisis pueden servir como base para tomar decisiones sobre la seguridad y la eficiencia de las estructuras y para optimizar el diseño de los edificios

Figura 25

Modelamiento Estructural



Nota. Se muestra un modelamiento estructural de un edificio. Fuente: Etabs. (2023)

2.2.17 Norma ATC - 40

El ATC-40 (1996) propone establecer de forma independiente el nivel de desempeño de la estructura y el nivel de desempeño de los componentes no estructurales. Al combinar ambos niveles se define el nivel de desempeño general del edificio.

2.2.17.1 Nivel de desempeño

Máxima cantidad de daño que una edificación puede sufrir, considerando tanto sus elementos estructurales como los no estructurales. Se expresan generalmente en términos cualitativos que reflejan su impacto en el público, así como en términos técnicos de ingeniería que se utilizan para evaluar o diseñar edificios existentes y que incluyen información sobre la extensión del daño, la degradación de los elementos estructurales y no estructurales, entre otros aspectos técnicos.

a. Nivel de desempeño ATC-40

Por lo general, los niveles de desempeño se presentan de manera cualitativa para que el público en general pueda comprenderlos, enfocándose en el impacto en

los ocupantes o usuarios. Sin embargo, también se utilizan términos técnicos para evaluar o diseñar edificaciones existentes, considerando aspectos como el grado de deterioro.

Tabla 11

Nivel de Desempeño

Deriva límite de entrepiso	Nivel de desempeño de la edificación			
	Ocupación Inmediata	Control de Daño	Seguridad de Vida	Estabilidad Estructural
Deriva total máxima	0.01	0.01 - 0.02	0.02	0.33 Vi /Pi
Deriva inelástica máxima	0.005	0.005 - 0.015	Sin límite	Sin límite

Fuente: ATC-40 (1996)

Niveles de Desempeño

Describe los posibles estados de daño sobre la estructura.

Ocupación Inmediata: Puede haber ocurrido daño estructural mínimo y el riesgo para la vida es insignificante. La edificación continúa funcionando plenamente.

Control de Daño: Los ocupantes no corren riesgo de vida, aunque podrían verse afectados.

Seguridad de Vida: Elementos estructurales se mantienen. Existe una amenaza para la vida de los ocupantes tanto dentro como fuera del edificio

Estabilidad estructural: La estructura se encuentra en el límite de sufrir un colapso parcial o total.

2.2.17.2 Espectro de Capacidad

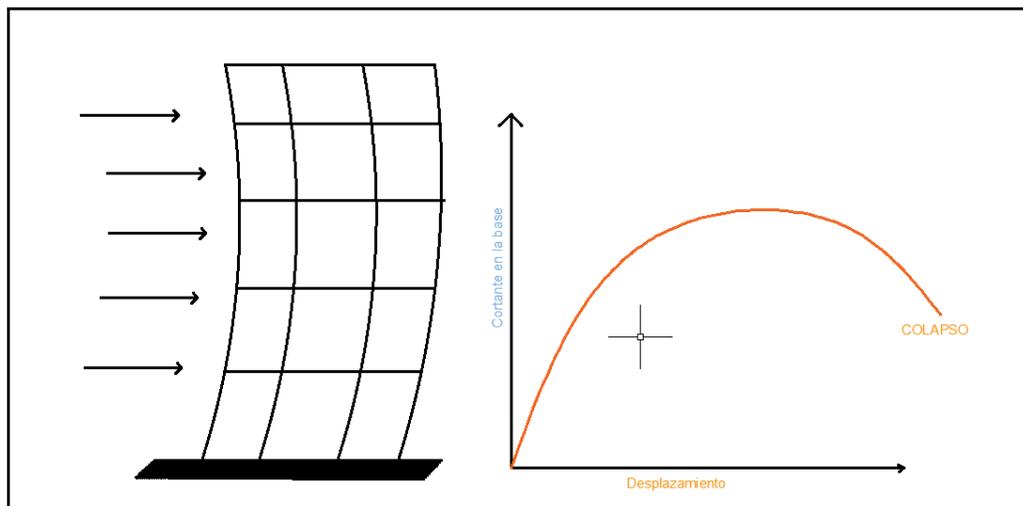
La obtención del espectro de capacidad de una estructura implica transformar cada punto de la curva de capacidad (pushover) en valores de aceleración espectral (S_a) y desplazamiento espectral (S_d).

a. Curva de Capacidad:

La curva de capacidad es un gráfico que muestra la capacidad resistente de una estructura ante la acción sísmica y la suficiencia estructural, mediante la resistencia y la máxima deformación de sus componentes principales. Para obtener esta curva, se deben realizar análisis elásticos secuenciales que se superponen para construir el diagrama.

Figura 26

Curva de Capacidad



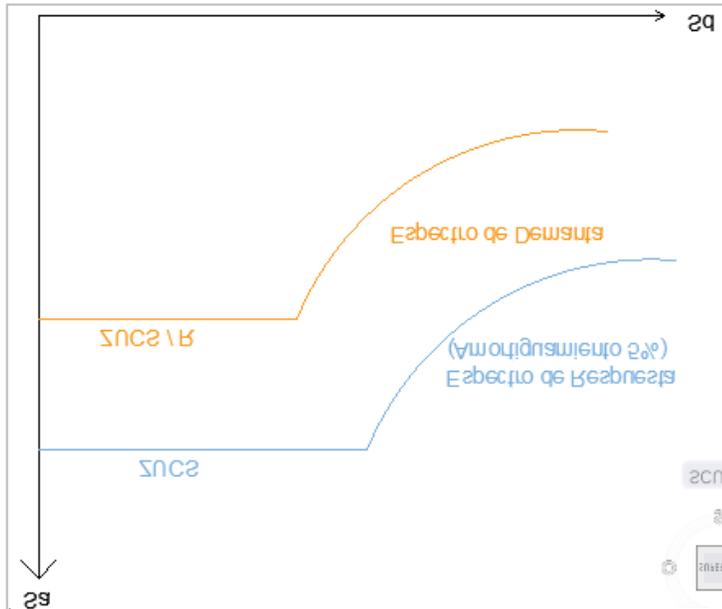
Fuente: (Applied Technology Council, 1996)

b. Obtención del espectro de demanda

De acuerdo con ATC - 40 (1996), la demanda sísmica se define en primera instancia mediante el espectro de respuesta elástica de aceleración, que se establece normalmente considerando un amortiguamiento del 5%. Para niveles de amortiguamiento más elevados, se reduce este espectro de respuesta.

Figura 27

Espectro de demanda sísmica E.030



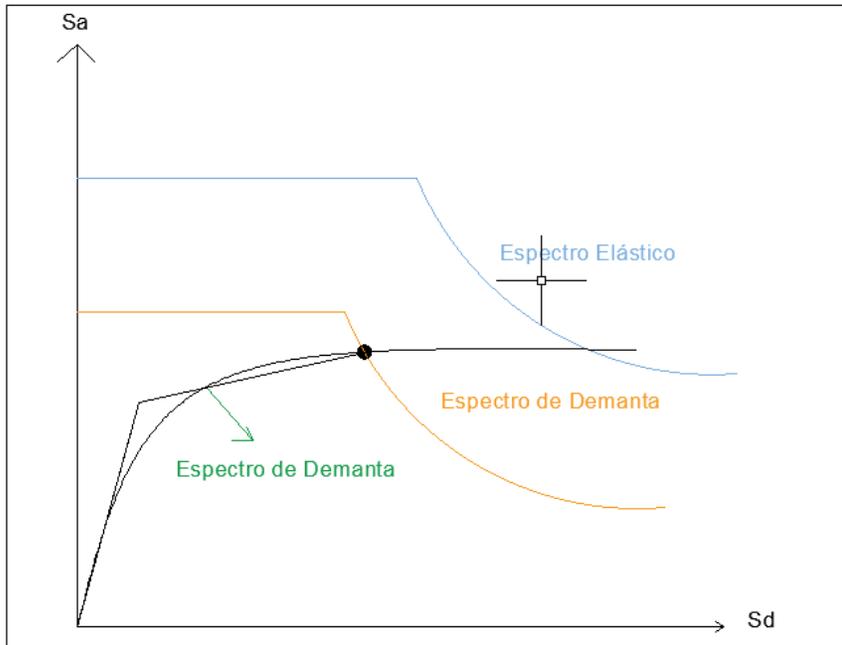
Fuente: Norma Peruana de Diseño Sismoresistente E.030 (2019)

c. Obtención del punto de desempeño

La edificación debe ser capaz de resistir las fuerzas generadas por eventos naturales, y su ubicación debe cumplir con los criterios de diseño. El nivel de desempeño se determina por el punto donde se interseca el espectro de demanda sísmica con la curva de capacidad estructural, que indica la capacidad de la estructura para soportar cargas.

Figura 28

Espectro de capacidad y demanda y puntos de desempeño



Fuente: Norma Peruana de Diseño Sismoresistente E.030 (2019)

2.3 Definición de términos básicos

Análisis no-lineal: Se refiere al tipo de análisis en el cual las propiedades de la estructura, tales como su rigidez, pueden cambiar a lo largo del tiempo, la deformación y la carga.

Desempeño estructural: es el estado de la estructura que debe presentar una edificación para soportar un movimiento sísmico

Sismógrafo: Instrumento utilizado para medir y registrar movimientos sísmicos, como terremotos u otras vibraciones de la tierra

Punto de desempeño: punto de intersección entre el espectro de demanda y la curva de capacidad, a partir del cual se determinan los niveles de desempeño sísmico.

Amplitud: máxima magnitud de movimiento o desplazamiento experimentado por el suelo durante el evento sísmico

Acelerograma: Es el registro de la aceleración experimentada por el suelo en un lugar determinado durante un terremoto.

Curva de capacidad: Es la representación gráfica que muestra la relación entre la capacidad de la estructura para resistir cargas y su desplazamiento correspondiente.

Periodo de retorno: Intervalo de tiempo promedio entre eventos y está asociado con la probabilidad de que ocurran cada año.

Resiliencia Sísmica: Consiste en minimizar los daños negativos que sufre una estructura causados por los sismos potencialmente destructivos.

Espectro de Diseño: Representación gráfica que muestra la respuesta de la estructura ante diferentes niveles de vibración en un rango de periodos de tiempo, permitiendo determinar los niveles de amortiguamiento necesarios.

Análisis Tiempo-Historia: Es una técnica de análisis que simula la respuesta dinámica de la estructura ante un movimiento sísmico real registrado en el tiempo, permitiendo calcular la demanda sísmica de la estructura.

2.4 Formulación de hipótesis

2.4.1 Hipótesis principal

HG: Se obtiene un nivel de desempeño sísmico: Ocupación Inmediata, aplicando un análisis dinámico no lineal con acelerogramas sintéticos según la norma ATC-40 en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la provincia de Chiclayo – departamento Lambayeque.

2.4.2 Hipótesis específicas

H1: Se determinó las frecuencias naturales, amplitudes y periodos de vibración del suelo y la estructura aplicando el ensayo de vibración ambiental en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional, ubicado en la provincia de Chiclayo - Departamento Lambayeque.

H2: La velocidad de ondas de corte considerando el parámetro V_{s30} permite determinar el perfil S2: Suelo Intermedio del suelo de una edificación de 6 niveles del Hospital Regional de Lambayeque.

H3: La fuerza cortante, desplazamientos y derivas permite obtener la respuesta de la estructura mediante un análisis dinámico no lineal para determinar el nivel de desempeño sísmico según la norma ATC-40 en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la provincia de Chiclayo – departamento Lambayeque.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño investigación

3.1.1 Tipo de investigación

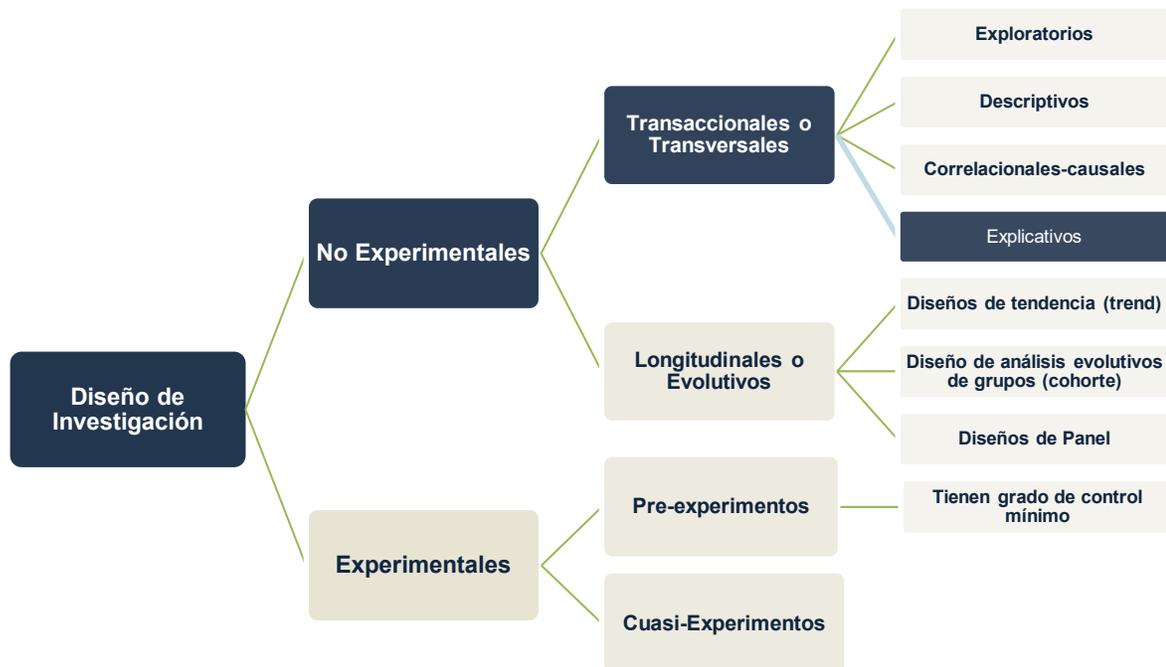
Contempla un tipo de investigación aplicada, en base a la categorización de investigación de Borja (2012) “Busca conocer, actuar, construir y modificar una realidad problemática” (p. 10) se busca evaluar el desempeño sísmico de una edificación del hospital utilizando el análisis dinámico no lineal.

3.1.2 Diseño de investigación

Se plantea una investigación de diseño no experimental en base a Fernández, Hernández, & Baptista (2014) “no se están generando situaciones, sino que se analizan situaciones ya existentes” pues recolectamos y analizamos datos de la respuesta de un hospital bajo un sismo.

Figura 29

Diseño de Investigación



Fuente: Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2014).

3.1.3 Nivel de investigación

Este proyecto contempla un nivel de investigación descriptivo, se enfoca en recopilar información y detallar el proceso de cálculo, análisis y diseño estructural de un edificio esencial. Además de evaluar su desempeño sísmico mediante el análisis dinámico no lineal aplicando normas nacionales e internacionales.

Finalmente consta de un nivel explicativo del análisis dinámico no lineal del hospital que se evaluará, comparando los resultados obtenidos con el análisis estático lineal, y analizando sus diferencias y semejanzas.

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población

La población de estudio se centra en la estructura de concreto armado del Hospital Regional de Lambayeque, que está compuesta de 6 bloques o sectores. El hospital se encuentra en la zona sísmica 4 y tiene un perfil de suelo tipo 1. Fue construido en el año 2011 en un área de 48,921.62 m², con un presupuesto de 176 millones de soles.

Figura 30

Hospital Regional de Lambayeque



Fuente: La Republica (2020)

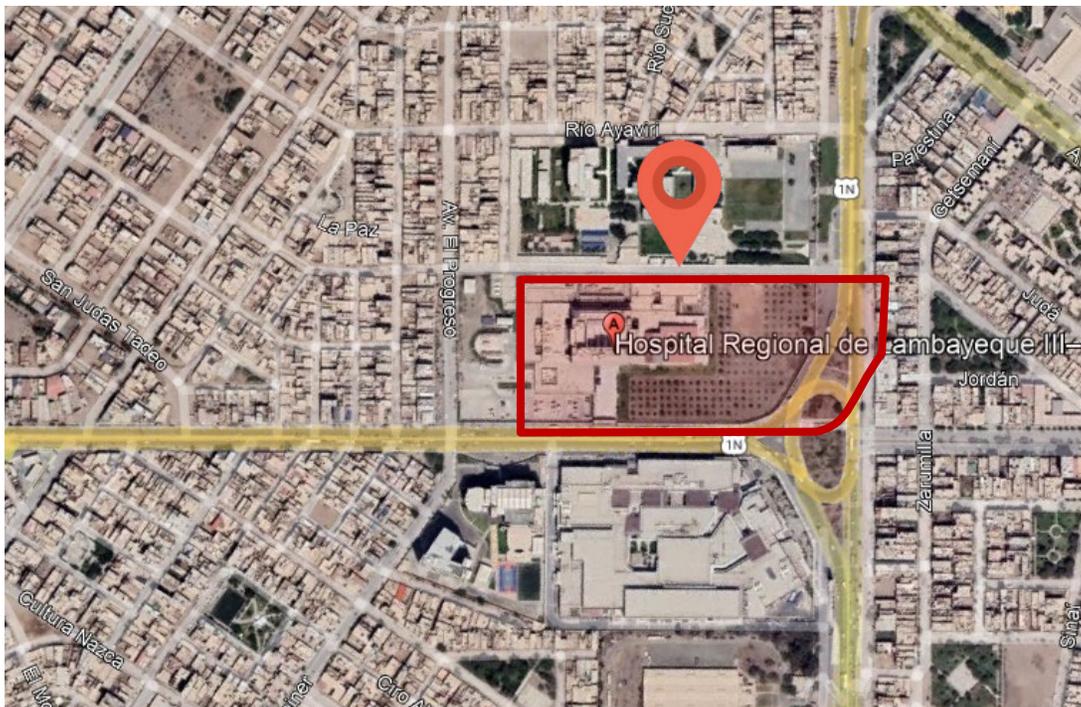
3.2.2 Muestra

El enfoque de muestreo utilizado fue no probabilístico, ya que los autores seleccionaron la muestra basándose en su acceso a toda la información requerida para cumplir con los objetivos establecidos.

El bloque C del Hospital Regional de Lambayeque, que consta de seis niveles y azotea, se seleccionó como la muestra de estudio. Este bloque se encuentra situado en la provincia de Chiclayo, perteneciente al departamento de Lambayeque, siendo rodeado por las avenidas Av. Evitamiento, Av. Panamericana, Av. Progreso y Universidad Santo Toribio de Mogrovejo, la zona de estudio cuenta con un área de 2,529.36 m².

Figura 31

Localización de Estudio



Fuente: Google Earth. (2023)

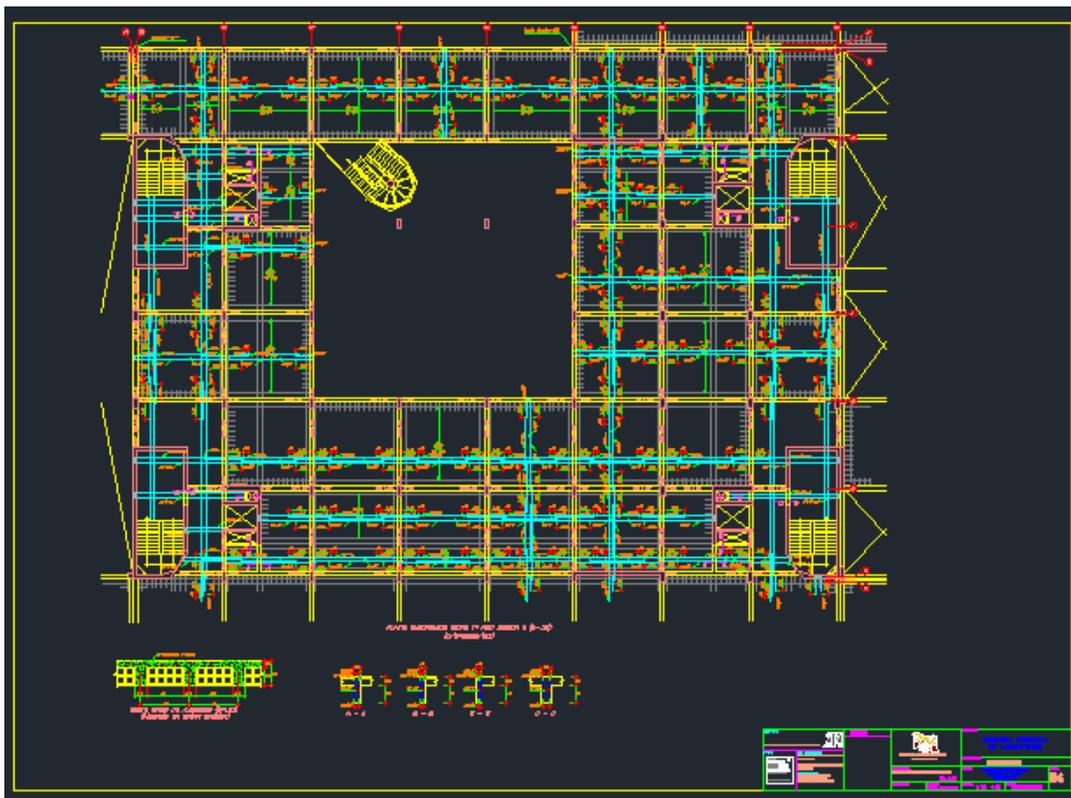
Ubicación

- Departamento: Lambayeque
- Provincia: Chiclayo
- Distrito: Chiclayo
- Área: 2,529.36 m²

La infraestructura cuenta con cinco bloques, bloque A, B, C, D, E y F. Los bloques A, B, D y E son de 2 pisos, el acceso al bloque C se realiza a través de la entrada principal peatonal, que está conectada a la Vía de Evitamiento mediante una rampa. Además, hay una rampa que permite el acceso vehicular directo para peatones y pacientes desde la Avenida Progreso. La entrada a los pisos restantes se realizará mediante los cuatro módulos de escaleras y ascensores ubicados alrededor del patio principal, el acceso a la sala de emergencias se realiza desde la Av. Progreso mediante un punto de control de entrada para peatones y vehículos, que incluye 37 espacios de estacionamiento designados para emergencias públicas, así como una vía de acceso para ambulancias. El número de estacionamientos es de 169.

Figura 32

Detalles Bloque C



Fuente: Planos de la Especialidad

Figura 33

Proyección Arquitectónica 3D



Fuente: Renders de la Especialidad de Arquitectura. Expediente Técnico

Sistema de muros estructurales, con vigas peraltadas de sección 0.30 m X 0.70 m en ambas direcciones, columnas de sección 0.40 m X 0.60 m, 0.40 m X 0.80 m y 0.40 m X 0.40 m. También comprende techos aligerados de 0.20 m en dos direcciones.

Tabla 12

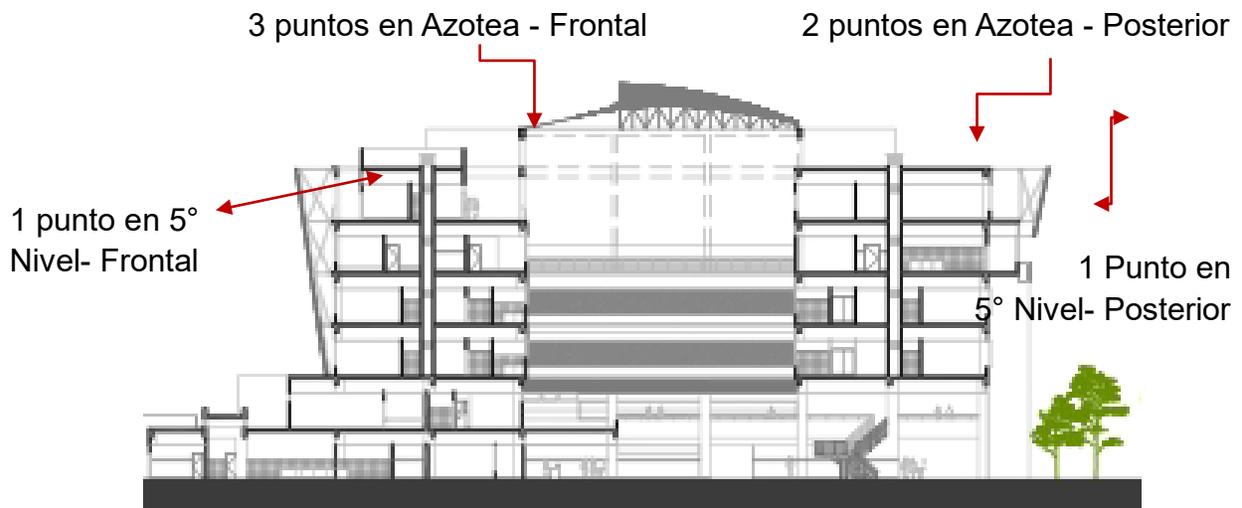
Pisos de la estructura

Bloque	Módulos	Nº de pisos
A	2	1
B	2	2
C	1	6
D	2	2
E	5	1
F	2	1

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 34

Ubicación de puntos analizados en terreno



3.3 Definición de Variables

En una investigación, las variables son aspectos importantes que conforman la estructura de las hipótesis y describen el problema investigado. Hay dos tipos de variables: las dependientes, que se usan para medir o describir el problema, y las independientes, que se usan para describir la causa que influye en el problema.

Variable Independiente: Análisis Dinámico No lineal

Variable Dependiente: Desempeño Sísmico

3.3.1 Definición Conceptual

3.3.1.1 Variable Independiente

El análisis dinámico no lineal se basa en la combinación de los registros de movimiento del suelo con un modelo estructural detallado, este tipo de análisis examina la respuesta dinámica de la estructura en cada paso de tiempo, considerando la influencia de un acelerograma específico aplicado a la base de esta.

Tabla 13*Variable Independiente*

Variable	Indicadores
Análisis dinámico no lineal	Frecuencias Naturales
	Amplitudes
	Periodos de Vibración
	Espectro de Diseño
	Fuerzas y Desplazamientos

Fuente: Elaboración Propia (2023).

3.3.1.2 Variable Dependiente

El desempeño sísmico se puede describir de manera cualitativa considerando la seguridad que brinda a los ocupantes del edificio durante un sismo, los costos y la viabilidad de restaurar el edificio a su estado anterior al sismo, el tiempo en que el edificio no estará en funcionamiento debido a las reparaciones necesarias y los efectos económicos y arquitectónicos.

De acuerdo con el ATC – 40 (1996), el nivel de desempeño que se espera de un edificio dependerá de varios factores, como consideraciones de funcionalidad, políticas, económicas y de preservación. Por lo tanto, habrá diversas combinaciones de estos factores, que se ajustarán a las características específicas de cada edificio, incluyendo su uso, función e importancia.

Tabla 14*Variable Dependiente*

Variable	Indicadores
Desempeño Sísmico	Ocupación Inmediata
	Control de Daño
	Seguridad de Vida
	Estabilidad estructural

Fuente: Elaboración Propia (2023).

3.3.2 Definición Operacional

3.3.2.1 Variable Independiente

El análisis Dinámico No lineal requiere el uso de acelerogramas que son obtenidos a partir del espectro de respuesta, los cuales deben contener información sobre la magnitud, la distancia a la falla, los mecanismos de falla y los efectos del suelo.

Tabla 15

Dimensiones de variable Independiente

Variable	Dimensiones	Indicadores
Análisis dinámico no lineal		Frecuencias Naturales
	Ensayo de Vibración Ambiental	Amplitudes Periodos de Vibración
	Acelerogramas sintéticos	Espectro de Diseño
	Respuesta de la estructura	Fuerza Cortante, Desplazamientos Derivas

Fuente: Elaboración Propia (2023).

3.3.2.2 Variable Dependiente

Se realizará una evaluación no lineal estática, siguiendo los lineamientos establecidos por las regulaciones del ATC - 40, para distintos tipos de riesgo sísmico.

Tabla 16

Dimensión Variable Dependiente

Variable	Dimensiones	Indicadores
Desempeño Sísmico	Nivel de desempeño	Ocupación Inmediata
		Control de Daño
		Seguridad de Vida
		Estabilidad estructural

Fuente: Elaboración Propia (2023).

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas

El presente proyecto de tesis implica trabajo de campo y de gabinete para procesar la información recolectada en el modelamiento del hospital en el software Etabs. Se utilizaron los planos de arquitectura y estructuras para obtener la información sobre las dimensiones y ubicación de los elementos estructurales, así mismo se realizó la evaluación por desempeño simulando la respuesta dinámica de la estructura ante diferentes escenarios sísmicos con el fin de evaluar la integridad y el nivel de respuesta de la estructura.

3.4.2 Instrumentos para la recolección

Observación: Para analizar los procesos, comportamientos y resultados de la investigación. Se cuenta con el expediente técnico del hospital.

El vuelo con vehículo aéreo no tripulado se realizó para una mejor visión del hospital y para una mejor medición de los puntos para el estudio

Equipos: En este caso se usa para el ensayo de vibración ambiental el sismógrafo para así extraer la información correspondiente del terreno obteniendo sus vibraciones, periodo y frecuencia. Además de un dron para visualizar toda el área de estudio.

Encuestas: Se llevó a cabo una consulta a un grupo de 12 profesionales especializados con el fin de recabar opiniones e información que permitiera determinar la problemática en cuestión.

3.5 Técnicas e instrumentos de procesamiento de datos

3.5.1 Técnicas

La principal utilizada para procesar los datos recopilados en este proyecto consistirá en el empleo de diversos programas informáticos que posibilitarán la creación de modelos y la parametrización de los datos, con el objetivo de obtener resultados específicos

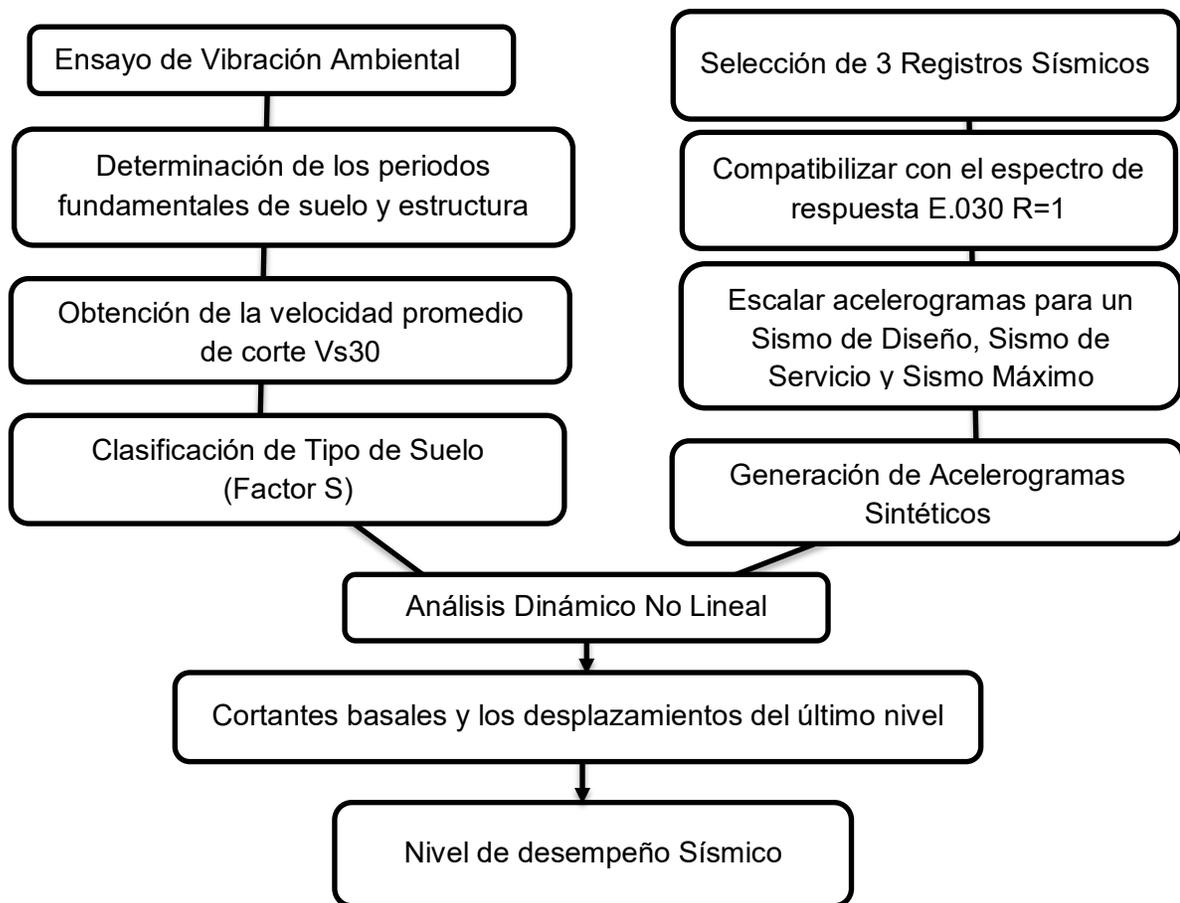
3.5.2 Instrumentos para la recolección

Durante la ejecución de este proyecto, se emplearon diversas herramientas de software, entre las cuales se incluyen Geopsy, Dinver y SeismoSignal. Además, se utilizó Etabs para llevar a cabo el modelamiento de la estructura, estas aplicaciones fueron de gran utilidad para procesar y analizar los datos recolectados en el proyecto.

3.6 Procedimiento

Figura 35

Procedimiento de la investigación



Fuente. Elaboración Propia (2023).

CAPÍTULO IV

DESARROLLO

4.1 Ubicación de la estructura planteada

La presente tesis determinara el nivel de desempeño del Hospital Regional, distrito de Chiclayo, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, fue diseñado de acuerdo con los requisitos técnicos necesarios para su funcionamiento y fue construido en el período comprendido entre los años 2009 y 2011.

Colindando con las Av. Evitamiento, Av. Panamericana, Av. Progreso y Universidad Santo Toribio de Mogrovejo; la edificación cuenta con 6 niveles que han sido diseñados para mejorar su comportamiento estructural. Estos bloques contienen diversos espacios en los cuales se aprovecharán un total de 27,420.07 m²de área, el costo de construcción del proyecto asciende a 176 millones de soles.

Departamento: Lambayeque
Provincia: Chiclayo
Distrito: Chiclayo
Localización: Av. Augusto B. Leguía S/N
Latitud Sur: 6°45'43" S
Longitud Oeste: 79°51'47" W

Figura 36

Ubicación del Proyecto



Fuente: Material fotográfico. Elaborado por: los autores (2023).

4.2 Descripción del Área

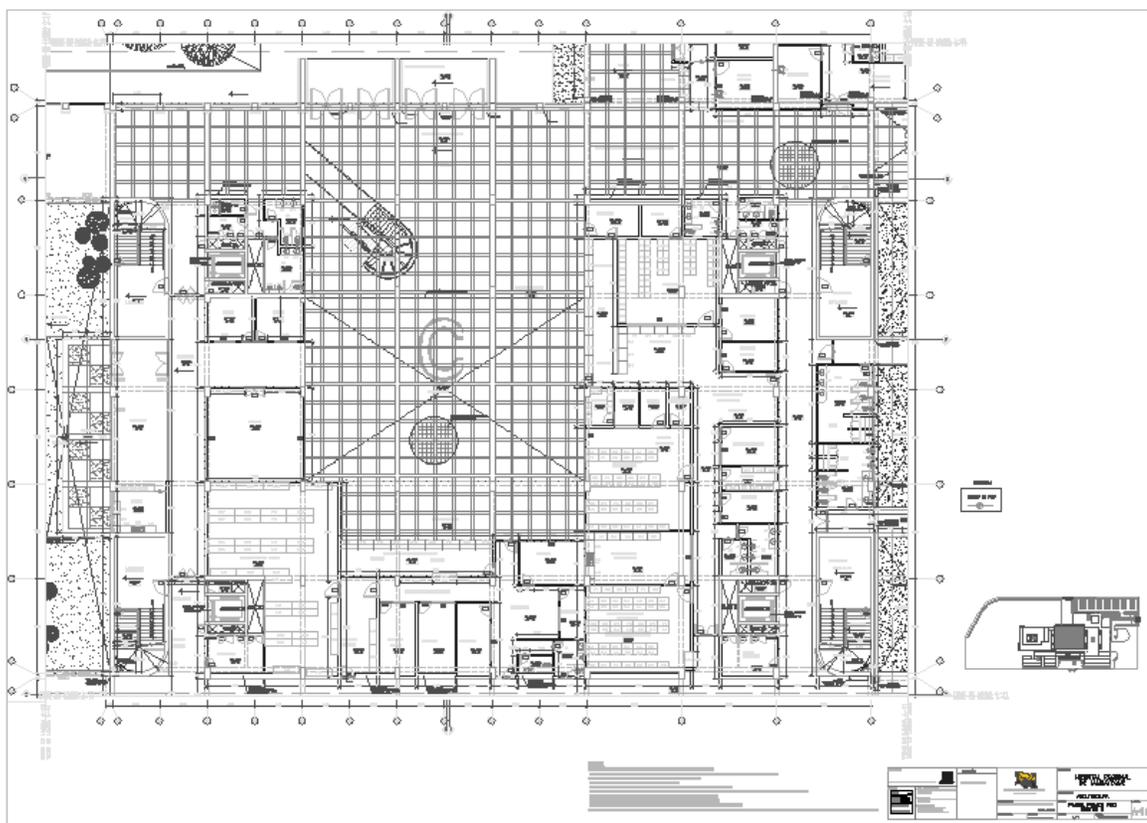
El módulo a evaluar de la presente Tesis es el sector C, los cuales consta de 6 niveles, cuyas áreas son como siguen:

Primer Piso	3729.6 m ²
Segundo Piso	3729.6 m ²
Tercer Piso	2355.98 m ²
Cuarto Piso	2355.98 m ²
Quinto Piso	1913.78 m ²
Sexto Piso	1443.08 m ²
Área	15528.02 m ²

Fuente. Expediente técnico (2023).

Figura 37

Plano del Bloque C



Nota. Plano de arquitectura del Bloque C del Hospital Regional de Lambayeque

Fuente: Expediente Técnico del Hospital Regional de Lambayeque.

4.3 Descripción de Ambientes

En la Tabla 40 se detalla los ambientes que se han considerado en bloque C del Hospital Regional, siendo estos distribuidos en 6 pisos.

Tabla 17

Descripción de ambientes

N° de Piso	Descripción
Nivel +31.00 m Primer Piso	Área techada: 6 166 68 m2 Rampa de acceso peatonal desde la Vía de Evitamiento Hall de ingreso Consulta externa Gabinetes de apoyo Farmacia Admisión Hemodiálisis Medicina física Patología clínica Imágenes Emergencia
Nivel +35.05 m Segundo Piso	Área techada: 6 166 68 m2 Centro quirúrgico Centro obstétrico Neonatología UCI, UCIN Auditorio Cafetería Exposiciones
Nivel +39.10m Tercer piso	Área techada: 2,344.30 m2 Hospitalización quirúrgica y hospitalización en la especialidad de medicina

Nivel +43.15m Cuarto piso	Área techada: 2,344.30 m ² Hospitalización pediátrica y Gineceo obstetricia. Incluyen áreas de espera (áreas de refugio) y jefaturas.
Nivel +47.20 Quinto piso	Área techada: 1,890.32 m ² Administración de docencia, aulas y laboratorios de investigación.
Nivel +51.25 Sexto piso	Área techada: 1,591. m ² Área de la dirección del hospital Residencia medica

Fuente: Elaboración Propia (2023).

De acuerdo con la documentación técnica del Hospital Regional de Lambayeque, su estructura se compone de una combinación de pórticos y muros de corte (placas). La losa está diseñada como una losa aligerada en dos direcciones, mientras que las vigas y viguetas están construidas con concreto armado con una resistencia de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.

Tabla 18

Propiedades de Materiales

Descripción	Valor
Concreto	$f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$
Módulo de Elasticidad del Concreto	$E_c=217370.651 \text{ Kg/cm}^2$
Peso Específico del Concreto	$W_c=2400 \text{ kg/m}^3$
Módulo de Elasticidad del Acero	$E_s=2.1 \times 10^6$
Resistencia a la Fluencia del Acero	$f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Asimismo, se utiliza acero corrugado de grado 60 para reforzar la estructura, con un límite de fluencia de 4200 Kg/cm^2 .

Tabla 19

Características de diseño

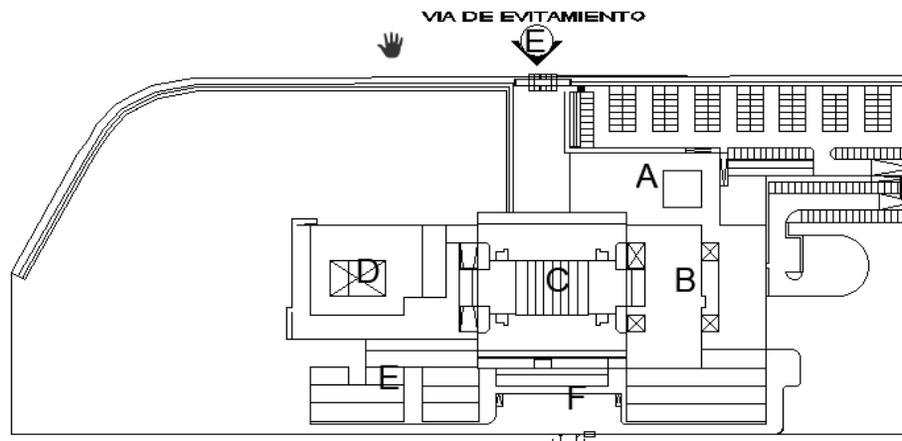
Descripción	Clasificación
Categoría	A: Edificaciones Esencial
Tipo de suelo	S2: Suelos Intermedios
Zona Sísmica	Zona 4

Fuente: Elaboración Propia (2023).

El Hospital Regional de Lambayeque consta de 14 módulos o estructuras independientes, que están separados por juntas sísmicas, una de las estructuras más destacadas es la que cubre completamente el sector C.

Figura 38

Módulos independientes de la edificación



Fuente. Adaptación del expediente técnico (2023)

La edificación del bloque C, Según la normativa E.030 es regida por los siguientes parámetros sísmicos:

a) Factor de Zona (Z): La zona en la que se ubica la ciudad de Chiclayo se clasifica como sísmica 4, es decir, una zona de alta sismicidad, y tiene asignado un factor de zona Z de 0.45.

b) Factor de Uso (U): En el caso de las edificaciones esenciales, se les asigna un factor de uso de 1.5.

c) Factor de Suelo: Se determinó el factor de suelo correspondiente: $S = 2$

d) Coeficiente básico de reducción R_0 : Se ha calculado el coeficiente correspondiente para la estructura de muros estructurales: $R_0 = 6$.

4.4 Ensayo de Vibración Ambiental

Es un método de prueba no invasivo que utiliza un dispositivo llamado sismómetro digital Geobox SR04 de "SARA electronic instruments". Este dispositivo está diseñado para registrar de manera pasiva microtemores o ruido ambiental sísmico.

Figura 39

Equipo utilizado para el ensayo de vibración ambiental.



Elaborado por: los autores. (2023)

Antes de comenzar con la toma de datos, se colocó el equipo sobre una superficie plana para realizar su nivelación y para luego tomar la lectura. El sismógrafo se conecta a una computadora portátil, donde se utiliza el software Seismo-Win para visualizar las vibraciones ambientales en las direcciones Norte-sur, Este-Oeste y vertical, a medida que se recopila la información en cada punto se guarda en el sistema.

Figura 40

Distancia del sismógrafo al equipo



Nota. Equipo conectado al sismógrafo para la toma de datos. Elaboración: Los autores (2023).

4.5 Obtención de puntos

4.5.1 Reconocimiento de terreno y plan de trabajo

Antes de empezar con el desarrollo, procedimos a realizar un recorrido del área de trabajo, y el sobrevuelo con el dron del Hospital Regional de Lambayeque.

Figura 41

Reconocimiento del terreno



Fuente: Los autores (2023)

Teniendo ya en claro la ubicación, comenzamos con la colocación de los cuatro puntos en suelo denominados: Microtremor-01, Microtremor-02, Microtremor-03 y Microtremor-04, se procede con la toma de datos.

Y siete puntos en estructura denominados: E-01, E-02, E-03, E-04, E-05, E-06 y E-07.

Para el desarrollo de este método se instala el sismógrafo en puntos específicos alejados de árboles, personas o maquinarias que puedan alterar los resultados.

A continuación, se describe cada punto

Tabla 20

Punto Microtremor Suelo 01

S-01	
DESCRIPCIÓN	
Duración	1800 segundos
Hora De Medición	9:24 a.m.
Latitud	S 6° 45' 40.58496"
Longitud	W 79° 51' 45.16164"

Elaboración: Los autores (2023).

Figura 42

Punto Microtremor Suelo 01



Nota. La figura muestra la ubicación y toma del Microtremor-01 en suelo con el sismógrafo GeoBox. Elaboración: Los autores (2023).

Tabla 21

Punto Microtremor Suelo 02

S-02	
DESCRIPCIÓN	
Latitud	S 6° 45' 42.02568"
Longitud	W 79° 51' 43.73568"
Duración	1800 segundos
Hora De Medición	10:26 a.m.

Elaboración: Los autores (2023).

Figura 43

Punto Microtremor Suelo 02



Nota. La figura muestra la ubicación y toma del Microtremor-02 en suelo con el sismógrafo GeoBox. Elaboración: Los autores.

Tabla 22

Punto Microtremor Suelo 03

Microtremor-03	
DESCRIPCIÓN	
Latitud	S 6° 45' 43.27992"
	W 79° 51'
Longitud	45.56808"
Duración	1800 segundos
Hora De	
Medición	11:25 a.m.

Elaboración: Los autores (2023).

Figura 44

Punto Microtremor Suelo 03



Nota. La figura muestra la ubicación y toma del Microtremor-03 en suelo con el sismógrafo GeoBox. Elaboración: Los autores (2023).

Tabla 23

Punto Microtremor Suelo 04

Microtremor-04	
DESCRIPCIÓN	
Latitud	S 6° 45' 44.48052"
Longitud	W 79° 51' 46.63656"
Duración	1800 segundos
Hora de Medición	1:32 p.m.

Elaboración: Los autores (2023).

Figura 45

Punto Microtremor Suelo 04



Nota. La figura muestra la ubicación y toma del Microtremor-04 en suelo con el sismógrafo GeoBox. Elaboración: Los autores. (2023)

Tabla 24

Punto Microtremor Estructura 01

E-01	
DESCRIPCIÓN	
Latitud	S 6° 45' 43.61256"
Longitud	W 79° 51' 47.04408"
Duración	120 segundos
Hora de Medición	15:25 p.m.

Elaboración: Los autores. (2023)

Figura 46

Punto Microtremor Estructura 01



Nota. La figura muestra la ubicación y toma del E-01 en estructura con el sismógrafo GeoBox. Elaboración: Los autores (2023).

Tabla 25

Punto Microtremor Estructura 02

E-02	
DESCRIPCIÓN	
Latitud	S 6° 45' 43.17804"
Longitud	W 79° 51' 45.90828"
Duración	120 segundos
Hora de Medición	15:32 p.m.

Elaboración: Los autores (2023).

Figura 47

Punto Microtremor Estructura 02



Nota. La figura muestra la ubicación y toma del E-02 en estructura. Fuente. Elaboración propia. (2023)

Tabla 26

Punto Microtremor Estructura 03

E-03	
DESCRIPCIÓN	
Latitud	S 6° 45' 44.07336"
Longitud	W 79° 51' 47.67516"
Duración	120 segundos
Hora de Medición	15:41 p.m.

Elaboración: Los autores. (2023)

Figura 48

Punto Microtremor Estructura 03



Nota. Nota. La figura muestra la ubicación y toma del E-03 en estructura con el sísmógrafo GeoBox. Elaboración: Los autores. (2023)

Tabla 27

Punto Microtremor Estructura 04

E-04	
DESCRIPCIÓN	
Latitud	S 6° 45' 47.09372"
Longitud	W 79° 51' 47.64348"
Duración	120 segundos
Hora De Medición	15:54 p.m.

Elaboración: Los autores (2023).

Figura 49

Punto Microtremor Estructura 04



Nota. La figura muestra la ubicación y toma del E-04 en estructura con el sismógrafo GeoBox. Elaboración: Los autores. (2023)

Tabla 28

Punto Microtremor Estructura 05

E-05	
DESCRIPCIÓN	
Latitud	S 6° 45' 42.7104"
Longitud	W 79° 51' 47.51928"
Duración	120 segundos
Hora De Medición	15:59 p.m.

Elaboración: Los autores (2023).

Figura 50

Punto Microtremor Estructura 05



Nota. La figura muestra la ubicación y toma del E-05 en estructura con el sismógrafo GeoBox. Elaboración: Los autores (2023).

Tabla 29

Punto Microtremor Estructura 06

E-06	
DESCRIPCIÓN	
Latitud	S 6° 45' 42.7104"
Longitud	W 79° 51' 48.0402"
Duración	120 segundos
Hora De Medición	16:08 p.m.

Elaboración: Los autores (2023).

Figura 51

Punto Microtremor Estructura 06



Nota. La figura muestra la ubicación y toma del E-06 en estructura. Fuente. Elaboración propia (2023).

Tabla 30

Punto Microtremor Estructura 07

E-07	
DESCRIPCIÓN	
Latitud	S 6° 45' 42.8238"
Longitud	W 79° 51' 46.82016"
Duración	120 segundos
Hora de Medición	16:12 p.m.

Elaboración: Los autores (2023).

Figura 52

Punto Microtremor Estructura 07



Nota. La figura muestra la ubicación y toma del E-07 en estructura con el sismógrafo GeoBox. Elaboración: Los autores (2023).

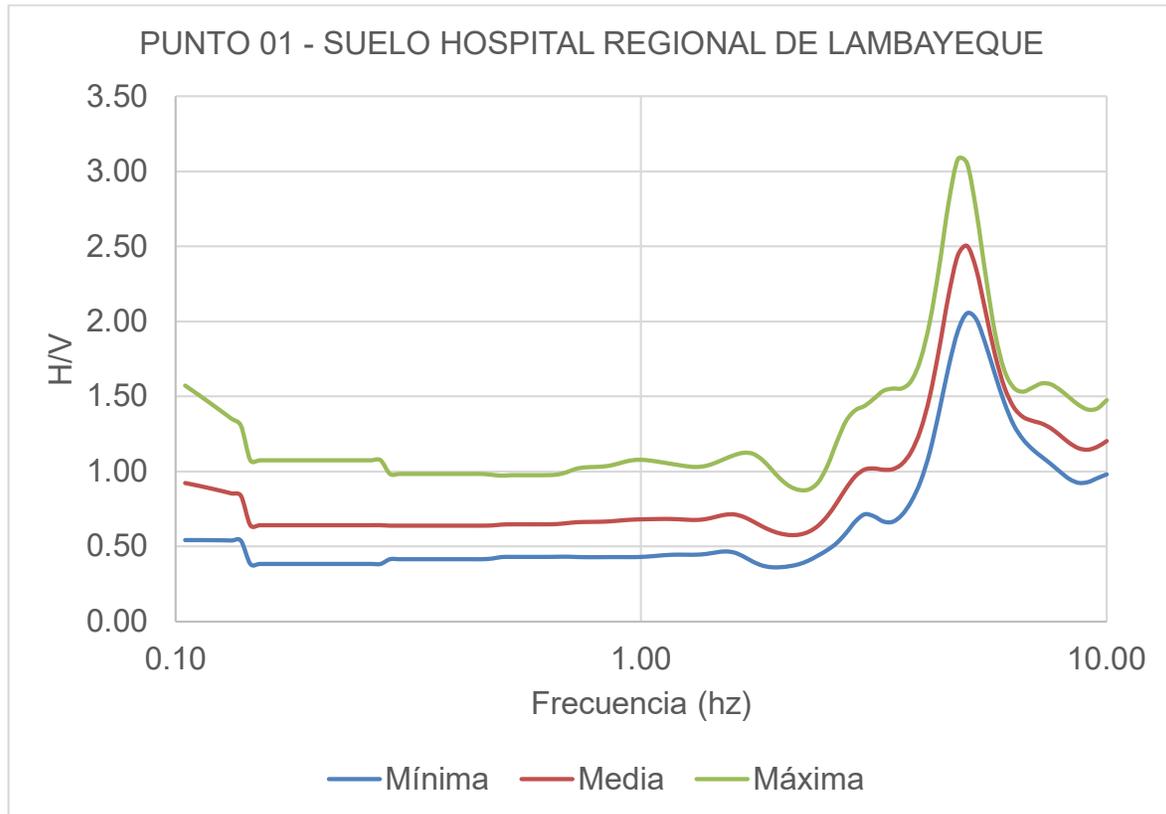
4.6 Ensayo en Suelo – Punto 1

4.6.1 Curva H/V, Frecuencias y Amplitudes

Se procesaron los datos obtenidos en el ensayo vibracional ambiental del punto N° 1 y se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 53

Curvas H/V promedio del punto 01 en Excel



Nota. La figura muestra las curvas H/V máxima, mínima y media, en el punto 1. Elaboración: Los autores (2023).

Las curvas H/V mínimas, medias y máximas son representadas en el eje X por las frecuencias y en el eje Y por las amplitudes mínimas, medias y máximas que se obtuvieron a través del ensayo vibracional ambiental en suelo (Punto 1).

4.6.2 Importación de datos del punto 1 al software Geopsy

Se importarán las vibraciones ambientales del punto 1 al software Geopsy, obteniendo la información de sus tres componentes (2 horizontales y 1 vertical), donde

se registraron 108 000 muestras en 30 minutos de duración del ensayo en este punto. También podemos visualizar el registro de amplitudes en las tres direcciones (Norte, Este y Vertical) con respecto a la duración del ensayo.

Figura 54

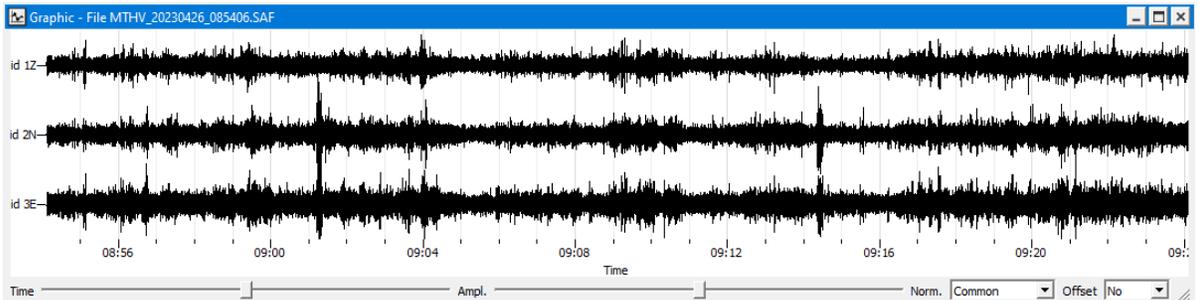
Importación de datos del punto 1 en el software Geopsy

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1		Vertical	2023-04-26 08:54:06.000000	2023-04-26 09:24:06.000000	600	0.001666666667	1080000	30m0.000000s	0	0
2		North	2023-04-26 08:54:06.000000	2023-04-26 09:24:06.000000	600	0.001666666667	1080000	30m0.000000s	0	0
3		East	2023-04-26 08:54:06.000000	2023-04-26 09:24:06.000000	600	0.001666666667	1080000	30m0.000000s	0	0

Nota. La figura muestra la información detallada del punto 1, sus tres componentes y la hora de inicio y término del ensayo.

Figura 55

Amplitudes del punto 1

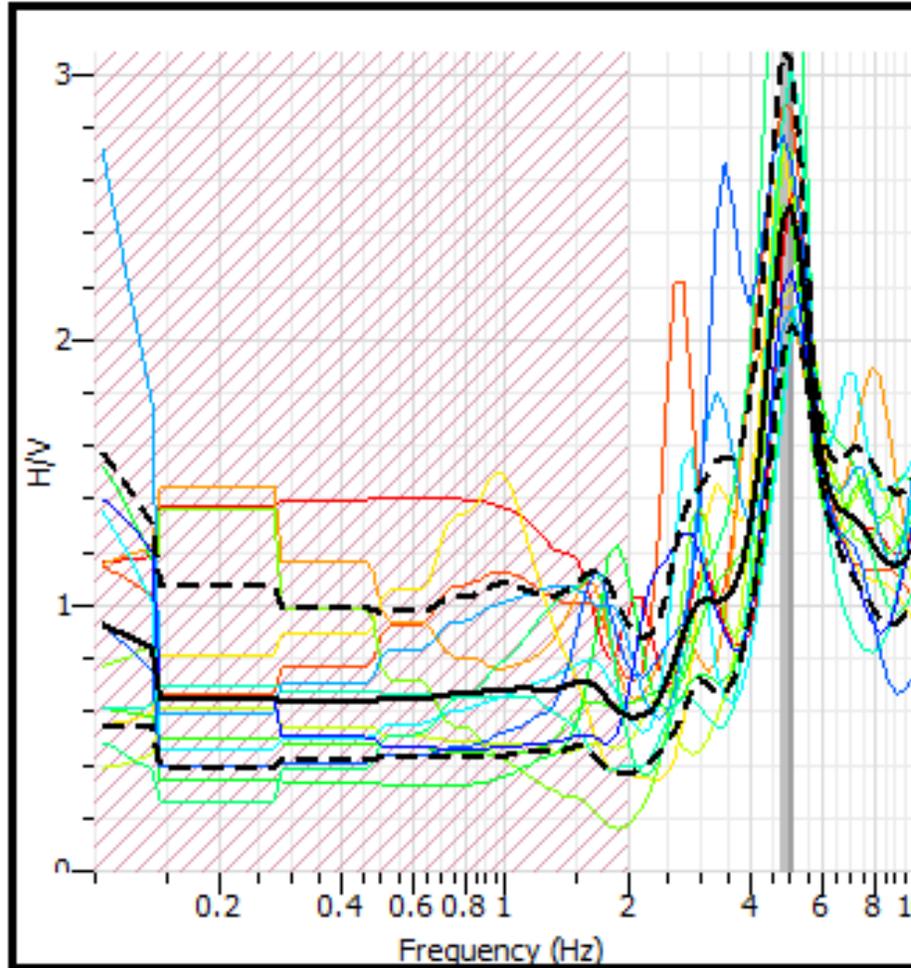


Nota. La figura muestra las amplitudes en las tres direcciones (Norte, Este y Vertical) con respecto al tiempo de medición de 30 minutos del ensayo en el punto 1.

Configuramos un filtro paso banda de 2.00 Hz a 10:00 Hz para captar sólo las señales de los microtemblores o vibraciones ambientales del punto 1. Luego se procede a limpiar las señales anormales causadas por el viento, las personas, etc., hasta obtener un número de ventanas considerables según los criterios SESAME.

Figura 56

Determinación de la curva H/V del punto 1



Nota. La figura muestra las 14 ventanas seleccionadas para la determinación de la curva H/V en el software Geopsy.

Se realizó una configuración dentro del software Geopsy para longitudes de ventanas de 5 segundos y 14 ventanas seleccionadas para generar una curva H/V con una señal más limpia y clara, eliminando las curvas que se generaron por alteraciones externas.

Figura 57

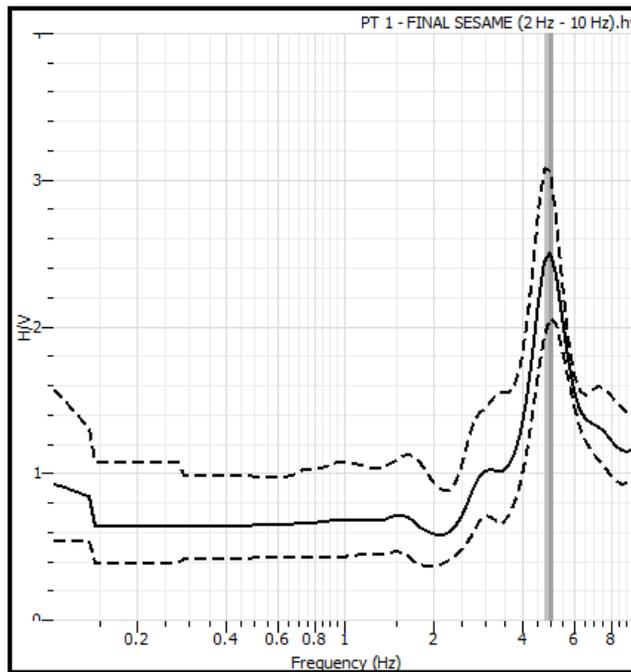
Resultados obtenidos de la curva H/V del punto 1

```
PT 1 - FINAL SESAME (2 Hz - 10 Hz).hv  
f0=4.94636 [4.76187, 5.138]  
A0=2.4857 [2.01905, 3.06093]  
Category: Default
```

Nota. La figura muestra la frecuencia peak de H/V, frecuencia mínima y máxima, el peak de la amplitud H/V, amplitud mínima y amplitud máxima obtenida en Geopsy.

Figura 58

Curvas H/V máxima, media y mínima del punto 1



Nota. Elaboración propia

4.6.3 Evaluación SESAME

Con la información obtenida, del procesamiento de datos del punto 1 en Geopsy, se procedió a realizar una serie de comprobaciones para confirmar si la curva H/V generada es correcta, a través del criterio SESAME.

Tabla 31*Resultados obtenidos del punto 1 en el software Geopsy*

RESULTADOS OBTENIDOS EN GEOPSY			
f_o =	Frecuencia peak de H/V.	=	4.94636 Hz
f^{min} =	Frecuencia mínima.	=	4.76187 Hz
f^{max} =	Frecuencia máxima.	=	5.13800 Hz
l_w =	Longitud de ventana	=	5 s
n_w =	Número de ventanas	=	14 ventanas
n_c =	$l_w * n_w * f_o$ = Número de ciclos significativos	=	346.2452 ciclos
A_o =	Peak de amplitud de H/V a la frecuencia f_o .	=	2.48569 m
A_o^{min} =	Amplitud mínima. Se asocia a la frecuencia f_o .	=	2.01905 m
A_o^{max} =	Amplitud máxima. Se asocia a la frecuencia f_o .	=	3.06093 m
T_s =	Periodo. Se asocia a la frecuencia f_o .	=	0.20217 s

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Se obtuvo como frecuencia peak de la curva H/V, 4.94636 Hertz y un periodo de 0.20217 segundos. Con el cumplimiento de estos 3 criterios podemos afirmar que la curva H/V generada en el software Geopsy del punto 1 es una curva confiable según la Evaluación SESAME.

Tabla 32*Criterios para curva confiable H/V del punto 1*

CRITERIOS PARA CURVA CONFIABLE	CUMPLE	
	SI	NO
CRITERIO 1	✓	
CRITERIO 2	✓	
CRITERIO 3	✓	

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Para el criterio 1. la frecuencia peak f_0 es mayor que el cociente entre 10 y la longitud de ventana de 14 segundos, en el criterio 2 el número de ciclos significativos de 346 es mayor a 200 y según el criterio 3, la desviación estándar de las amplitudes de las frecuencias es menor que 2, para una frecuencia peak f_0 de 4.946 Hz > 0.5 Hz. Con el cumplimiento de estos tres criterios se puede afirmar que la curva H/V generada en Geopsy es correcta.

Se comprobó también que el peak H/V claro del punto 1 según la evaluación SESAME, debe cumplir por lo menos 5 de los 6 criterios que se muestran a continuación:

Tabla 33*Criterios para peak H/V Claro del punto 1*

PEAK H/V CLARO	CUMPLE	
	SI	NO
CRITERIO 1	✓	
CRITERIO 2	✓	
CRITERIO 3	✓	
CRITERIO 4		×
CRITERIO 5	✓	
CRITERIO 6	✓	

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 34

Valores umbral f y $A(f_0)$ para punto 1

Rango de Frecuencia (Hz)	> 2.0	4.95
$e(f_0)$ (Hz)	$0.05 \cdot f_0$	0.248
$q(f_0)$ de $s A(f_0)$	1.58	1.58

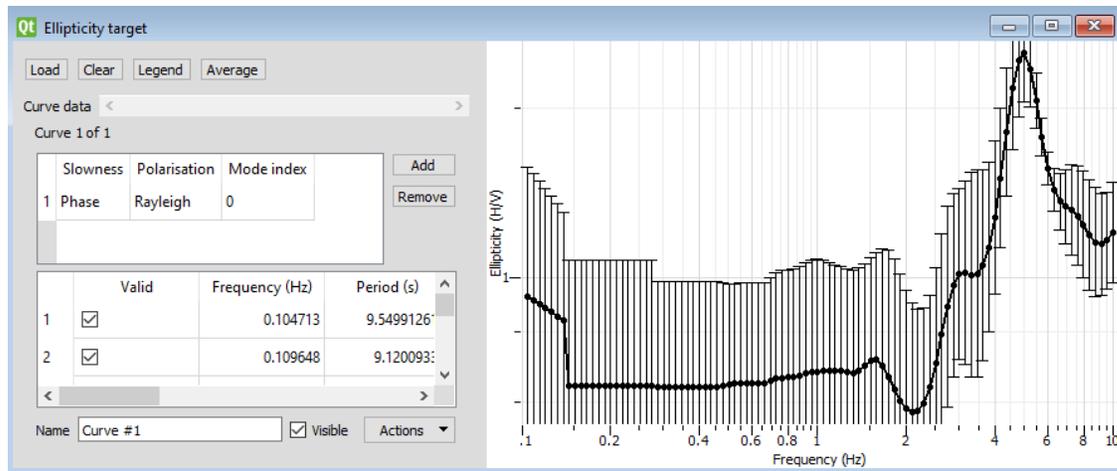
Fuente: Elaboración Propia (2023)

4.6.4 Inversión de la curva H/V en Geopsy Dinver

Se utilizó el software Geopsy Dinver, versión 2.10.1. El objetivo de este procedimiento es encontrar una curva teórica que se ajuste de manera precisa y cercana a la curva H/V observada, minimizando el margen de error. Esto se logra mediante la inversión de la curva de cocientes espectrales H/V utilizando la elipticidad de las ondas Rayleigh, nos brindará un panorama general del perfil estratigráfico y las velocidades de ondas de corte en el punto 1. Una vez importados en Geopsy Dinver los datos de la curva H/V del punto 1, se obtiene la inversa de la curva H/V.

Figura 59

Inversión de curva de razón espectral H/V del punto 1



Nota. Inversa de la curva H/V del punto 1 en el software Geopsy Dinver.

Se introduce manualmente los parámetros geotécnicos para obtener la estratigrafía del suelo del punto 1, analizando un total de 3 estratos y considerando el basamento rocoso. Se definen los parámetros de velocidad de onda de compresión

Vp (m/s), velocidad de ondas de corte Vs (m/s), módulo de Poisson (ν) y densidad ρ (kg/m³), se vinculan los valores de Vp, ν y ρ a la velocidad de onda de corte Vs. El software Geopsy Dinver, realiza un número definido de pruebas (Runs), con el objetivo de disminuir el margen de error (Min misfit). Se asigna un total de 15 Runs, con el fin de obtener una estimación más precisa.

Figura 60

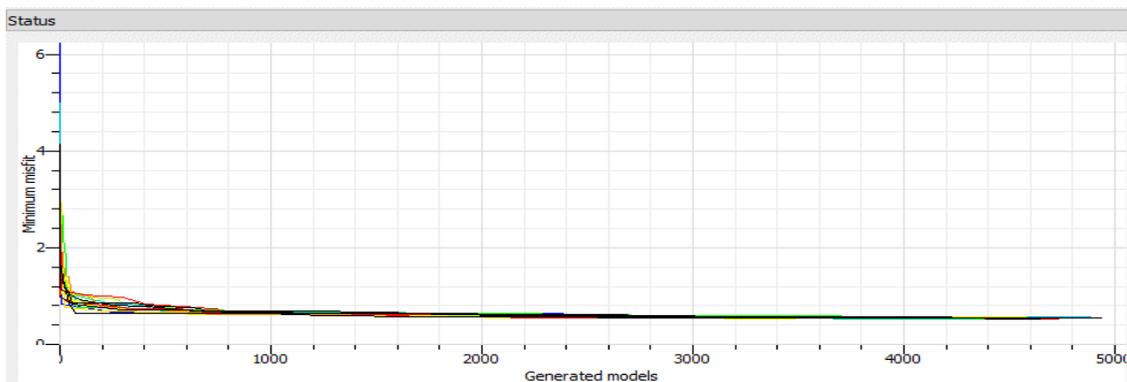
Runs asignados para el punto 1

	Run name	Itmax	Ns0	Ns	Nr	Seed	GiveUp	Nw
1	run_01	100	50	50	50	1816	90	2
2	run_02	100	50	50	50	28478	90	2
3	run_03	100	50	50	50	9353	90	2
4	run_04	100	50	50	50	25185	90	2
5	run_05	100	50	50	50	23263	90	2
6	run_06	100	50	50	50	14790	90	2
7	run_07	100	50	50	50	26779	90	2
8	run_08	100	50	50	50	19305	90	2
9	run_09	100	50	50	50	8009	90	2
10	run_10	100	50	50	50	4157	90	2
11	run_11	100	50	50	50	4952	90	2
12	run_12	100	50	50	50	29971	90	2
13	run_13	100	50	50	50	2030	90	2
14	run_14	100	50	50	50	31661	90	2
15	run_15	100	50	50	50	24108	90	2

Nota. Geopsy Dinver. Elaboración propia

Figura 61

Gráfica del Status generados del margen de error



Nota. La figura muestra las 15 iteraciones realizadas y la disminución de los errores

Figura 62

Resultados del punto 1 obtenidos en Geopsy Dinver

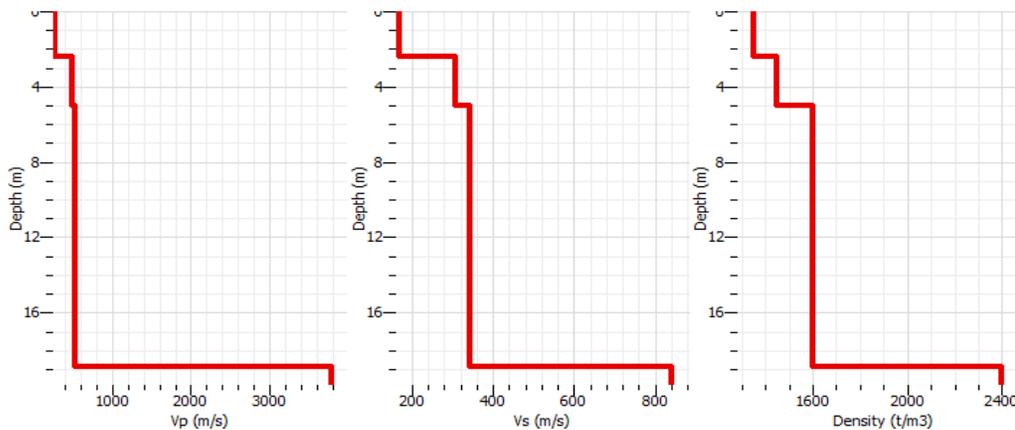
Pen	Run name	Min misfit	Valid models	Active models	Visited models	Rate	Eff. Nr	Rejected	Give up
1	run_01	0.503129	10100/0	10100	10100	0.22...	50 m	0 m/m	0 m
2	run_02	0.511252	10100/0	10100	10100	0.22...	50 m	0 m/m	0 m
3	run_03	0.500778	10100/0	10100	10100	0.22...	50 m	0 m/m	0 m
4	run_04	0.502802	10100/0	10100	10100	0.22...	50 m	0 m/m	0 m
5	run_05	0.504066	10100/0	10100	10100	0.22...	50 m	0 m/m	0 m
6	run_06	0.50504	10100/0	10100	10100	0.22...	50 m	0 m/m	0 m
7	run_07	0.495724	101000/0	101000	101000	2.27...	50 m	0 m/m	0 m
8	run_08	0.512578	10100/0	10100	10100	0.22...	50 m	0 m/m	0 m
9	run_09	0.510089	10100/0	10100	10100	0.22...	50 m	0 m/m	0 m
10	run_10	0.501868	10100/0	10100	10100	0.22...	50 m	0 m/m	0 m
11	run_11	0.506297	10100/0	10100	10100	0.22...	50 m	0 m/m	0 m
12	run_12	0.503739	10100/0	10100	10100	0.22...	50 m	0 m/m	0 m
13	run_13	0.525031	10100/0	10100	10100	0.22...	50 m	0 m/m	0 m
14	run_14	0.50798	10100/0	10100	10100	0.22...	50 m	0 m/m	0 m
15	run_15	0.515725	10100/0	10100	10100	0.22...	50 m	0 m/m	0 m

Nota. Se obtuvo un margen de error mínimo de 0.495724

Posteriormente se obtienen los perfiles de suelo (Ground Profiles) según la V_p (m/s), V_s (m/s) y Densidad (t/m³).

Figura 63

Perfil de suelo del punto 1



Nota. Perfil de suelo por Velocidades de onda de compresión V_p , velocidades de ondas de corte V_s y por densidad ρ , considerando un valor de margen de error (Min misfit) de 0.495724.

A partir del segundo perfil de suelo generado en Geopsy Dinver por las velocidades de ondas de corte Vs (m/s), se extraen estas mismas velocidades para diferentes alturas donde se produce un cambio notorio hasta llegar a una profundidad de 30 metros, para obtener la velocidad promedio de ondas de corte Vs y así determinar el tipo de suelo en este punto.

Tabla 35

Resultados obtenidos del software Geopsy Dinver

Estrato	Espesor	Vp	Vs	Densidad
1	2.40038494	270.91439	169.425434	1350
2	2.61350658	487.258549	305.242864	1450
3	13.8239018	538.462663	343.961134	1600
4	0	3773.44935	841.412028	2400

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Se procede a calcular la velocidad promedio de las ondas de corte, Vs, según la norma E030 Diseño Sismorresistente, en el capítulo 12.2, a través de la siguiente fórmula:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{V_{si}}\right)}$$

Tabla 36

Determinación de la velocidad de onda de corte a 30 metros

Estrato	Profundidad		Vs (m/s)	Hi	Hi/Vsi
	Zi (m)	Zf (m)			
1	0	2.400385	169.425434	2.400385	0.014168
2	2.400385	5.013892	305.242864	2.613507	0.008563
3	5.0138912	18.83779	343.961134	13.82390	0.040191
4	18.83779	30.00000	841.412028	11.16221	0.013266
				30.00	0.076182
				Vs₃₀=	393.77 m/s

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Finalmente se obtuvo en el punto 1, Vs30 de 393.77 m/s, clasificándolo según la norma E030 Diseño Sismorresistente en su capítulo 12.1.4 como un Suelo Intermedio S2.

Tabla 37

Clasificación del perfil de suelo del punto 1

CLASIFICACIÓN DEL PERFIL DE SUELO DEL PUNTO 1			
Perfil	Tipo de Sueño	Vs	Vs ₃₀
S0	Roca Dura	> 1500 m/s	
S1	Roca o Suelos Muy Rígidos	500 m/s a 1500 m/s	
S2	Suelos Intermedios	180 m/s a 500 m/s	393.77m/s
S3	Suelos Blandos	< 180 m/s	
S4	Condiciones Excepcionales	Clasificación basada en el EMS	

Fuente: E.030 Diseño Sismorresistente, capítulo 12.1.4 (2019)

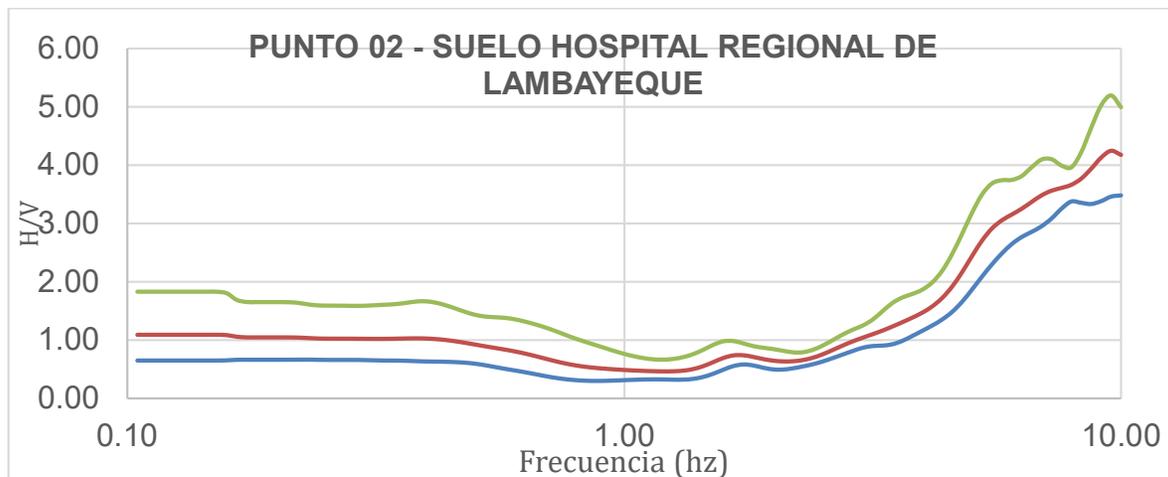
4.7 Ensayo en Suelo – Punto 2

4.7.1 Curva H/V, Frecuencias y Amplitudes

Se procesaron los datos obtenidos en el ensayo vibracional ambiental del punto N° 2 y se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 64

Curvas H/V promedio del punto 02 en Excel



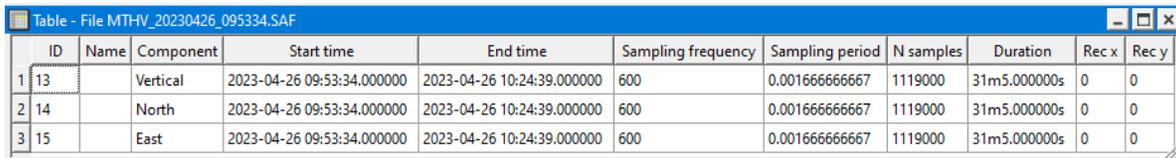
Nota. Curvas H/V máxima, mínima y media, en el punto 2. Elaboración: Los autores (2023).

4.7.2 Importación de datos del punto 2 al software Geopsy

Se importarán las vibraciones ambientales del punto 2 al software Geopsy, obteniendo la información de sus tres componentes (2 horizontales y 1 vertical), donde se registraron 108 000 muestras en 30 minutos de duración del ensayo en este punto. También podemos visualizar el registro de amplitudes en las tres direcciones (Norte, Este y Vertical) con respecto a la duración del ensayo.

Figura 65

Importación de datos del punto 2 en el software Geopsy

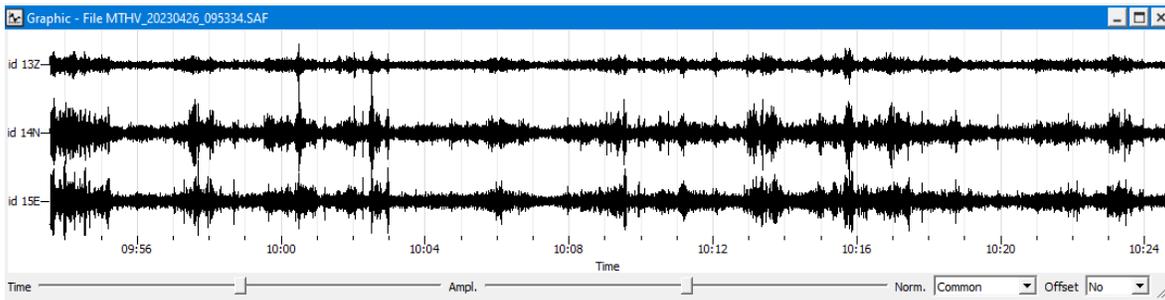


ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
13		Vertical	2023-04-26 09:53:34.000000	2023-04-26 10:24:39.000000	600	0.001666666667	1119000	31m5.000000s	0	0
14		North	2023-04-26 09:53:34.000000	2023-04-26 10:24:39.000000	600	0.001666666667	1119000	31m5.000000s	0	0
15		East	2023-04-26 09:53:34.000000	2023-04-26 10:24:39.000000	600	0.001666666667	1119000	31m5.000000s	0	0

Nota. La figura muestra la información detallada del punto 2, sus tres componentes y la hora de inicio y término del ensayo.

Figura 66

Amplitudes del punto 2 en sus componentes

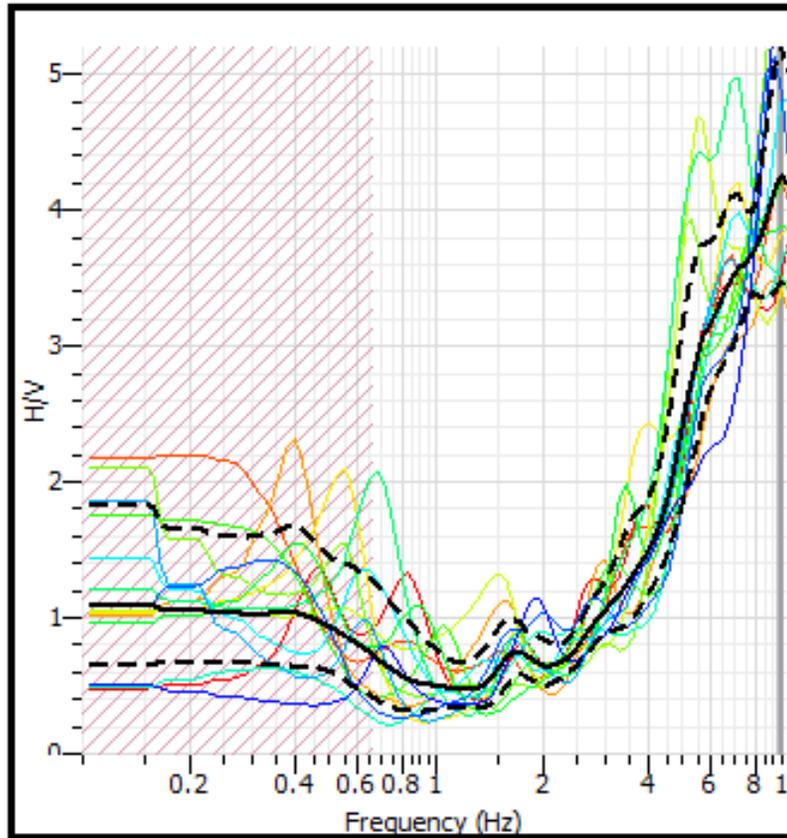


Nota. La figura muestra las amplitudes en las tres direcciones (Norte, Este y Vertical) con respecto al tiempo de medición de 30 minutos del ensayo en el punto 2.

Configuramos un filtro paso banda de 2.00 Hz a 10.00 Hz para captar sólo las señales de los microtemblores o vibraciones ambientales del punto 2. Luego se procede a limpiar las señales anormales causadas por el viento, las personas, etc., hasta obtener un número de ventanas considerables según los criterios SESAME (Site Effects Assessment Using Ambient Excitations).

Figura 67

Determinación de la curva H/V del punto 2



Nota. La figura muestra las 14 ventanas seleccionadas para la determinación de la curva H/V en el software Geopsy.

Se realizó una configuración dentro del software Geopsy para longitudes de ventanas de 10 segundos y 14 ventanas seleccionadas para generar una curva H/V con una señal más limpia y clara, eliminando las curvas que se generaron por alteraciones externas.

Figura 68

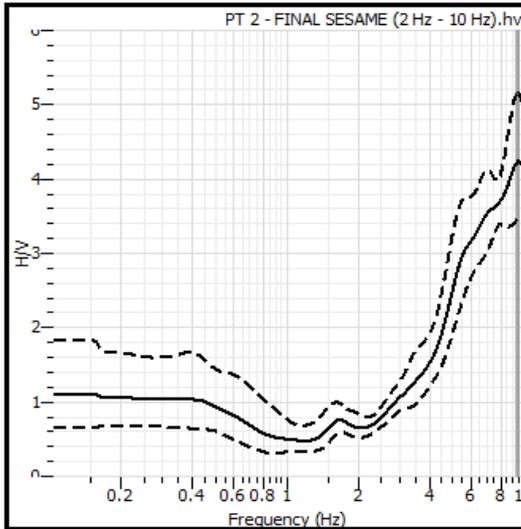
Resultados obtenidos de la curva H/V del punto 2

```
PT 2 - FINAL SESAME (2 Hz - 10 Hz).hv  
f0=9.45269 [9.26267, 9.64661]  
A0=4.21676 [3.44662, 5.15901]  
Category: Default
```

Nota. La figura muestra la frecuencia peak de H/V, frecuencia mínima y máxima, el peak de la amplitud H/V, amplitud mínima y amplitud máxima obtenida en Geopsy.

Figura 69

Curvas H/V máxima, media y mínima del punto 2



Nota. *Elaboración propia*

4.7.3 Evaluación SESAME

Con la información obtenida, del procesamiento de datos del punto 2 en Geopsy, se procedió a realizar una serie de comprobaciones para confirmar si la curva H/V generada es correcta, a través del criterio SESAME.

Tabla 38

Resultados obtenidos del punto 2 en el software Geopsy

RESULTADOS OBTENIDOS EN GEOPSY			
f_0 =	Frecuencia peak de H/V.	=	9.45269 Hz
f^{\min} =	Frecuencia mínima.	=	9.29267 Hz
f^{\max} =	Frecuencia máxima.	=	9.64661 Hz
l_w =	Longitud de ventana	=	10 s
n_w =	Número de ventanas	=	14 ventanas
n_c =	$l_w * n_w * f_0$ = Número de ciclos significativos	=	1323.38 ciclos
A_0 =		=	4.21676 m
A_0^{\min} =	Amplitud mínima. Se asocia a la frecuencia f_0 .	=	3.44662 m
A_0^{\max} =	Amplitud máxima. Se asocia a la frecuencia f_0 .	=	5.15901 m
T_s =	Periodo. Se asocia a la frecuencia f_0 .	=	0.1058 s

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Se obtuvo como frecuencia peak de la curva H/V, 9.45269 Hertz y un periodo de 0.1058 segundos. Con el cumplimiento de estos 3 criterios podemos afirmar que la curva H/V generada en el software Geopsy del punto 2 es una curva confiable según la Evaluación SESAME.

Tabla 39

Criterios para curva confiable H/V del punto 2

CRITERIOS PARA CURVA CONFIABLE		CUMPLE	
		SI	NO
CRITERIO 1	$f_0 > \frac{10}{l_w}$	✓	
CRITERIO 2	$n_c(f_0) > 200$	✓	
CRITERIO 3	$\sigma_A(f) < 2$; para $0.5 f_0 < f < 2f_0$ si $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$; para $0.5 f_0 < f < 2f_0$ si $f_0 < 0.5\text{Hz}$	✓	

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Para el criterio 1. la frecuencia peak f_0 es mayor que el cociente entre 10 y la longitud de ventana de 14 segundos, en el criterio 2 el número de ciclos significativos de 1323 es mayor a 200 y según el criterio 3, la desviación estándar de las amplitudes de las frecuencias es menor que 2, para una frecuencia peak f_0 de 9.45 Hz > 0.5 Hz. Con el cumplimiento de estos tres criterios se puede afirmar que la curva H/V generada en Geopsy es correcta.

Se comprobó también que el peak H/V claro del punto 2 según la evaluación SESAME, debe cumplir por lo menos 5 de los 6 criterios que se muestran a continuación:

Tabla 40

Criterios para peak H/V Claro del punto 2

PEAK H/V CLARO	CUMPLE	
	SI	NO
CRITERIO 1	✓	
CRITERIO 2	✓	
CRITERIO 3	✓	
CRITERIO 4		×
CRITERIO 5	✓	
CRITERIO 6	✓	

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 41

Valores umbral f y $A(f_0)$ para punto 2

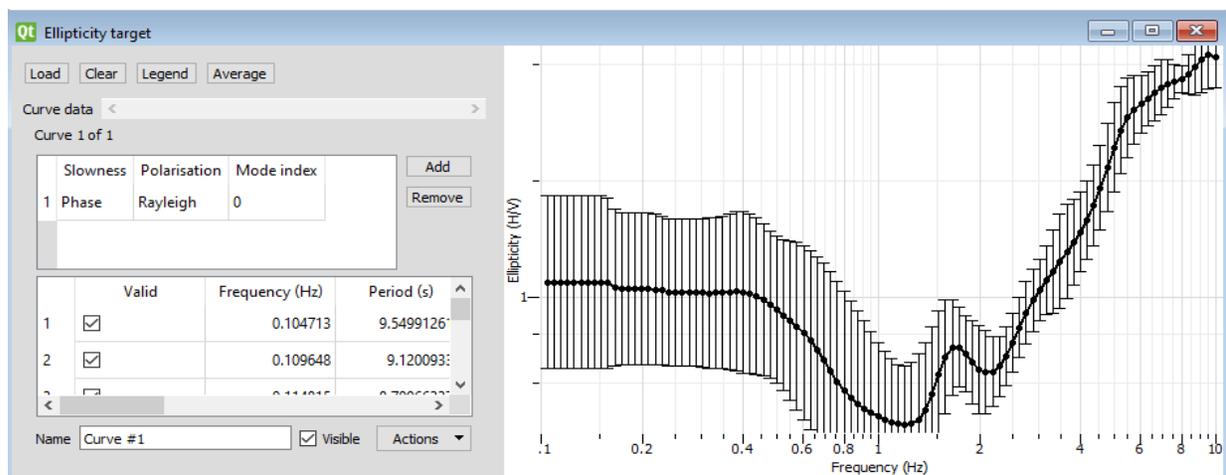
Rango de Frecuencia (Hz)	> 2.0	9.45
$e(f_0)$ (Hz)	$0.05 \cdot f_0$	0.473
$q(f_0)$ de $s A(f_0)$	1.58	1.58

Fuente: Elaboración Propia (2023)

4.7.4 Inversión de la curva H/V en Geopsy Dinver

Figura 70

Inversión de curva de razón espectral H/V del punto 2



Nota. La figura muestra la gráfica de la inversa de la curva H/V del punto 2 en el software Geopsy Dinver.

Se introduce manualmente los parámetros geotécnicos para obtener la estratigrafía del suelo del punto 2, analizando un total de 3 estratos y considerando el basamento rocoso. El software Geopsy Dinver, realiza un número definido de pruebas (Runs), con el objetivo de disminuir el margen de error (Min misfit). Se asigna un total de 15 Runs, con el fin de obtener una estimación más precisa.

Figura 71

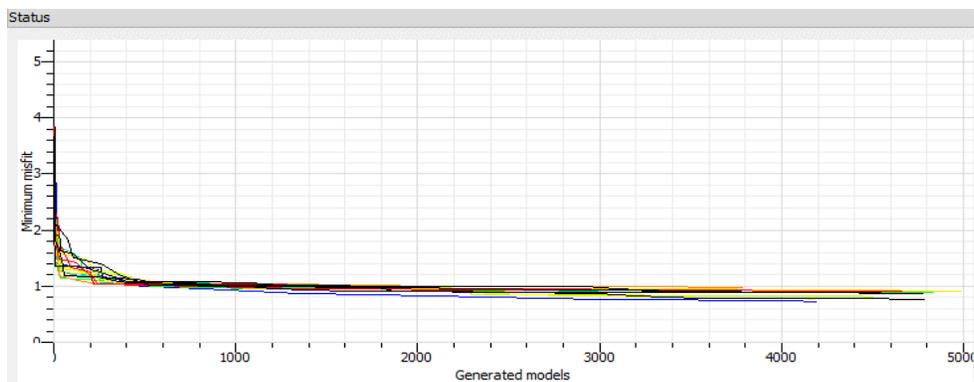
Runs asignados para el punto 2

	Run name	Itmax	Ns0	Ns	Nr	Seed	GiveUp	Nw
1	run_01	100	50	50	50	20685	90	2
2	run_02	100	50	50	50	1248	90	2
3	run_03	100	50	50	50	929	90	2
4	run_04	100	50	50	50	31844	90	2
5	run_05	100	50	50	50	8506	90	2
6	run_06	100	50	50	50	31434	90	2
7	run_07	100	50	50	50	30094	90	2
8	run_08	100	50	50	50	4056	90	2
9	run_09	100	50	50	50	32360	90	2
10	run_10	100	50	50	50	8922	90	2
11	run_11	100	50	50	50	11214	90	2
12	run_12	100	50	50	50	6661	90	2
13	run_13	100	50	50	50	12381	90	2
14	run_14	100	50	50	50	5583	90	2
15	run_15	100	50	50	50	18871	90	2

Nota. Geopsy Dinver. Elaboración propia

Figura 72

Gráfica del Status generados del margen de error



Nota. La figura muestra las 15 iteraciones realizadas y la disminución de los errores.

Figura 73

Resultados del punto 2 obtenidos en Geopsy Dinver

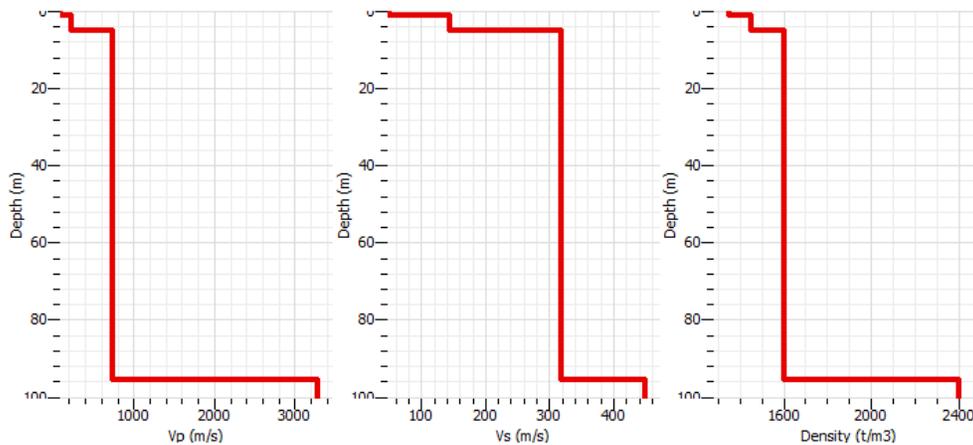
Pen	Run name	Min misfit	Valid models	Active models	Visited models	Rate	Eff. Nr	Rejected	Give up
1	run_01	0.72966	5050/0	5050	5050	0.07...	50 m	0 m/m	0 m
2	run_02	0.927049	5050/0	5050	5050	0.07...	50 m	0 m/m	0 m
3	run_03	0.91945	5050/0	5050	5050	0.07...	50 m	0 m/m	0 m
4	run_04	0.886422	5050/0	5050	5050	0.07...	50 m	0 m/m	0 m
5	run_05	0.795435	5050/0	5050	5050	0.07...	50 m	0 m/m	0 m
6	run_06	0.931182	5050/0	5050	5050	0.07...	50 m	0 m/m	0 m
7	run_07	0.753499	5050/0	5050	5050	0.07...	50 m	0 m/m	0 m
8	run_08	0.914569	5050/0	5050	5050	0.07...	50 m	0 m/m	0 m
9	run_09	0.974356	5050/0	5050	5050	0.07...	50 m	0 m/m	0 m
10	run_10	0.933411	5050/0	5050	5050	0.07...	50 m	0 m/m	0 m
11	run_11	0.918061	5050/0	5050	5050	0.07...	50 m	0 m/m	0 m
12	run_12	0.881951	5050/0	5050	5050	0.07...	50 m	0 m/m	0 m
13	run_13	0.757692	5050/0	5050	5050	0.07...	50 m	0 m/m	0 m
14	run_14	0.921271	5050/0	5050	5050	0.07...	50 m	0 m/m	0 m
15	run_15	0.860236	5050/0	5050	5050	0.07...	50 m	0 m/m	0 m

Nota. Se obtuvo un margen de error mínimo de 0.72966

Posteriormente se obtienen los perfiles de suelo (Ground Profiles) según V_p (m/s), V_s (m/s) y Densidad (t/m³).

Figura 74

Perfil de suelo del punto 2



Nota. V_p , V_s y por densidad ρ , margen de error (Min misfit) de 0.72966.

A partir del segundo perfil de suelo generado en Geopsy Dinver por las velocidades de ondas de corte V_s (m/s), se extraen estas mismas velocidades para

diferentes alturas donde se produce un cambio notorio hasta llegar a una profundidad de 30 metros.

Tabla 42

Resultados obtenidos del software Geopsy Dinver

Estrato	Espesor	Vp	Vs	Densidad
1	1.184304	95.80573	50.2003	1350
2	3.779945	225.9196	143.5215	1450
3	90.4062	737.7174	317.8463	1600
4	0	3290.561	448.7185	2400

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Se procede a calcular la velocidad promedio de las ondas de corte, Vs, según la norma E030 Diseño Sismorresistente, en el capítulo 12.2, a través de la siguiente fórmula:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{V_{si}}\right)}$$

Tabla 43

Determinación de la velocidad de onda de corte a 30 metros

Estrato	Profundidad		Vs (m/s)	Hi	Hi/Vsi
	Zi (m)	Zf (m)			
1	0	1.184304431	50.2003002	1.184304	0.023592
2	1.184304431	4.964249032	143.5215192	3.779945	0.026337
3	4.964249032	30	317.8463665	25.03575	0.078767
				30	0.128695
				Vs30=	233.11 m/s

Fuente. Elaboración Propia (2023).

Finalmente se obtuvo en el punto 2, velocidad promedio V_s a 30 metros de 233.11 m/s, clasificándolo según la norma E030 Diseño Sismorresistente en su capítulo 12.1.4 como un Suelo Intermedio S2

Tabla 44

Clasificación del perfil de suelo del punto 2

CLASIFICACIÓN DEL PERFIL DE SUELO DEL PUNTO 2			
Perfil	Tipo de Suelo	V_s	V_{s30}
S0	Roca Dura	> 1500 m/s	
S1	Roca o Suelos Muy Rígidos	500 m/s a 1500 m/s	
S2	Suelos Intermedios	180 m/s a 500 m/s	233.11 m/s
S3	Suelos Blandos	< 180 m/s	
S4	Condiciones Excepcionales	Clasificación basada en el EMS	

Fuente: E030 Diseño Sismorresistente, capítulo 12.1.4

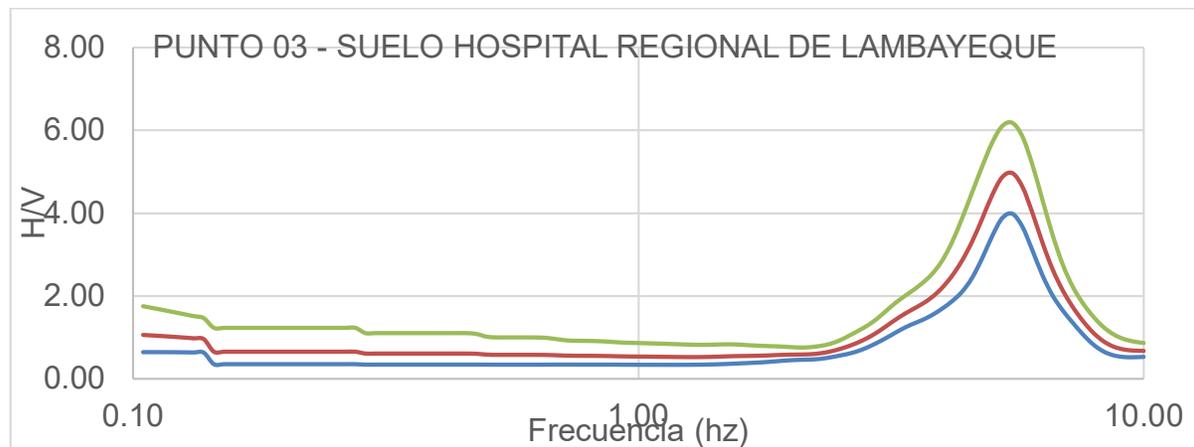
4.8 Ensayo en Suelo – Punto 3

4.8.1 Curva H/V, Frecuencias y Amplitudes

Se procesaron los datos obtenidos en el ensayo vibracional ambiental del punto N° 3 y se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 75

Curvas H/V promedio del punto 03 en Excel



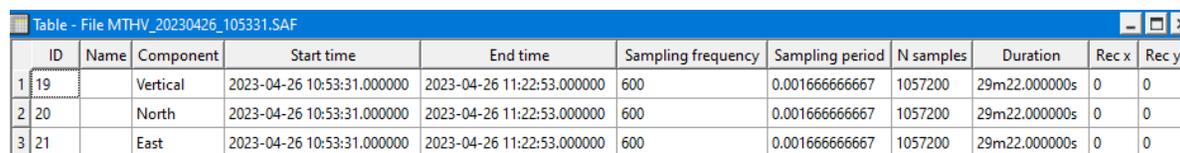
Nota. La figura muestra las curvas H/V máxima, mínima y media, en el punto 3.
Elaboración: Los autores (2023).

4.8.2 Importación de datos del punto 3 al software Geopsy

Se importarán las vibraciones ambientales del punto 3 al software Geopsy, obteniendo la información de sus tres componentes (2 horizontales y 1 vertical), donde se registraron 108 000 muestras en 30 minutos de duración del ensayo en este punto. También podemos visualizar el registro de amplitudes en las tres direcciones (Norte, Este y Vertical) con respecto a la duración del ensayo.

Figura 76

Importación de datos del punto 3 en el software Geopsy

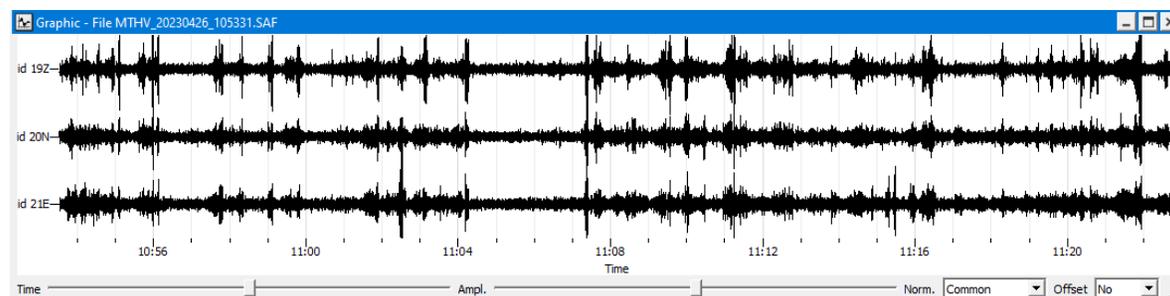


ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1	19	Vertical	2023-04-26 10:53:31.000000	2023-04-26 11:22:53.000000	600	0.001666666667	1057200	29m22.000000s	0	0
2	20	North	2023-04-26 10:53:31.000000	2023-04-26 11:22:53.000000	600	0.001666666667	1057200	29m22.000000s	0	0
3	21	East	2023-04-26 10:53:31.000000	2023-04-26 11:22:53.000000	600	0.001666666667	1057200	29m22.000000s	0	0

Nota. La figura muestra la información detallada del punto 3, sus tres componentes y la hora de inicio y término del ensayo.

Figura 77

Amplitudes del punto 3 en sus componentes

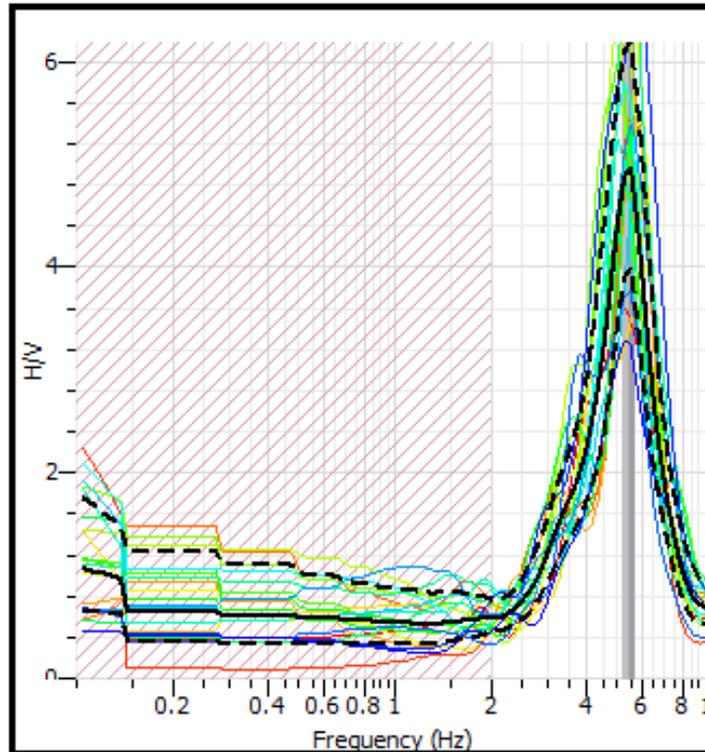


Nota. La figura muestra las amplitudes en las tres direcciones (Norte, Este y Vertical) con respecto al tiempo de medición de 30 minutos del ensayo en el punto 3.

Configuramos un filtro paso banda de 2.00 Hz a 10:00 Hz para captar sólo las señales de los microtemblores o vibraciones ambientales del punto 3. Luego se procede a limpiar las señales anormales causadas por el viento, las personas, etc., hasta obtener un número de ventanas considerables según los criterios SESAME.

Figura 78

Determinación de la curva H/V del punto 3



Nota. La figura muestra las 20 ventanas seleccionadas para la determinación de la curva H/V en el software Geopsy.

Se realizó una configuración dentro del software Geopsy para longitudes de ventanas de 5 segundos y 20 ventanas seleccionadas para generar una curva H/V con una señal más limpia y clara, eliminando las curvas que se generaron por alteraciones externas.

Figura 79

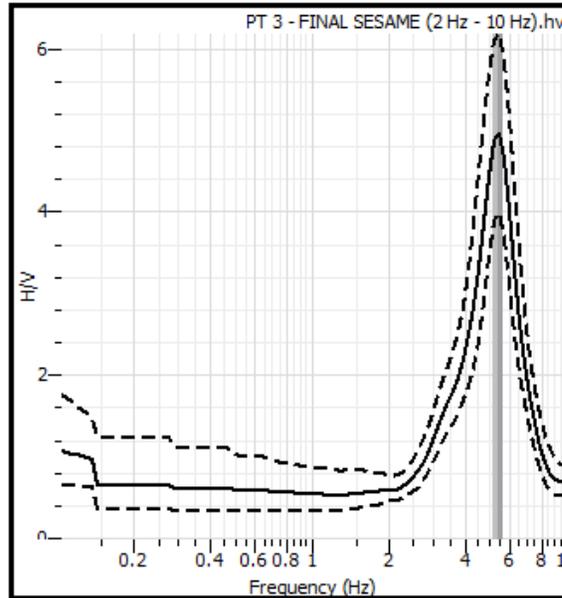
Resultados obtenidos de la curva H/V del punto 3

```
PT 3 - FINAL SESAME (2 Hz - 10 Hz).hv  
f0=5.42001 [5.16866, 5.68358]  
A0=4.93489 [3.95674, 6.15491]  
Category: Default
```

Nota. La figura muestra la frecuencia peak de H/V, frecuencia mínima y máxima, el peak de la amplitud H/V, amplitud mínima y amplitud máxima obtenida en Geopsy.

Figura 80

Curvas H/V máxima, media y mínima del punto 3



Nota. *Elaboración propia*

4.8.3 Evaluación SESAME

Los datos del punto 3 que se emplearán para la verificación de los criterios SESAME.

Tabla 45

Resultados obtenidos del punto 3 en el software Geopsy

RESULTADOS OBTENIDOS EN GEOPSY			
f_o =	Frecuencia peak de H/V.	=	5.42001 Hz
f^{min} =	Frecuencia mínima.	=	5.16866 Hz
f^{max} =	Frecuencia máxima.	=	5.68358 Hz
l_w =	Longitud de ventana	=	5 s
n_w =	Número de ventanas	=	20 ventanas
n_c =	$l_w * n_w * f_o$ = Número de ciclos significativos	=	542.001 ciclos
A_o =		=	4.93489 m
A_o^{min} =	Amplitud mínima. Se asocia a la frecuencia f_o .	=	3.95674 m
A_o^{max} =	Amplitud máxima. Se asocia a la frecuencia f_o .	=	6.15491 m
T_s =	Periodo. Se asocia a la frecuencia f_o .	=	0.18450 s

Fuente: *Elaboración Propia (2023).*

Se obtuvo como frecuencia peak de la curva H/V, 5.420 Hertz y un periodo de 0.185 segundos. Con el cumplimiento de estos 3 criterios podemos afirmar que la curva H/V generada en el software Geopsy del punto 3 es una curva confiable según la Evaluación SESAME.

Tabla 46

Criterios para curva confiable H/V del punto 3

CRITERIOS PARA CURVA CONFIABLE		CUMPLE	
		SI	NO
CRITERIO 1	$f_0 > \frac{10}{l_w}$	✓	
CRITERIO 2	$n_c(f_0) > 200$	✓	
CRITERIO 3	$\sigma_A(f) < 2$; para $0.5 f_0 < f < 2f_0$ si $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$; para $0.5 f_0 < f < 2f_0$ si $f_0 < 0.5\text{Hz}$	✓	

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Para el criterio 1. la frecuencia peak f_0 es mayor que el cociente entre 10 y la longitud de ventana de 5 segundos, en el criterio 2 el número de ciclos significativos de 542 es mayor a 200 y según el criterio 3, la desviación estándar de las amplitudes de las frecuencias es menor que 2, para una frecuencia peak f_0 de 5.42 Hz $>$ 0.5 Hz. Con el cumplimiento de estos tres criterios se puede afirmar que la curva H/V generada en Geopsy es correcta.

Se comprobó también que el peak H/V claro del punto 3 según la evaluación SESAME, debe cumplir por lo menos 5 de los 6 criterios que se muestran a continuación:

Tabla 47

Criterios para peak H/V Claro del punto 3

PEAK H/V CLARO	CUMPLE	
	SI	NO
CRITERIO 1	✓	
CRITERIO 2	✓	
CRITERIO 3	✓	
CRITERIO 4		×
CRITERIO 5	✓	
CRITERIO 6	✓	

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 48

Valores umbral f y $A(f_0)$ para punto 3

Rango de Frecuencia (Hz)	> 2.0	5.42
$e(f_0)$ (Hz)	$0.05 \cdot f_0$	0.271
$q(f_0)$ de $s A(f_0)$	1.58	1.58

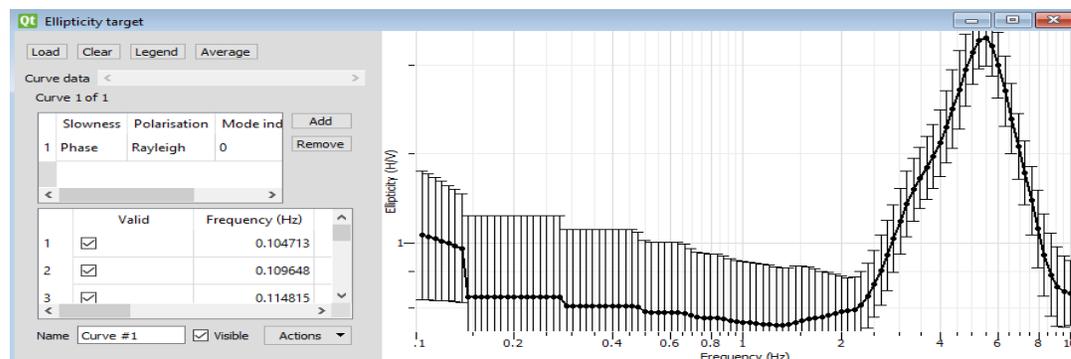
Fuente: Elaboración Propia (2023)

4.8.4 Inversión de la curva H/V en Geopsy Dinver

Una vez importados en Geopsy Dinver los datos de la curva H/V del punto 3, se obtiene la inversa de la curva H/V.

Figura 81

Inversión de curva de razón espectral H/V del punto 3



Nota. La figura muestra la gráfica de la inversa de la curva H/V del punto 3 en el software Geopsy Dinver.

Se introduce manualmente los parámetros geotécnicos para obtener la estratigrafía del suelo del punto 3, analizando un total de 3 estratos y considerando el basamento rocoso. Se definen los parámetros de velocidad de onda de compresión V_p (m/s), velocidad de ondas de corte V_s (m/s), módulo de Poisson (ν) y densidad ρ (kg/m³), se vinculan los valores de V_p , ν y ρ a la velocidad de onda de corte V_s .

Figura 82

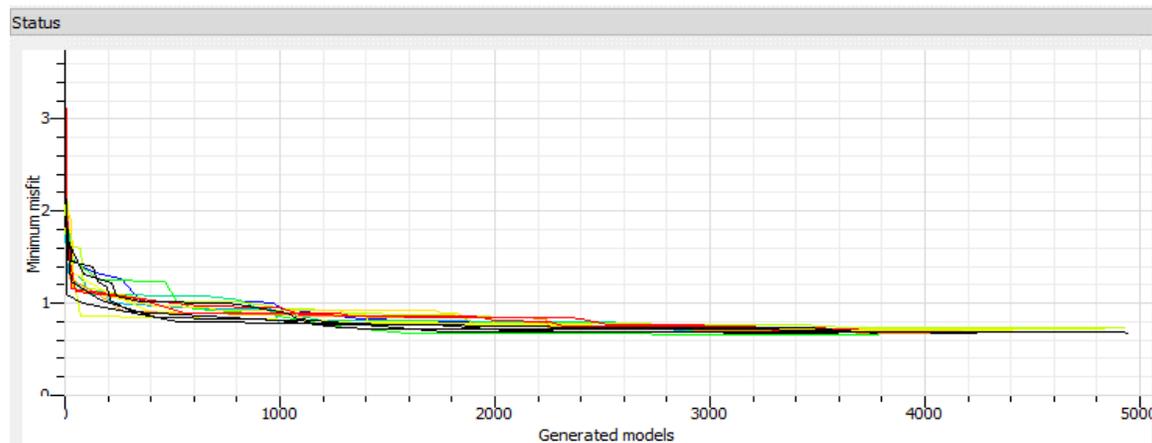
Runs asignados para el punto 3

	Run name	Itmax	Ns0	Ns	Nr	Seed	GiveUp	Nw
1	run_01	100	50	50	50	4837	90	2
2	run_02	100	50	50	50	9282	90	2
3	run_03	100	50	50	50	18640	90	2
4	run_04	100	50	50	50	1510	90	2
5	run_05	100	50	50	50	28756	90	2
6	run_06	100	50	50	50	9768	90	2
7	run_07	100	50	50	50	22213	90	2
8	run_08	100	50	50	50	31320	90	2
9	run_09	100	50	50	50	11342	90	2
10	run_10	100	50	50	50	18826	90	2
11	run_11	100	50	50	50	31979	90	2
12	run_12	100	50	50	50	5178	90	2
13	run_13	100	50	50	50	490	90	2
14	run_14	100	50	50	50	1589	90	2
15	run_15	100	50	50	50	6322	90	2

Nota. Geopsy Dinver. Elaboración propia

Figura 83

Gráfica del Status generados del margen de error



Nota. La figura muestra las 15 iteraciones realizadas y la disminución de los errores.

Figura 84

Resultados del punto 3 obtenidos en Geopsy Dinver

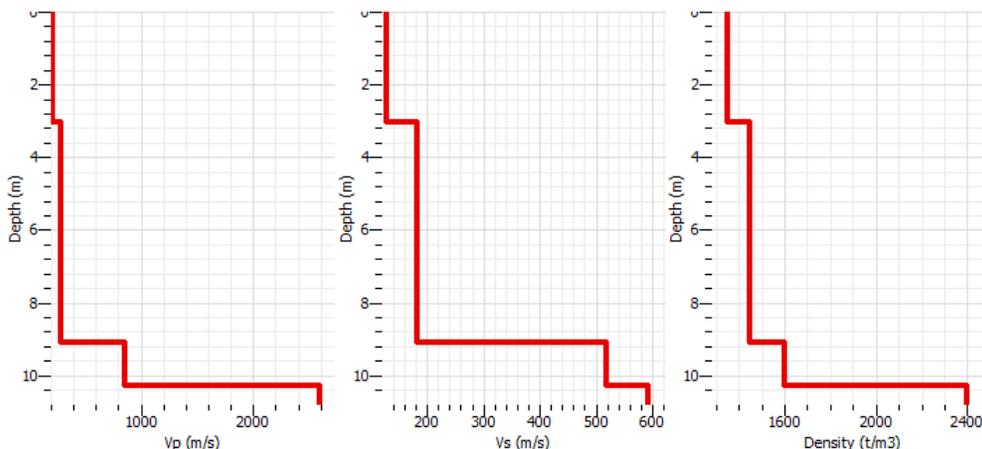
Pen	Run name	Min misfit	Valid models	Active models	Visited models	Rate	Eff. Nr	Rejected	Give up
1	run_01	0.688586	5050/5050	1951	5318	0 m/s	50 m	30 m	0 m
2	run_02	0.672702	5050/5050	2075	5288	0 m/s	50 m	15 m	0 m
3	run_03	0.692088	5050/5050	2067	5307	0 m/s	50 m	27 m	0 m
4	run_04	0.660868	5050/5050	2000	5278	0 m/s	50 m	12 m	0 m
5	run_05	0.737793	5050/5050	2071	5273	0 m/s	50 m	4 m	0 m
6	run_06	0.712928	5050/5050	2029	5282	0 m/s	50 m	5 m	0 m
7	run_07	0.68392	5050/5050	2050	5288	0 m/s	50 m	12 m	0 m
8	run_08	0.697553	5050/5050	2034	5309	0 m/s	50 m	27 m	0 m
9	run_09	0.672458	5050/5050	2072	5288	0 m/s	50 m	12 m	0 m
10	run_10	0.720917	5050/5050	1975	5285	0 m/s	50 m	10 m	0 m
11	run_11	0.686203	5050/5050	2124	5283	0 m/s	50 m	27 m	0 m
12	run_12	0.672782	5050/5050	1994	5271	0 m/s	50 m	11 m	0 m
13	run_13	0.672926	5050/5050	2067	5293	0 m/s	50 m	15 m	0 m
14	run_14	0.672912	5050/5050	1969	5288	0 m/s	50 m	6 m	0 m
15	run_15	0.673008	5050/5050	1974	5275	158....	50 m	0 m/m	0 m

Nota. Se obtuvo un margen de error mínimo de 0.6609

Posteriormente se obtienen los perfiles de suelo según la Vp (m/s), Vs (m/s) y Densidad (t/m³).

Figura 85

Perfil de suelo del punto 3



Nota. Considerando un valor de margen de error (Min misfit) de 0.6609.

A partir del segundo perfil de suelo generado en Geopsy Dinver por las velocidades de ondas de corte Vs (m/s), se extraen estas mismas velocidades para diferentes alturas donde se produce un cambio notorio hasta llegar a una profundidad de 30 metros.

Tabla 49*Resultados obtenidos del software Geopsy Dinver*

Estrato	Espesor	Vp	Vs	Densidad
1	3.047851925	209.7530283	127.0469644	1350
2	6.060868251	285.7341138	181.3389735	1450
3	1.157870015	859.6147423	518.1805868	1600
4	0	2586.170999	592.4442936	2400

Fuente. Elaboración Propia (2023).

Se procede a calcular la velocidad promedio de las ondas de corte, Vs, según la norma E030 Diseño Sismorresistente, en el capítulo 12.2, a través de la siguiente fórmula:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{V_{si}} \right)}$$

Tabla 50*Determinación de la velocidad de onda de corte a 30 metros*

Estrato	Profundidad		Vs (m/s)	Hi	Hi/Vsi
	Zi (m)	Zf (m)			
1	0	3.047851925	127.0469644	3.047852	0.023990
2	3.047851925	9.108720175	181.3389735	6.060868	0.033423
3	9.108720175	10.26659019	518.1805868	1.157870	0.002234
4	10.26659019	30.00000	592.4442936	19.73341	0.033308
				30.0000	0.092956
				Vs₃₀=	322.73 m/s

Fuente. Elaboración Propia (2023).

Finalmente se obtuvo en el punto 2, una velocidad promedio de ondas de corte a 30 metros de 322.73 m/s, clasificándolo según la norma E030 Diseño Sismorresistente en su capítulo 12.1.4 como un Suelo Intermedio S2

Tabla 51

Clasificación del perfil de suelo del punto 3

CLASIFICACIÓN DEL PERFIL DE SUELO DEL PUNTO 3			
Perfil	Tipo de Sueño	Vs	Vs₃₀
S0	Roca Dura	> 1500 m/s	
S1	Roca o Suelos Muy Rígidos	500 m/s a 1500 m/s	
S2	Suelos Intermedios	180 m/s a 500 m/s	322.73 m/s
S3	Suelos Blandos	< 180 m/s	
S4	Condiciones Excepcionales	Clasificación basada en el EMS	

Fuente: E030 Diseño Sismorresistente, capítulo 12.1.4

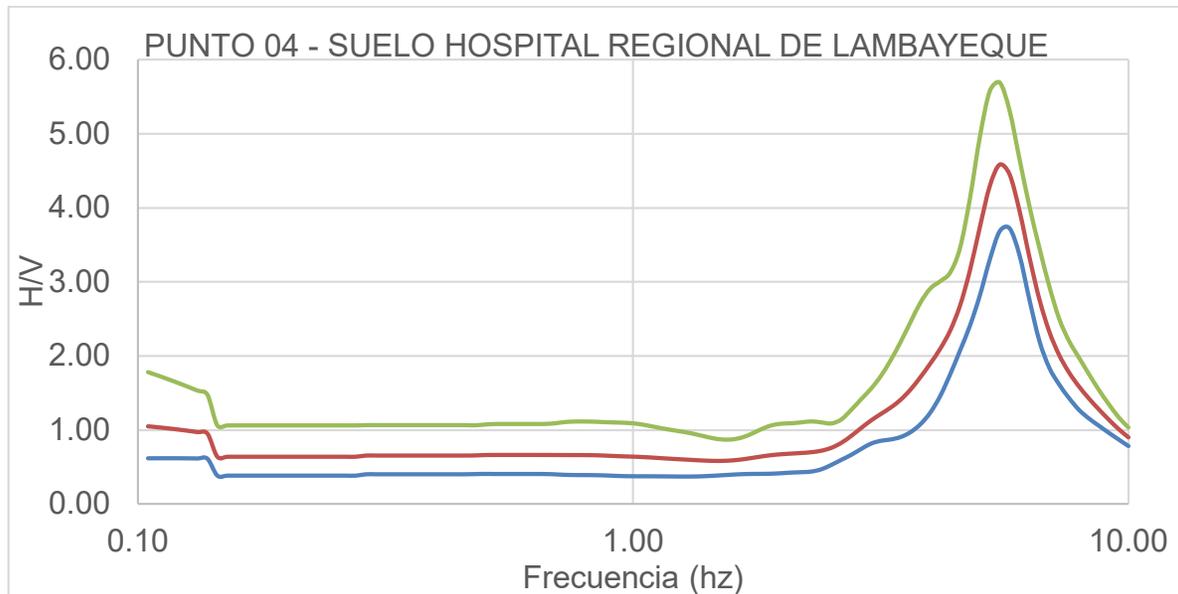
4.9 Ensayo en Suelo – Punto 4

4.9.1 Curva H/V, Frecuencias y Amplitudes

Se procesaron los datos obtenidos en el ensayo vibracional ambiental del punto N° 4 y se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 86

Curvas H/V promedio del punto 04 en Excel



Nota. La figura muestra las curvas H/V máxima, mínima y media, en el punto 4.

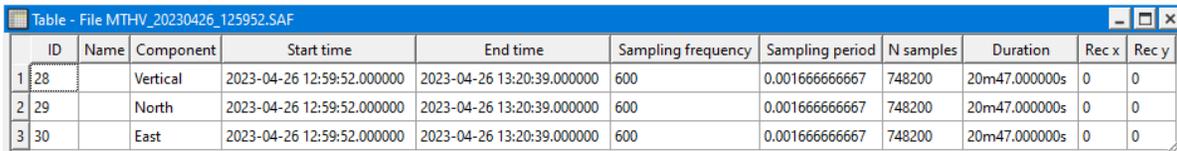
Elaboración: Los autores (2023).

4.9.2 Importación de datos del punto 4 al software Geopsy

Se importarán las vibraciones ambientales del punto 4 al software Geopsy, obteniendo la información de sus tres componentes (2 horizontales y 1 vertical), donde se registraron 748 200 muestras en 20 minutos y 47 segundos de duración del ensayo en este punto. También podemos visualizar el registro de amplitudes en las tres direcciones (Norte, Este y Vertical) con respecto a la duración del ensayo.

Figura 87

Importación de datos del punto 4 en el software Geopsy

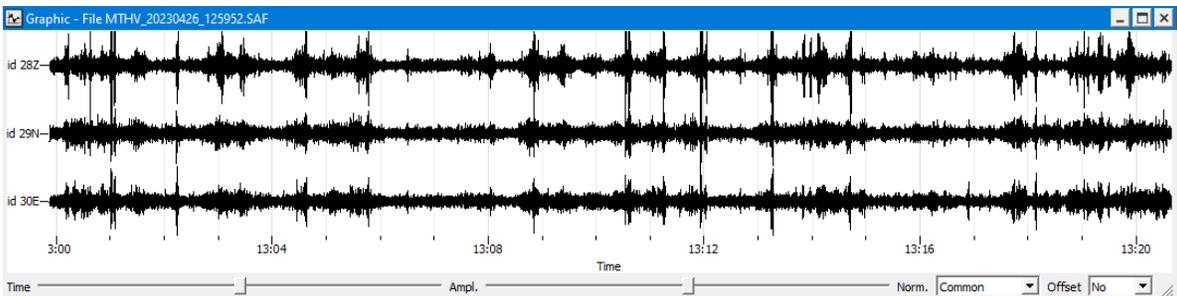


ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1	28	Vertical	2023-04-26 12:59:52.000000	2023-04-26 13:20:39.000000	600	0.001666666667	748200	20m47.000000s	0	0
2	29	North	2023-04-26 12:59:52.000000	2023-04-26 13:20:39.000000	600	0.001666666667	748200	20m47.000000s	0	0
3	30	East	2023-04-26 12:59:52.000000	2023-04-26 13:20:39.000000	600	0.001666666667	748200	20m47.000000s	0	0

Nota. La figura muestra la información detallada del punto 4, sus tres componentes y la hora de inicio y término del ensayo.

Figura 88

Amplitudes del punto 4 en sus componentes

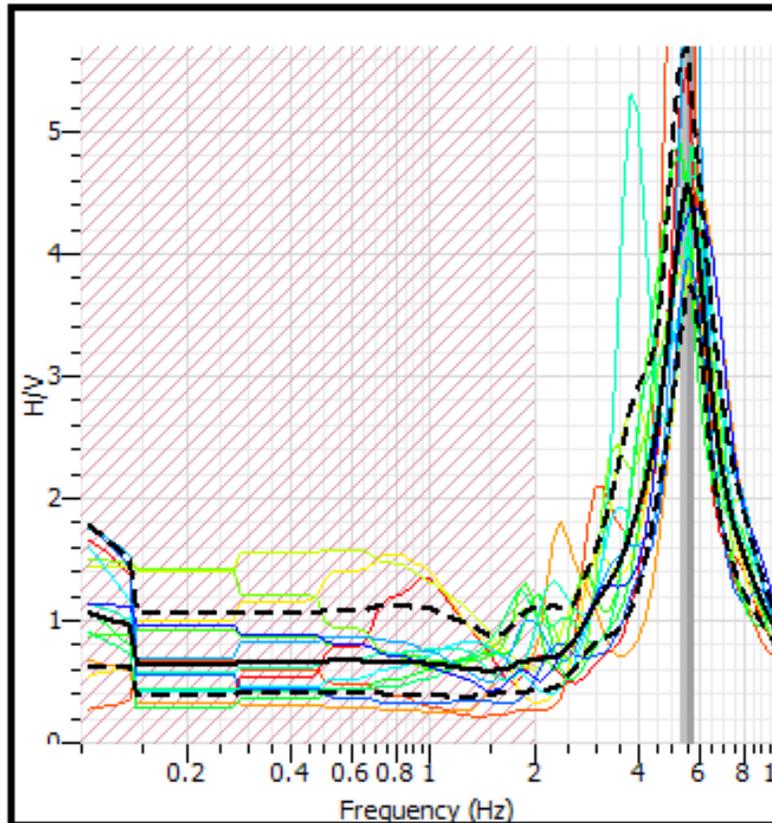


Nota. La figura muestra las amplitudes en las tres direcciones (Norte, Este y Vertical) con respecto al tiempo de medición de 30 minutos del ensayo en el punto 4.

Configuramos un filtro paso banda de 2.00 Hz a 10.00 Hz para captar sólo las señales de los microtemblores o vibraciones ambientales del punto 4.

Figura 89

Determinación de la curva H/V del punto 4



Nota. La figura muestra las 14 ventanas seleccionadas para la determinación de la curva H/V en el software Geopsy.

Se realizó una configuración dentro del software Geopsy para longitudes de ventanas de 10 segundos y 14 ventanas seleccionadas para generar una curva H/V con una señal más limpia y clara, eliminando las curvas que se generaron por alteraciones externas.

Figura 90

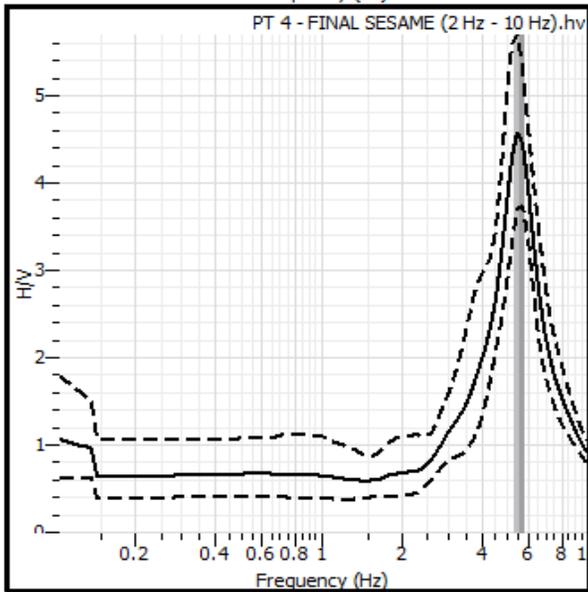
Resultados obtenidos de la curva H/V del punto 4

```
PT 4 - FINAL SESAME (2 Hz - 10 Hz).hv  
f0=5.56819 [5.31893, 5.82913]  
A0=4.54396 [3.69677, 5.58707]  
Category: Default
```

Nota. La figura muestra la frecuencia peak de H/V, frecuencia mínima y máxima, el peak de la amplitud H/V, amplitud mínima y amplitud máxima obtenida en Geopsy.

Figura 91

Curvas H/V máxima, media y mínima del punto 4



Nota. Elaboración propia

4.9.3 Evaluación SESAME

Los datos del punto 4 que se emplearán para la verificación de los criterios SESAME.

Tabla 52

Resultados obtenidos del punto 4 en el software Geopsy

RESULTADOS OBTENIDOS EN GEOPSY			
f_o	Frecuencia peak de H/V.	=	5.56819 Hz
f^{min}	Frecuencia mínima.	=	5.31893 Hz
f^{max}	Frecuencia máxima.	=	5.82913 Hz
l_w	Longitud de ventana	=	10 s
n_w	Número de ventanas	=	14 ventanas
n_c	$l_w * n_w * f_o$ = Número de ciclos significativos	=	779.547 ciclos
A_o	Peak de amplitud de H/V a la frecuencia f_o .	=	4.54396 m
A_o^{min}	Amplitud mínima. Se asocia a la frecuencia f_o .	=	3.69677 m
A_o^{max}	Amplitud máxima. Se asocia a la frecuencia f_o .	=	5.582913 m
T_s	Periodo. Se asocia a la frecuencia f_o .	=	0.17959 s

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Se obtuvo como frecuencia peak de la curva H/V, 5.568 Hertz y un periodo de 0.18 segundos. Con el cumplimiento de estos 3 criterios podemos afirmar que la curva H/V generada en el software Geopsy del punto 4 es una curva confiable según la Evaluación SESAME.

Tabla 53

Criterios para curva confiable H/V del punto 4

CRITERIOS PARA CURVA CONFIABLE		CUMPLE	
		SI	NO
CRITERIO 1	$f_0 > \frac{10}{l_w}$	✓	
CRITERIO 2	$n_c(f_0) > 200$	✓	
CRITERIO 3	$\sigma_A(f) < 2$; para $0.5 f_0 < f < 2f_0$ si $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$; para $0.5 f_0 < f < 2f_0$ si $f_0 < 0.5\text{Hz}$	✓	

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Para el criterio 1. la frecuencia peak f_0 es mayor que el cociente entre 10 y la longitud de ventana de 10 segundos, en el criterio 2 el número de ciclos significativos de 779 es mayor a 200 y según el criterio 3, la desviación estándar de las amplitudes de las frecuencias es menor que 2, para una frecuencia peak f_0 de 5.57 Hz > 0.5 Hz. Con el cumplimiento de estos tres criterios se puede afirmar que la curva H/V generada en Geopsy es correcta.

Se comprobó también que el peak H/V claro del punto 4 según la evaluación SESAME, debe cumplir por lo menos 5 de los 6 criterios que se muestran a continuación:

Tabla 54

Criterios para peak H/V Claro del punto 4

PEAK H/V CLARO		CUMPLE	
		SI	NO
CRITERIO 1	$\exists f^- \in \left[\frac{f_0}{4}, f_0\right] \mid \frac{A_H}{V}(f^-) < \frac{A_0}{2}$	✓	
CRITERIO 2	$\exists f^+ \in [f_0, 4 * f_0] \mid \frac{A_H}{V}(f^+) < \frac{A_0}{2}$	✓	
CRITERIO 3	$A_0 > 2$	✓	
CRITERIO 4	$f_{peak} * \left[\frac{A_H}{V}(f) \pm \sigma_A(f) \right] = f_0 \pm 5\%$		✗
CRITERIO 5	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	✓	
CRITERIO 6	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	✓	

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 55

Valores umbral f y A(f0) para punto 4

Rango de Frecuencia (Hz)	> 2.0	5.57
e (f0) (Hz)	0.05*fo	0.279
q (f0) de s A (f0)	1.58	1.58

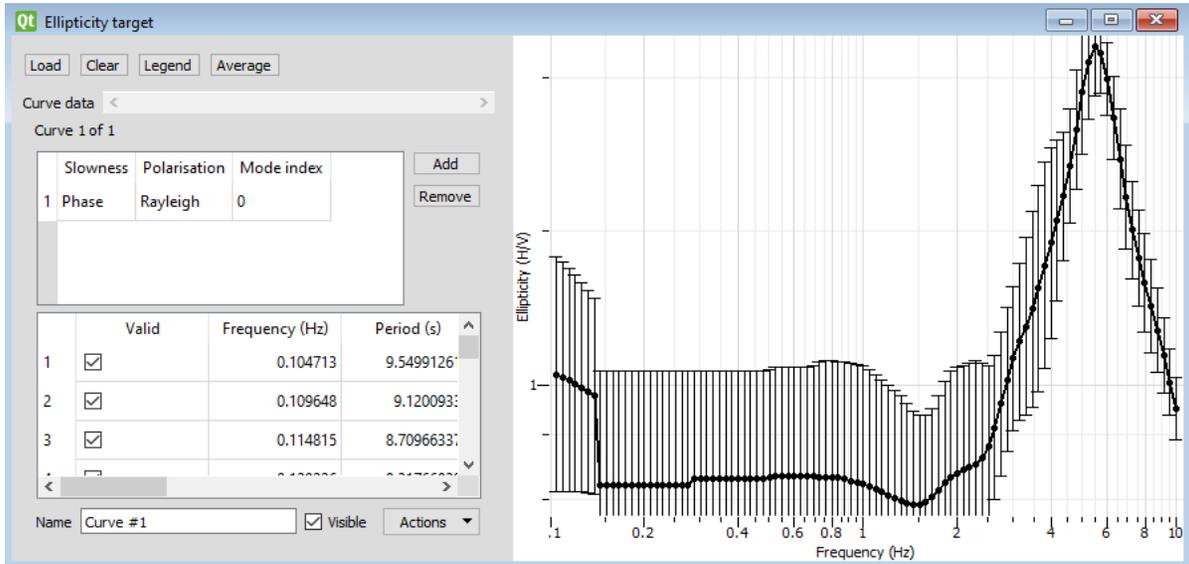
Fuente: Elaboración Propia (2023)

4.9.4 Inversión de la curva H/V en Geopsy Dinver

Se importan los datos a través de la curva elíptica, el cual es uno de los objetivos (targets), una vez importados en Geopsy Dinver los datos de la curva H/V del punto 4.

Figura 92

Inversión de curva de razón espectral H/V del punto 4



Nota. La figura muestra la gráfica de la inversa de la curva H/V del punto 4 en el software Geopsy Dinver.

Se introduce manualmente los parámetros geotécnicos para obtener la estratigrafía del suelo del punto 4, analizando un total de 3 estratos y considerando el basamento rocoso. Se definen los parámetros de velocidad de onda de compresión V_p (m/s), V_s (m/s), módulo de Poisson (ν) y densidad ρ (kg/m³), se vinculan los valores de V_p , ν y ρ a la velocidad de onda de corte V_s . El software Geopsy Dinver, realiza un número definido de pruebas (Runs), con el objetivo de disminuir el margen de error (Min misfit). Se asigna un total de 15 Runs, con el fin de obtener una estimación más precisa.

Figura 93

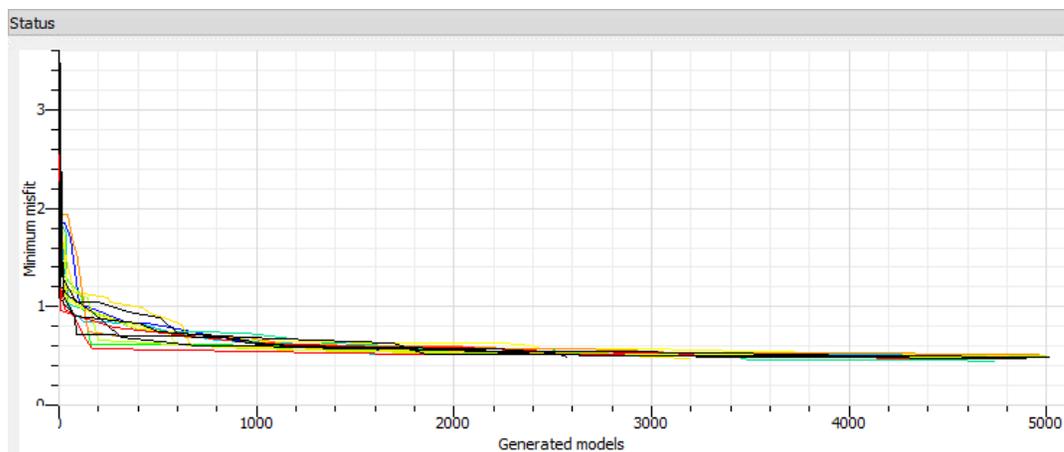
Runs asignados para el punto 4

	Run name	Itmax	Ns0	Ns	Nr	Seed	GiveUp	Nw
1	run_01	100	50	50	50	31250	90	2
2	run_02	100	50	50	50	31635	90	2
3	run_03	100	50	50	50	21810	90	2
4	run_04	100	50	50	50	32542	90	2
5	run_05	100	50	50	50	10610	90	2
6	run_06	100	50	50	50	3295	90	2
7	run_07	100	50	50	50	27463	90	2
8	run_08	100	50	50	50	26165	90	2
9	run_09	100	50	50	50	25195	90	2
10	run_10	100	50	50	50	22646	90	2
11	run_11	101	50	50	50	24892	90	2
12	run_12	100	50	50	50	17767	90	2
13	run_13	100	50	50	50	8158	90	2
14	run_14	100	50	50	50	13382	90	2
15	run_15	100	50	50	50	8598	90	2

Nota. Geopsy Dinver. Elaboración propia

Figura 94

Gráfica del Status generados del margen de error



Nota. La figura muestra las 15 iteraciones realizadas y la disminución de los errores.

Figura 95

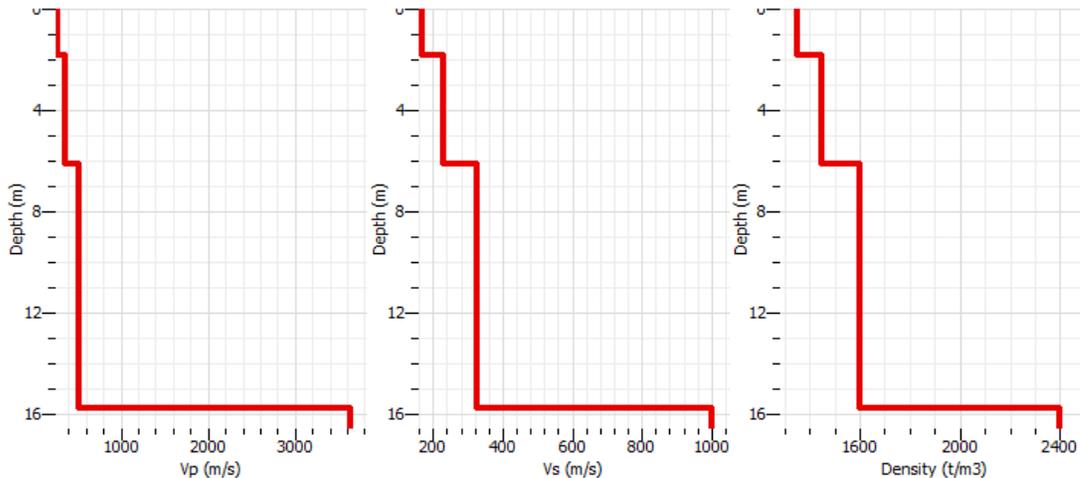
Resultados del punto 4 obtenidos en Geopsy Dinver

	Pen	Run name	Min misfit	Valid models	Active models	Visited models	Rate	Eff. Nr	Rejected	Give up
1		run_01	0.482005	5050/5050	1995	5299	0 m/s	50 m	17 m	0 m
2		run_02	0.47031	5050/5050	1998	5305	0 m/s	50 m	24 m	0 m
3		run_03	0.450094	5050/5050	1952	5303	0 m/s	50 m	31 m	0 m
4		run_04	0.487178	5050/5050	2088	5297	0 m/s	50 m	28 m	0 m
5		run_05	0.492758	5050/5050	2139	5271	0 m/s	50 m	12 m	0 m
6		run_06	0.487088	5050/5050	2193	5274	0 m/s	50 m	8 m	0 m
7		run_07	0.504135	5050/5050	2048	5282	0 m/s	50 m	10 m	0 m
8		run_08	0.479026	5050/5050	2163	5270	0 m/s	50 m	6 m	0 m
9		run_09	0.522598	5050/5050	2072	5301	0 m/s	50 m	9 m	0 m
10		run_10	0.495957	5050/5050	1952	5277	0 m/s	50 m	12 m	0 m
11		run_11	0.475633	5100/5100	2113	5366	0 m/s	50 m	37 m	0 m
12		run_12	0.476324	5050/5050	2140	5281	0 m/s	50 m	8 m	0 m
13		run_13	0.485651	5050/5050	2003	5300	0 m/s	50 m	13 m	0 m
14		run_14	0.498077	5050/5050	2154	5278	0 m/s	50 m	11 m	0 m
15		run_15	0.486494	5050/5050	2094	5275	255....	50 m	0 m/m	0 m

Nota. Se obtuvo un margen de error mínimo de 0.450094

Figura 96

Perfil de suelo del punto 4



Nota. Considerando un valor de margen de error (Min misfit) de 0.450094.

A partir del segundo perfil de suelo generado en Geopsy Dinver por las velocidades de ondas de corte V_s (m/s), se extraen estas mismas velocidades para

diferentes alturas donde se produce un cambio notorio hasta llegar a una profundidad de 30 metros.

Tabla 56

Resultados obtenidos del software Geopsy Dinver

Estrato	Espesor	Vp	Vs	Densidad
1	1.798709603	266.6163844	167.7404608	1350
2	4.319190894	360.3031584	229.5796757	1450
3	9.63082087	520.4715084	327.1941258	1600
4	0	3629.188305	999.2405331	2400

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Se procede a calcular la velocidad promedio de las ondas de corte, Vs, según la norma E030 Diseño Sismorresistente, en el capítulo 12.2, a través de la siguiente fórmula:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{V_{si}} \right)}$$

Tabla 57

Determinación de la velocidad de onda de corte a 30 metros

Estrato	Profundidad		Vs (m/s)	Hi	Hi/Vsi
	Zi (m)	Zf (m)			
1	0	1.798709603	167.7404608	1.798710	0.010723
2	1.798709603	6.117900497	229.5796757	4.319191	0.018813
3	6.117900497	15.74872137	327.1941258	9.630821	0.029435
4	15.74872137	30.00000	999.2405331	14.25128	0.014262
				30.0000	0.07323
				Vs₃₀=	409.65 m/s

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Finalmente se obtuvo en el punto 4, una velocidad promedio de ondas de corte a 30 metros de 409.65 m/s, clasificándolo según la norma E030 Diseño Sismorresistente en su capítulo 12.1.4 como un Suelo Intermedio S2

Tabla 58

Clasificación del perfil de suelo del punto 4

CLASIFICACIÓN DEL PERFIL DE SUELO DEL PUNTO 4			
Perfil	Tipo de Suelo	Vs	Vs₃₀
S0	Roca Dura	> 1500 m/s	
S1	Roca o Suelos Muy Rígidos	500 m/s a 1500 m/s	
S2	Suelos Intermedios	180 m/s a 500 m/s	409.65 m/s
S3	Suelos Blandos	< 180 m/s	
S4	Condiciones Excepcionales	Clasificación basada en el EMS	

Fuente: E030 Diseño Sismorresistente, capítulo 12.1.4

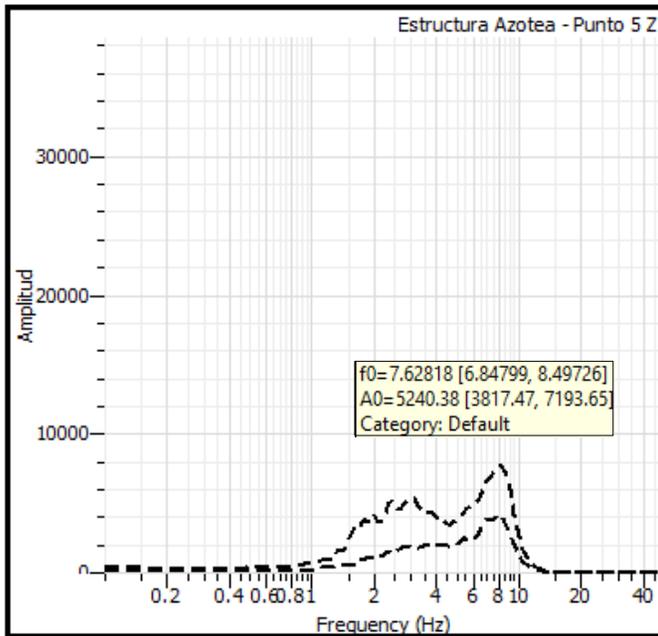
4.10 Ensayo en Estructura – Punto 5

4.10.1 Generación de espectros resultantes en el software Geopsy

Se importarán las vibraciones ambientales de la estructura del punto 5 (Azotea) al software Geopsy, obteniendo la información de sus tres componentes (2 horizontales y 1 vertical), donde se registraron 108 000 muestras en 3 minutos de duración del ensayo. Configuramos un filtro paso banda de 1.00 Hz a 10.00 Hz para captar sólo las señales de los microtemblores o vibraciones ambientales en este punto, con ventanas de 5 segundos y obtener los siguientes resultados en los ejes Norte (N), Este © y Vertical (Z).

Figura 97

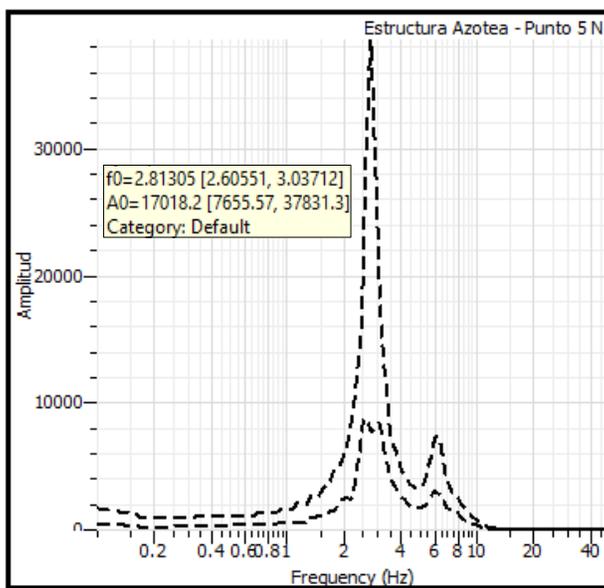
Espectro resultante en Z, del punto 5 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

Figura 98

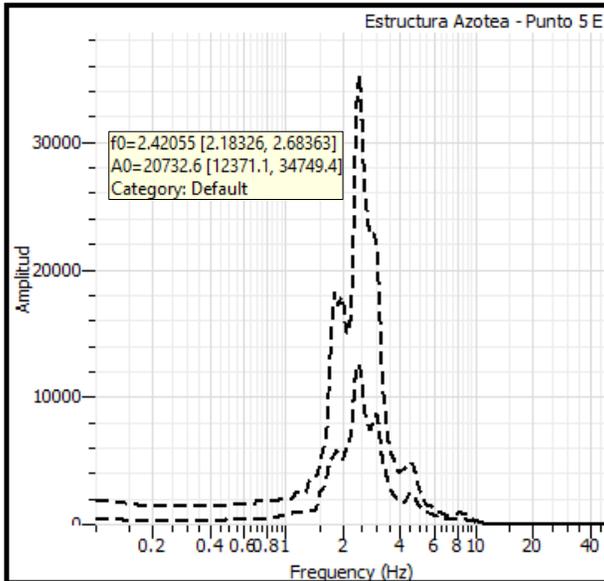
Espectro resultante en Norte, del punto 5 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

Figura 99

Espectro resultante en Este, del punto 5 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

4.10.2 Determinación de periodos de vibración del punto

Los periodos de vibración fueron obtenidos a través de las frecuencias del ensayo de vibración ambiental en el punto 5 (Azotea).

Tabla 59

Periodos de la estructura en el punto 5

Ensayo de Vibración Ambiental en Punto 5			
Modo	Dirección	Frecuencia f (Hz)	Periodo T (s)
Transversal	Este	2.42055	0.4131
Longitudinal	Norte	2.81305	0.3555
Rotacional	Vertical	7.62818	0.1311

Fuente: Elaboración propia

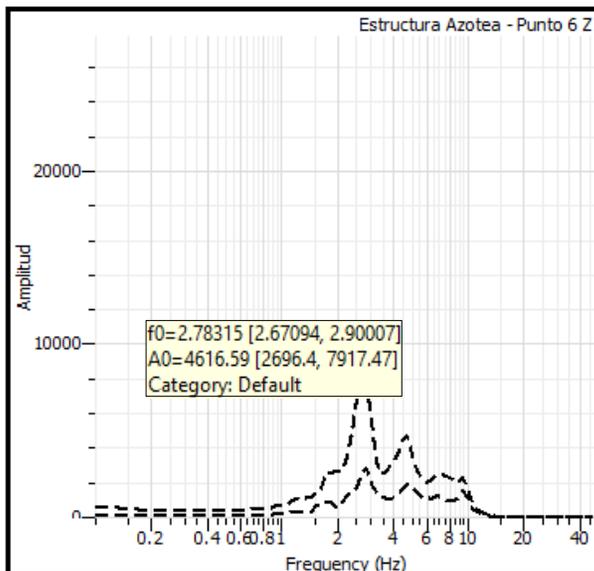
4.11 Ensayo en Estructura – Punto 6

4.11.1 Generación de espectros resultantes en el software Geopsy

Se importarán las vibraciones ambientales de la estructura del punto 6 (Azotea) al software Geopsy, obteniendo la información de sus tres componentes (2 horizontales y 1 vertical), donde se registraron 108 000 muestras en 3 minutos de duración del ensayo. Configuramos un filtro paso banda de 1.00 Hz a 10.00 Hz para captar sólo las señales de los microtemblores o vibraciones ambientales en este punto, con ventanas de 5 segundos y obtener los siguientes resultados en los ejes Norte (N), Este © y Vertical (Z).

Figura 100

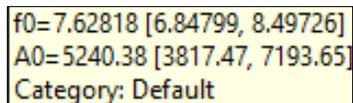
Espectro resultante en Z, del punto 6 en estructura

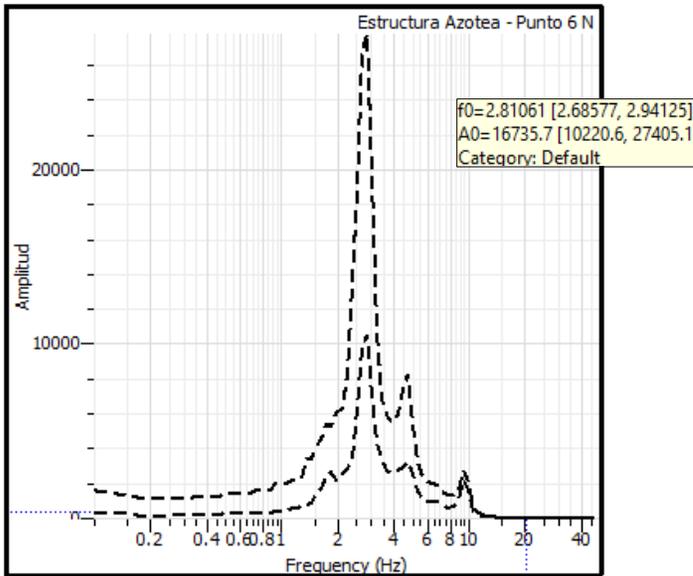


Nota. Geopsy. Elaboración Propia

Figura 101

Espectro resultante en Norte, del punto 6 en estructura

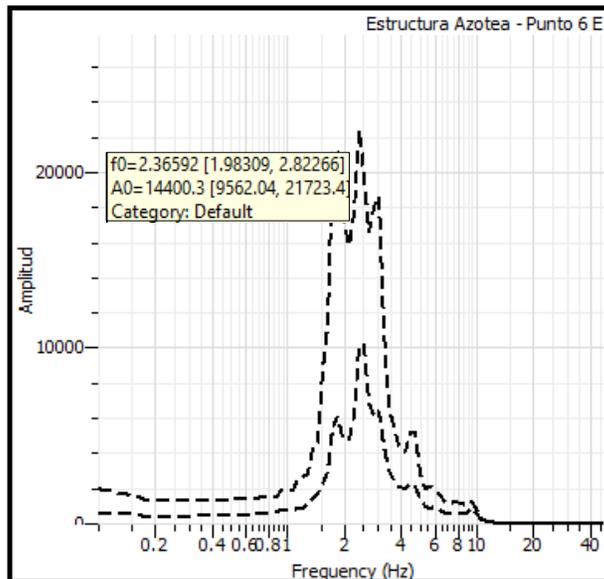




Nota. Geopsy. Elaboración Propia

Figura 102

Espectro resultante en Este, del punto 6 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

4.11.2 Determinación de periodos de vibración del punto 6

Los periodos de vibración fueron obtenidos a través de las frecuencias del ensayo de vibración ambiental en el punto 6 (Azotea).

Tabla 60*Periodos de la estructura en el punto 6*

Ensayo de Vibración Ambiental en Punto 6			
Modo	Dirección	Frecuencia f (Hz)	Periodo T (s)
Transversal	Este	2.36592	0.4227
Longitudinal	Norte	2.81061	0.3558
Rotacional	Vertical	2.78315	0.3593

Fuente: Elaboración propia

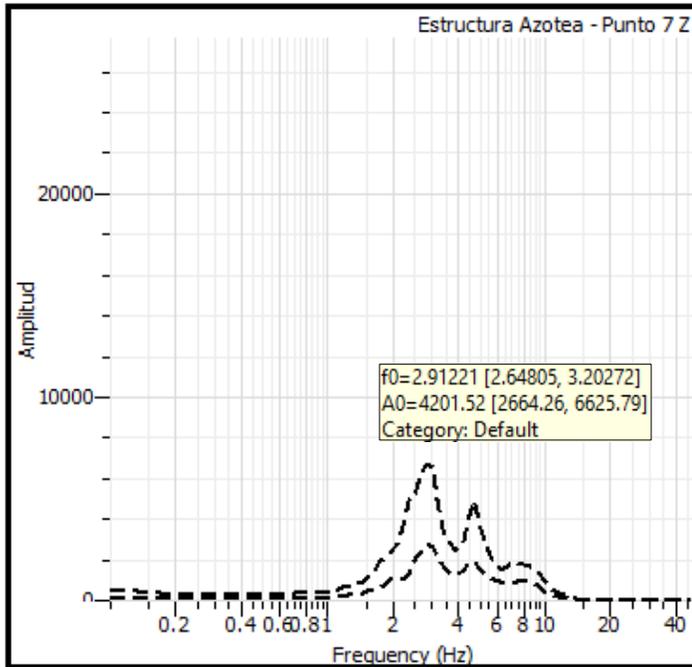
4.12 Ensayo en Estructura – Punto 7

4.12.1 Generación de espectros resultantes en el software Geopsy

Se importarán las vibraciones ambientales de la estructura del punto 7 (Azotea) al software Geopsy, obteniendo la información de sus tres componentes (2 horizontales y 1 vertical), donde se registraron 108 000 muestras en 3 minutos de duración del ensayo. Configuramos un filtro paso banda de 1.00 Hz a 10.00 Hz para captar sólo las señales de los microtemblores o vibraciones ambientales en este punto, con ventanas de 5 segundos y obtener los siguientes resultados en los ejes Norte (N), Este © y Vertical (Z).

Figura 103

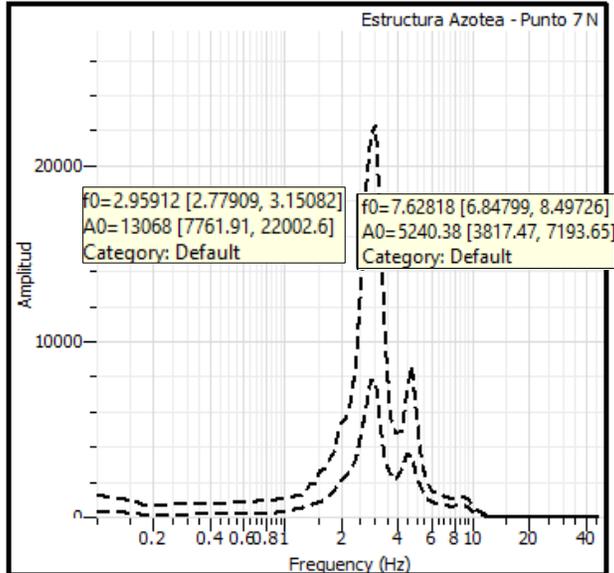
Espectro resultante en Z, del punto 7 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

Figura 104

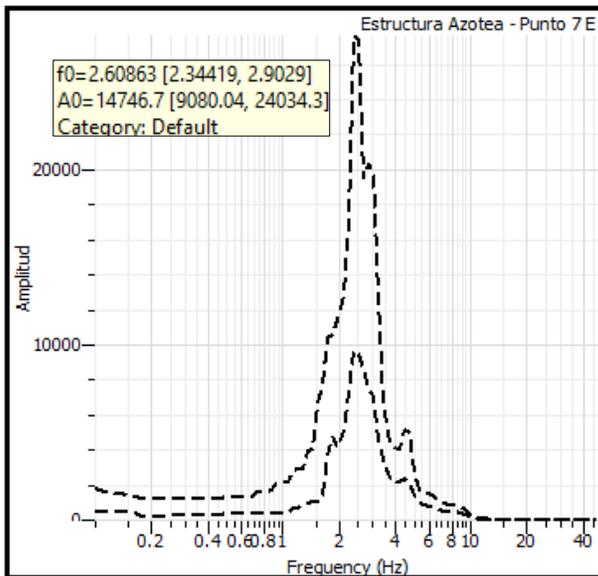
Espectro resultante en Norte, del punto 7 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

Figura 105

Espectro resultante en Este, del punto 7 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

4.12.2 Determinación de periodos de vibración del punto 7

Los periodos de vibración fueron obtenidos a través de las frecuencias del ensayo de vibración ambiental en el punto 7 (Azotea).

Tabla 61

Periodos de la estructura en el punto 7

Ensayo de Vibración Ambiental en Punto 7			
Modo	Dirección	Frecuencia f (Hz)	Periodo T (s)
Transversal	Este	2.60863	0.3833
Longitudinal	Norte	2.95912	0.3379
Rotacional	Vertical	2.91221	0.3434

Fuente: Elaboración propia

4.13 Ensayo en Estructura – Punto 8

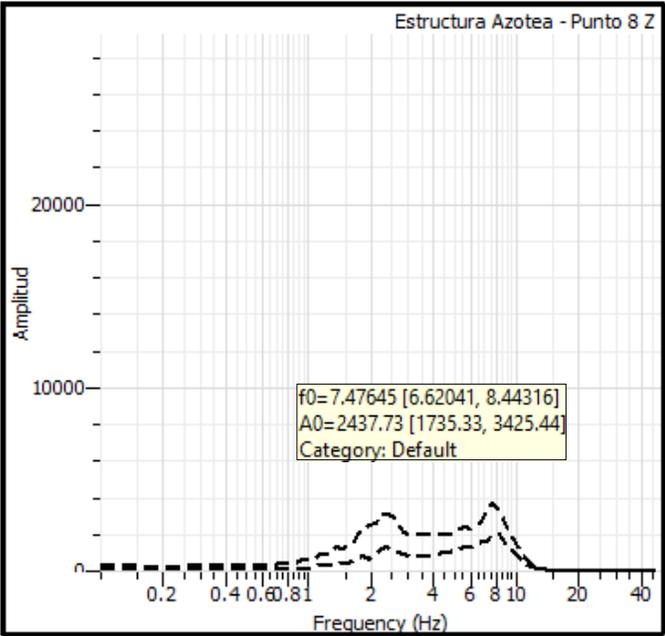
4.13.1 Generación de espectros resultantes en el software Geopsy

Se importarán las vibraciones ambientales de la estructura del punto 8 (Azotea) al software Geopsy, obteniendo la información de sus tres componentes (2

horizontales y 1 vertical), donde se registraron 108 000 muestras en 3 minutos de duración del ensayo. Configuramos un filtro paso banda de 1.00 Hz a 10.00 Hz para captar sólo las señales de los microtemblores o vibraciones ambientales en este punto, con ventanas de 5 segundos y obtener los siguientes resultados en los ejes Norte (N), Este © y Vertical (Z).

Figura 106

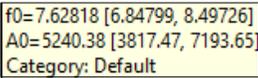
Espectro resultante en Z, del punto 8 en estructura

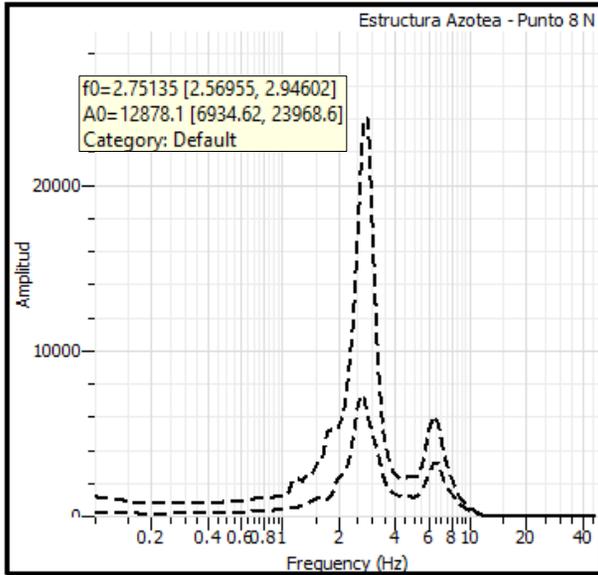


Nota. Geopsy. Elaboración Propia

Figura 107

Espectro resultante en Norte, del punto 8 en estructura

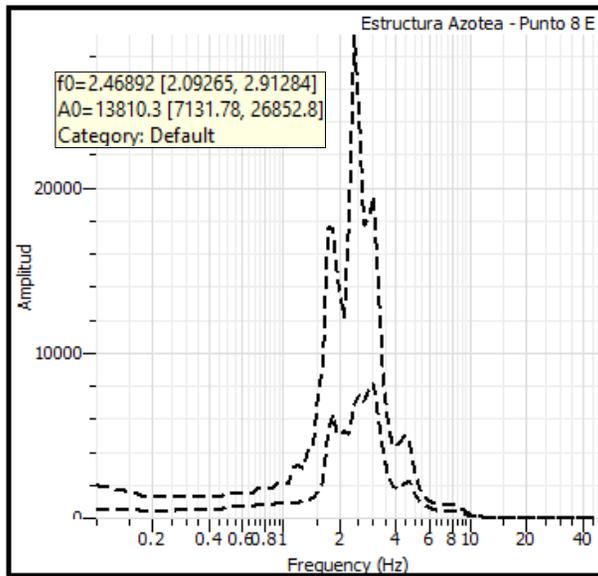




Nota. Geopsy. Elaboración Propia

Figura 108

Espectro resultante en Este, del punto 8 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

4.13.2 Determinación de periodos de vibración del punto 8

Los periodos de vibración fueron obtenidos a través de las frecuencias del ensayo de vibración ambiental en el punto 8 (Azotea).

Tabla 62

Periodos de la estructura en el punto 8

Ensayo de Vibración Ambiental en Punto 8			
Modo	Dirección	Frecuencia f (Hz)	Periodo T (s)
Transversal	Este	2.46892	0.4050
Longitudinal	Norte	2.75135	0.3635
Rotacional	Vertical	7.47645	0.1338

Fuente: Elaboración propia

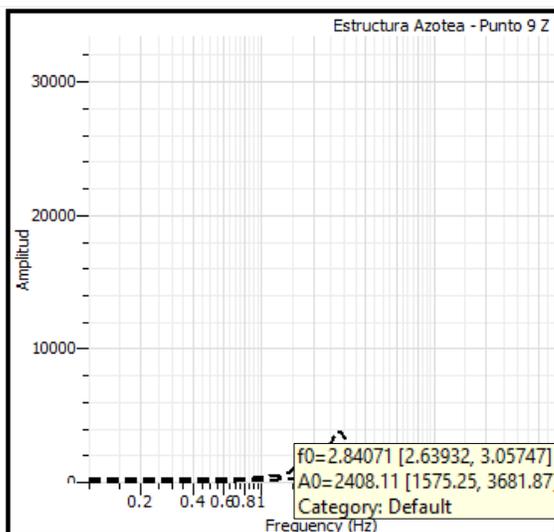
4.14 Ensayo en Estructura – Punto 9

4.14.1 Generación de espectros resultantes en el software Geopsy

Se importarán las vibraciones ambientales de la estructura del punto 9 (Azotea) al software Geopsy, obteniendo la información de sus tres componentes (2 horizontales y 1 vertical), donde se registraron 108 000 muestras en 3 minutos de duración del ensayo. Configuramos un filtro paso banda de 1.00 Hz a 10.00 Hz para captar sólo las señales de los microtemblores o vibraciones ambientales en este punto, con ventanas de 5 segundos y obtener los siguientes resultados en los ejes Norte (N), Este © y Vertical (Z).

Figura 109

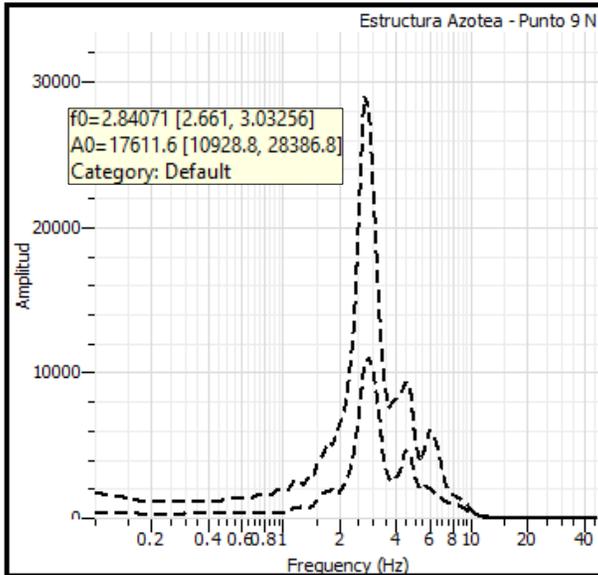
Espectro resultante en Z, del punto 9 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

Figura 110

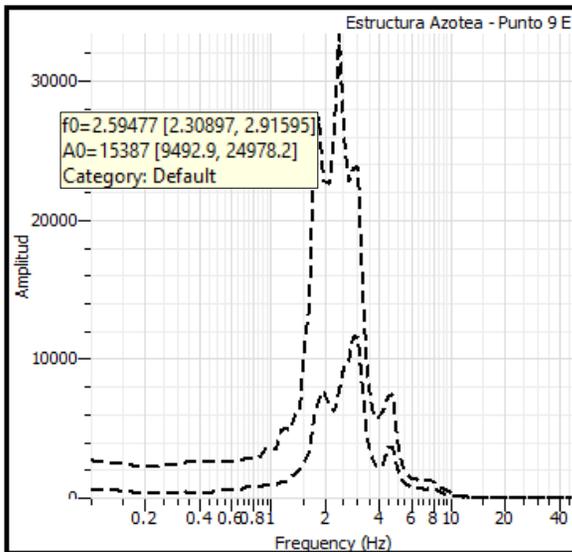
Espectro resultante en Norte, del punto 9 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

Figura 111

Espectro resultante en Este, del punto 9 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

4.14.2 Determinación de periodos de vibración del punto 9

Los periodos de vibración fueron obtenidos a través de las frecuencias del ensayo de vibración ambiental en el punto 9 (Azotea).

Tabla 63

Periodos de la estructura en el punto 9

Ensayo de Vibración Ambiental en Punto 9			
Modo	Dirección	Frecuencia f (Hz)	Periodo T (s)
Transversal	Este	2.59477	0.3854
Longitudinal	Norte	2.84071	0.3520
Rotacional	Vertical	2.84071	0.3520

Fuente: Elaboración propia

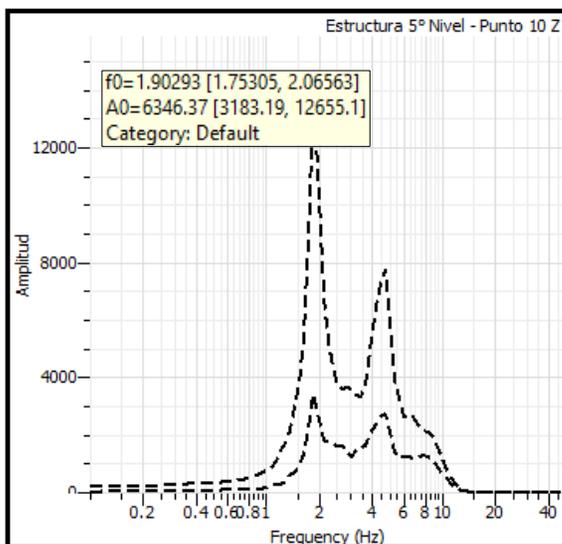
4.15 Ensayo en Estructura – Punto 10

4.15.1 Generación de espectros resultantes en el software Geopsy

Se importarán las vibraciones ambientales de la estructura del punto 10 (Quinto Piso) al software Geopsy, obteniendo la información de sus tres componentes (2 horizontales y 1 vertical), donde se registraron 108 000 muestras en 3 minutos de duración del ensayo. Configuramos un filtro paso banda de 1.00 Hz a 10.00 Hz para captar sólo las señales de los microtemblores o vibraciones ambientales en este punto, con ventanas de 10 segundos y obtener los siguientes resultados en los ejes Norte (N), Este © y Vertical (Z).

Figura 112

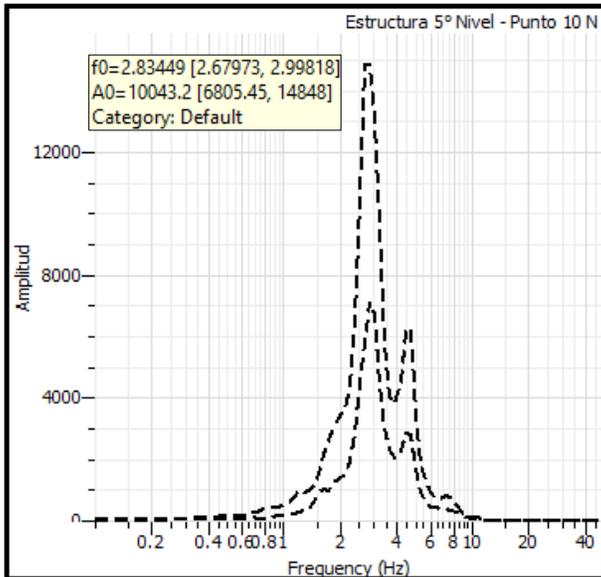
Espectro resultante en Z, del punto 10 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

Figura 113

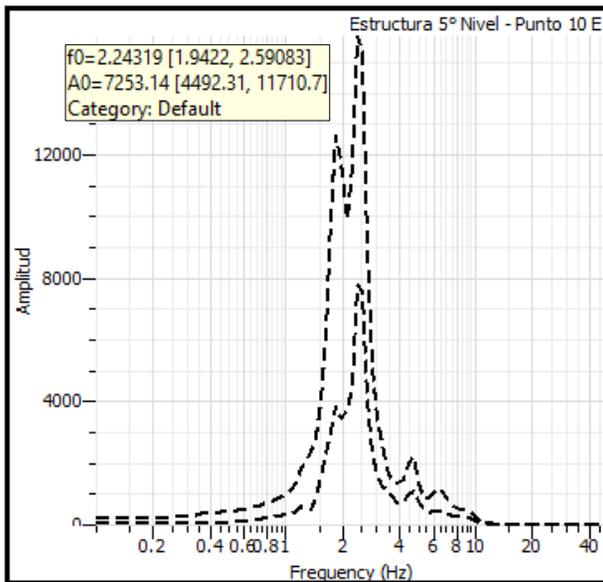
Espectro resultante en Norte, del punto 10 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

Figura 114

Espectro resultante en Este, del punto 10 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

4.15.2 Determinación de periodos de vibración del punto 10

Los periodos de vibración fueron obtenidos a través de las frecuencias del ensayo de vibración ambiental en el punto 10 (Quinto Piso).

Tabla 64

Periodos de la estructura en el punto 10

Ensayo de Vibración Ambiental en Punto 10			
Modo	Dirección	Frecuencia f (Hz)	Periodo T (s)
Transversal	Este	2.24319	0.4458
Longitudinal	Norte	2.83449	0.3528
Rotacional	Vertical	1.90293	0.5255

Fuente: Elaboración propia

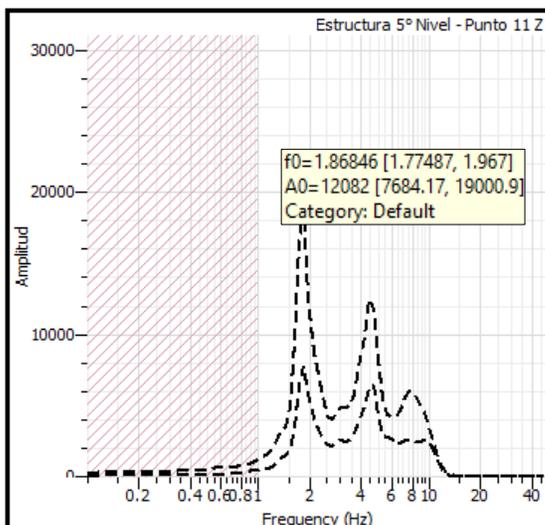
4.16 Ensayo en Estructura – Punto 11

4.16.1 Generación de espectros resultantes en el software Geopsy

Se importarán las vibraciones ambientales de la estructura del punto 11 (Quinto Piso) al software Geopsy, obteniendo la información de sus tres componentes (2 horizontales y 1 vertical), donde se registraron 108 000 muestras en 3 minutos de duración del ensayo. Configuramos un filtro paso banda de 1.00 Hz a 10.00 Hz para captar sólo las señales de los microtemblores o vibraciones ambientales en este punto, con ventanas de 10 segundos y obtener los siguientes resultados en los ejes Norte (N), Este (E) y Vertical (Z).

Figura 115

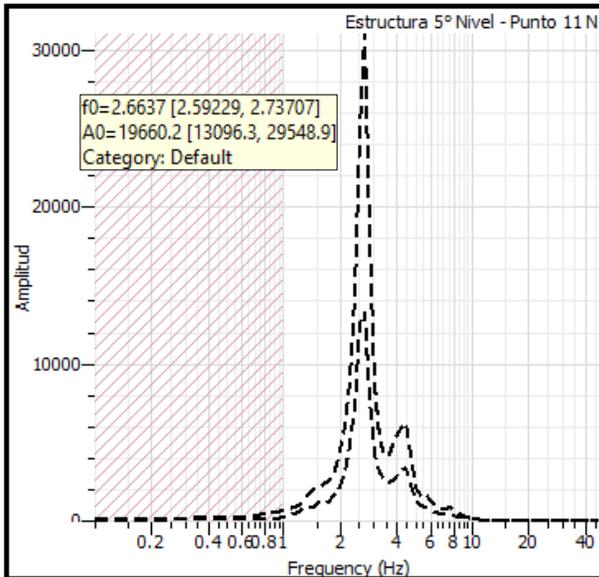
Espectro resultante en Z, del punto 11 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

Figura 116

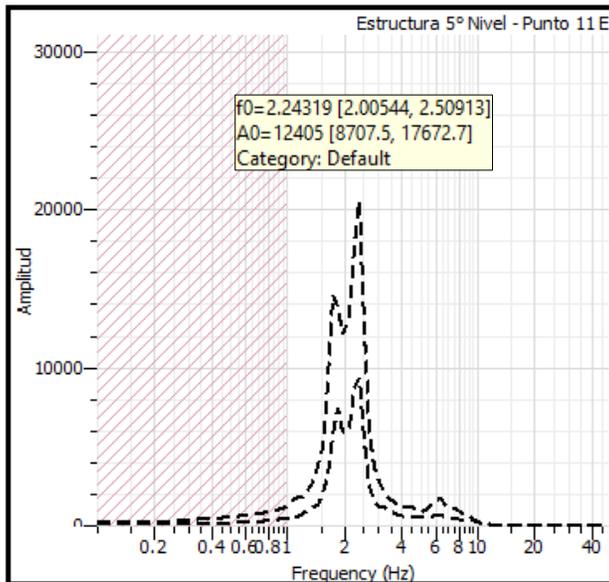
Espectro resultante en Norte, del punto 11 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

Figura 117

Espectro resultante en Este, del punto 11 en estructura



Nota. Geopsy. Elaboración Propia

4.16.2 Determinación de periodos de vibración del punto 11

Los periodos de vibración fueron obtenidos a través de las frecuencias del ensayo de vibración ambiental en el punto 11 (Quinto Piso).

Tabla 65

Periodos de la estructura en el punto 11

Ensayo de Vibración Ambiental en Punto 11			
Modo	Dirección	Frecuencia f (Hz)	Periodo T (s)
Transversal	Este	2.24319	0.4458
Longitudinal	Norte	2.66370	0.3754
Rotacional	Vertical	1.86846	0.5352

Fuente: Elaboración propia

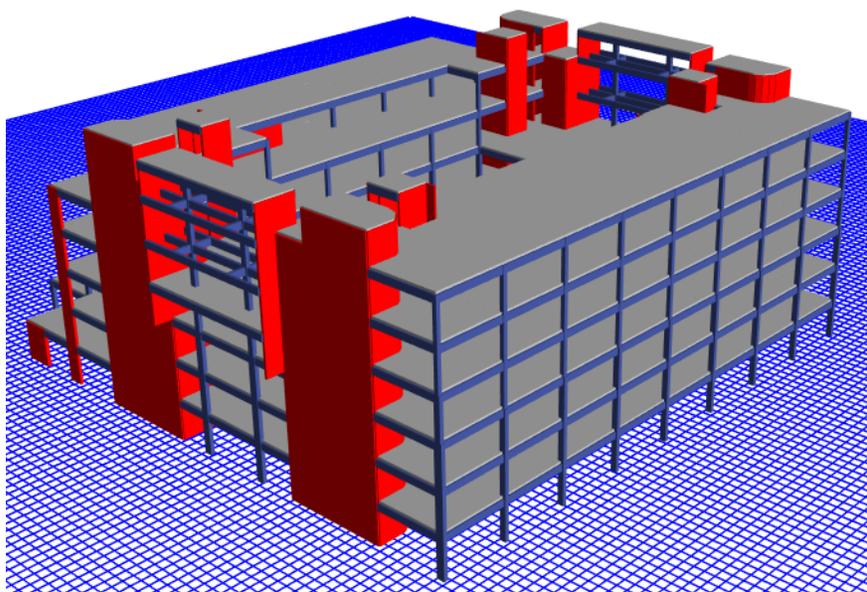
4.17 Análisis Estático Lineal

4.17.1 Modelado de la estructura en Etabs

Se realizó el modelado de la estructura completa del bloque C y F de seis niveles del Hospital Regional de Lambayeque en el software Etabs v.2018 conforme a los planos estructurales y a las especificaciones de la memoria descriptiva, obtenidos del expediente técnico del proyecto.

Figura 118

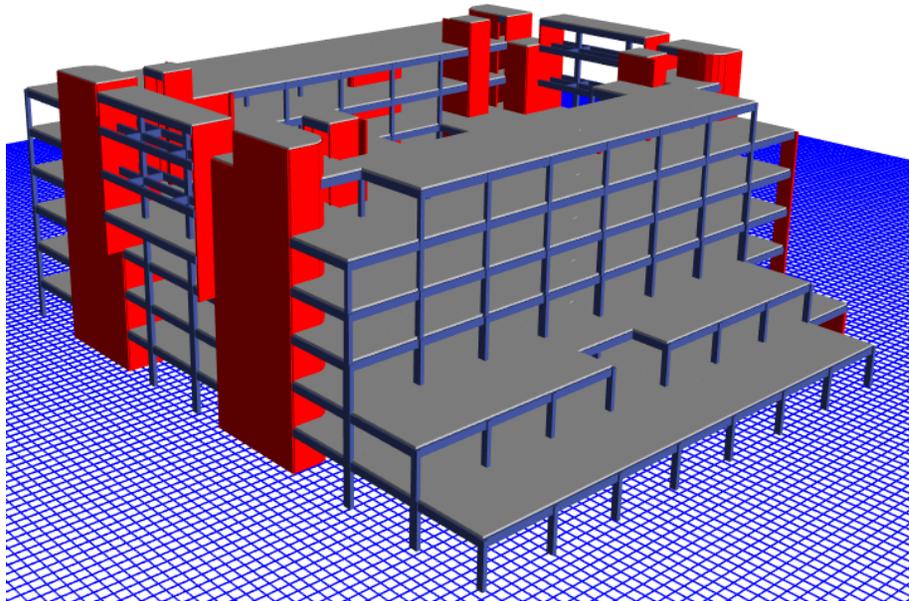
Vista frontal del Hospital Regional de Lambayeque



Nota. *Bloque C y F del Hospital Regional de Lambayeque. Elaboración Propia*

Figura 119

Vista posterior del Hospital Regional de Lambayeque



Nota. Bloque C y F del Hospital Regional de Lambayeque. Elaboración Propia

4.17.2 Parámetros Sísmicos

Se determinó los parámetros sísmicos de acuerdo a la norma E.030 Diseño Sismorresistente del 2019, obteniendo los siguientes datos:

Factor de Zona

Capítulo II, Artículo 10.2 de la norma E.030, se obtuvo el factor de zona considerando la ubicación del Hospital Regional de Lambayeque.

Tabla 66

Ubicación del Proyecto para la determinación del factor Z

Ubicación del Proyecto	
Región	Lambayeque
Provincia	Chiclayo
Distrito	Lambayeque

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67*Factor de Zona (Z)*

Factor de Zona	
Zona	Factor Z
4	0.45

Fuente: Elaboración propia

b. Factor de Uso

Capítulo III, Artículo 15 de la norma E.030, se obtuvo el factor de uso considerando al Hospital Regional de Lambayeque dentro de la categoría A.

Tabla 68*Factor de Uso (U)*

Factor de Uso		
Tipo de Edificación	Categoría	Factor U
Esencial	A	1.5

Fuente: Elaboración propia

Factor de Suelo

Capítulo II, Artículo 12.1 de la norma E.030, se obtuvo el factor de suelo considerando el perfil estratigráfico obtenido con el procesamiento de datos del ensayo de vibración ambiental realizado en el Hospital Regional de Lambayeque.

Tabla 69*Factor de Suelo (S)*

Factor de Suelo		
Tipo de Suelo	Categoría	Factor S
Suelos Intermedios	S2	1.05

Fuente: Elaboración propia

Periodos “T_P” y “T_L”

Capítulo II, Artículo 13 de la norma E.030, se obtuvo el periodo que define la plataforma del factor C (T_P) y el periodo que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante (T_L).

Tabla 70

Periodos T_P y T_L

Periodos	
T _P	0.6 segundos
T _L	2.0 segundos

Fuente: Elaboración propia

Periodo Fundamental de Vibración (T)

Se han determinado el periodo fundamental de la estructura en X y Y, mediante el programa Etabs y se realizó una comparación con los periodos obtenidos con el ensayo de vibración ambiental en estructura.

Tabla 71

Periodo Fundamental de Vibración de la Estructura en Etabs

Periodo Fundamental de Vibración de la Estructura	
Eje	Periodo
T _p	0.469 segundos
T _l	0.354 segundos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72

Periodos de Vibración de la Estructura del ensayo

Periodos obtenidos del Ensayo de Vibración Ambiental en Estructura								
Modo	Dirección	N°5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10	N° 11
Transversal	Este	0.4131	0.4227	0.3833	0.405	0.3854	0.4458	0.4458
Longitudinal	Norte	0.3555	0.3558	0.3379	0.3635	0.3520	0.3528	0.3754
Rotacional	Vertical	0.1311	0.3593	0.3434	0.1338	0.3520	0.5255	0.5352

Fuente: Elaboración propia

Factor de Amplificación Sísmica

Capítulo II, Artículo 14 de la norma E.030, se obtuvo el factor de amplificación sísmica en relación a $T < T_P$.

Tabla 73

Factor de Amplificación Sísmica

Factor de Amplificación Sísmica	
Eje	Factor C
X	2.50
Y	2.50

Fuente: Elaboración propia

f. Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas

Capítulo III, Artículo 22 de la norma E.030, Se han determinado este coeficiente mediante las irregularidades en planta y altura en cada eje, y un factor f_0 .

Tabla 74

Determinación de Sistema Estructural

Eje		Cortante			Sistema Estructural
		Basal	Muros de Corte	Columnas	
X	Tonf	7784.6	7495.0	273.18	Muros
	Porcentaje	100 %	96.28 %	3.51 %	Estructurales
Y	Tonf	6919.7	5304.7	388.0	Muros
	Porcentaje	100 %	76.66 %	5.61 %	Estructurales

Fuente: Elaboración propia

Tabla 75

Factor de Amplificación Sísmica

Coeficiente Básico de Reducción	
Eje	Factor R_0
X	6
Y	6

Fuente: Elaboración propia

g. Factores de Irregularidad (Ia, Ip)

Tabla 76

Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas

Irregularidad				
Irregularidad	Eje X	Tipo de Irregularidad	Eje Y	Tipo de Irregularidad
En Altura	0.80	Discontinuidad de elementos resistentes	0.90	Irregularidad de Masa
En Planta	0.85	Discontinuidad de diafragma	0.85	Discontinuidad de Diafragma

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 77

Peso de estructura

Peso de la Estructura	
Nivel	Peso (Tonf)
Azotea	340.57849
Piso 6	1923.82155
Piso 5	2369.61803
Piso 4	3000.29477
Piso 3	2968.1743
Piso 2	3541.48906
Piso 1	3781.2991
Peso Total	17925.2753

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 78

Cortante basal en "X"

Cortante Basal en X						
Factor "Z"	Factor "U"	Factor "C_x"	Factor "S"	R_x	P (Tonf)	V_x (Tonf)
0.45	1.5	2.50	1.05	4.08	17925.28	7784.64

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 79*Cortante basal en "Y"*

Cortante Basal en Y						
Factor "Z"	Factor "U"	Factor "C_y"	Factor "S"	R_y	P (Tonf)	V_y (Tonf)
0.45	1.5	2.50	1.05	4.59	17925.28	5919.68

Fuente: Elaboración propia (2023).

Distribución de Fuerza Sísmica en Altura**Tabla 80***Fuerza sísmica en altura*

Fuerza Sísmica en Altura						
Nivel	Peso (Tonf)	H_i	P_i*H_i^k	Factor α_i	F_{ix}	F_{iy}
7	340.58	27.300	9297.793	0.040	311.045	276.484
6	1923.82	24.300	46748.864	0.201	1563.917	1390.149
5	2369.62	20.250	47984.765	0.206	1605.262	1426.900
4	3000.29	16.200	48604.775	0.209	1626.004	1445.337
3	2968.17	12.150	36063.318	0.155	1206.447	1072.398
2	3541.49	8.100	28686.061	0.123	959.652	853.024
1	3781.30	4.050	15314.261	0.066	512.317	455.393
Total	17925.28		232699.837		7784.644	6919.683

Fuente: Elaboración propia (2023).

Distribución de Fuerza Cortante por entrepiso

Tabla 81*Fuerza cortante*

Distribución de Fuerza Cortante				
Nivel	Fix	Cortante X	Fiy	Cortante Y
7	311.045	311.045	276.484	276.484
6	1563.917	1874.962	1390.149	1666.633
5	1605.262	3480.224	1426.900	3093.532
4	1626.004	5106.228	1445.337	4538.869
3	1206.447	6312.675	1072.398	5611.267
2	959.652	7272.327	853.024	6464.291
1	512.317	7784.644	455.393	6919.683

Fuente: Elaboración propia (2023).

Verificación de Distorsión y Desplazamientos**Tabla 82***Distorsión en X*

Distorsión en X				
Nivel	Altura	Distorsión Elástica	Distorsión Inelástica	Cumple
Azotea	3	0.002273	0.007883	NO
Piso 6	4.05	0.002382	0.008261	NO
Piso 5	4.05	0.003052	0.010584	NO
Piso 4	4.05	0.002485	0.008618	NO
Piso 3	4.05	0.002297	0.007966	NO
Piso 2	4.05	0.001886	0.006541	SI
Piso 1	4.05	0.001253	0.004345	SI

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 83*Distorsión en Y*

Distorsión en Y				
Nivel	Altura	Distorsión Elástica	Distorsión Inelástica	Cumple
Piso 6	3	0.001201	0.004686	SI
Piso 5	4.05	0.001226	0.004783	SI
Piso 4	4.05	0.001322	0.005158	SI
Piso 3	4.05	0.001236	0.004822	SI
Piso 2	4.05	0.001039	0.004054	SI
Piso 1	4.05	0.000614	0.002396	SI
Piso 6	3	0.001201	0.004686	SI

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 84*Desplazamientos*

Desplazamientos			
Nivel	Altura	Δ_x Real (mm)	Δ_y Real (mm)
Azotea	3	56.628	31.200000
Piso 6	4.05	50.823	27.887000
Piso 5	4.05	41.574	22.867000
Piso 4	4.05	30.983	17.429000
Piso 3	4.05	20.854	12.152000
Piso 2	4.05	11.751	6.780000
Piso 1	4.05	5.011	2.511

Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura 120

Desplazamiento en X y Y



Fuente: Elaboración propia (2023).

4.18 Análisis Dinámico Lineal

Tabla 85

Determinación de Sistema Estructural

Eje		Cortante			Sistema Estructural
		Basal	Muros de Corte	Columnas	
X	Tonf	5538.7	5345.1	184.7	Muros Estructurales
	Porcentaje	100 %	96.50 %	3.51 %	
Y	Tonf	1888.9	1502.7	96.9	Muros Estructurales
	Porcentaje	100 %	79.55 %	5.13 %	

Fuente: Elaboración propia (2023)

Espectro de Diseño E030 – Diseño Sismorresistente**Tabla 86***Espectro de diseño*

Espectro de Diseño			
T	C	S_{aX}	S_{aY}
0.00	2.500	4.2603171	3.78694853
0.10	2.500	4.2603171	3.78694853
0.20	2.500	4.2603171	3.78694853
0.30	2.500	4.2603171	3.78694853
0.40	2.500	4.2603171	3.78694853
0.50	2.500	4.2603171	3.78694853
0.60	2.500	4.2603171	3.78694853
0.70	2.143	3.65170037	3.24595588
0.80	1.875	3.19523782	2.8402114
0.90	1.667	2.8402114	2.52463235
1.00	1.500	2.55619026	2.27216912
1.10	1.364	2.32380932	2.06560829
1.20	1.250	2.13015855	1.89347426

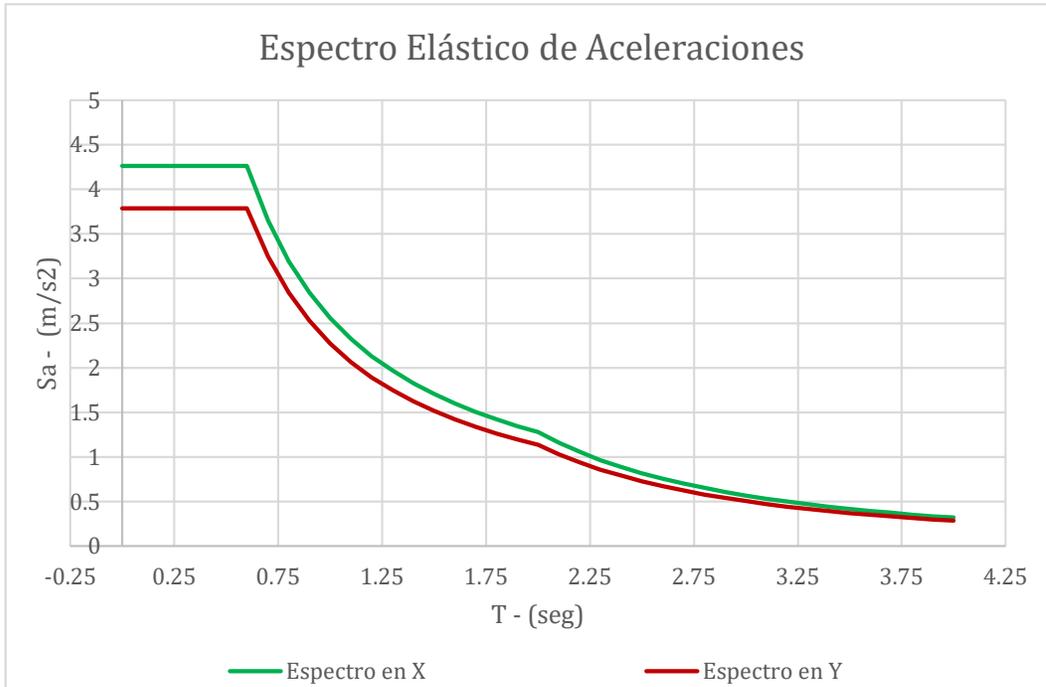
Espectro de Diseño			
T	C	S_{aX}	S_{aY}
1.30	1.154	1.9663002	1.7478224
1.40	1.071	1.82585018	1.62297794
1.50	1.000	1.70412684	1.51477941
1.60	0.938	1.59761891	1.4201057

1.70	0.882	1.50364133	1.33657007
1.80	0.833	1.4201057	1.26231618
1.90	0.789	1.34536329	1.19587848
2.00	0.750	1.27809513	1.13608456
2.10	0.680	1.15926996	1.03046218
2.20	0.620	1.05627697	0.93891286
2.30	0.567	0.96642354	0.85904314
2.40	0.521	0.88756606	0.78894761
2.50	0.480	0.81798088	0.72709412
2.60	0.444	0.75626931	0.67223938
2.70	0.412	0.70128676	0.62336601
2.80	0.383	0.65208935	0.57963498
2.90	0.357	0.60789305	0.54034937
3.00	0.333	0.56804228	0.50492647
3.10	0.312	0.53198549	0.47287599
3.20	0.293	0.49925591	0.44378303
3.30	0.275	0.46945643	0.4172946
3.40	0.260	0.44224745	0.39310884
3.50	0.245	0.41733718	0.37096639
3.60	0.231	0.39447381	0.35064338
3.70	0.219	0.37343904	0.33194582
3.80	0.208	0.35404297	0.31470486
3.90	0.197	0.33611969	0.29877306
4.00	0.188	0.31952378	0.28402114

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Figura 121

Espectro elástico de aceleraciones



Fuente: Elaboración Propia (2023).

Cortante Basal

Tabla 87

Cortante basal

Dirección	Cortante Basal (Tonf)		%	Estructura	Cumple
	ADL	AEL			$V_{Din} > 0.9 V_{Est}$
X	5538.66	7784.64	71.15%	Irregular	NO
Y	1888.87	5919.18	31.91%	Irregular	NO

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Se incrementará la cortante hasta cumplir los requerimientos.

Cortante Basal Escalada

Tabla 88

Cortante Basal Escalada

Cortante Basal Escalado			
Dirección	Cortante Basal (Tonf)	%	Cumple
	ADL		$V_{Din} > 0.9 V_{Est}$
X	7133.35	90.00%	SI
Y	6342.943	90.02%	SI

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Distribución de Fuerza Sísmica en Altura

Tabla 89

Fuerza Sísmica en Altura

Fuerza Sísmica en Altura						
Nivel	Peso (Tonf)	H_i	P_i*H_i^k	Factor α_i	F_{ix}	F_{iy}
7	340.58	27.300	9297.793	0.040	285.021	253.439
6	1923.82	24.300	46748.864	0.201	1433.074	1274.282
5	2369.62	20.250	47984.765	0.206	1470.960	1307.971
4	3000.29	16.200	48604.775	0.209	1489.966	1324.871
3	2968.17	12.150	36063.318	0.155	1105.511	983.0156
2	3541.49	8.100	28686.061	0.123	879.363	781.926
1	3781.30	4.050	15314.261	0.066	469.455	417.436
Total	17925.28		232699.837		7133.350	6342.943

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Distribución de Fuerza Cortante por entrepiso

Tabla 90

Fuerza Cortante

Distribución de Fuerza Cortante				
Nivel	Fix	Cortante X	Fiy	Cortante Y
7	285.021	285.021	253.440	253.440
6	1433.074	1718.095	1274.283	1527.722
5	1470.960	3189.055	1307.971	2835.693
4	1489.966	4679.021	1324.871	4160.565
3	1105.511	5784.532	983.016	5143.580
2	879.363	6663.896	781.926	5925.506
1	469.455	7133.350	417.437	6342.943

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 91

Modos de vibración, periodos y porcentajes

Modo	Periodo (s)	Masa Participativa (%)		
		UX	UY	RZ
1	0.471	67.1600%	0.0200%	0.0300%
2	0.357	0.0100%	62.7400%	6.6300%
3	0.301	0.0300%	6.4800%	62.1900%
4	0.163	0.0100%	0.0000%	0.0100%
5	0.142	0.0034%	0.0000%	0.0019%
6	0.142	0.0000%	0.0034%	0.0001%
7	0.136	0.8800%	0.0001%	0.0040%
8	0.124	18.7000%	0.0100%	0.5500%

9	0.12	3.2400%	0.0100%	0.1800%
10	0.112	0.0500%	0.0002%	0.0002%
11	0.102	0.0500%	19.8000%	2.3500%
12	0.1	0.0039%	0.0200%	0.0026%
13	0.094	0.0900%	0.0500%	0.0900%
14	0.086	0.0400%	2.2800%	18.7800%
15	0.084	0.0022%	0.0026%	0.0200%
16	0.084	0.0900%	0.0800%	0.8400%
17	0.075	0.0100%	0.0001%	0.0000%
18	0.065	0.0001%	0.0000%	0.0000%
19	0.065	0.0600%	0.0000%	0.0005%
20	0.06	6.1100%	0.0600%	0.2900%
21	0.052	0.1300%	4.8900%	0.4900%

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Verificación de Distorsión y Desplazamientos

Tabla 92

Distorsión X

Nivel	Altura	Distorsión en X		Cumple
		Distorsión Elástica	Distorsión Inelástica	
Azotea	3	0.002186	0.00758105	NO
Piso 6	4.05	0.002373	0.00822956	NO
Piso 5	4.05	0.003387	0.01174612	NO
Piso 4	4.05	0.002345	0.00813246	NO
Piso 3	4.05	0.002136	0.00740765	NO
Piso 2	4.05	0.001716	0.00595109	SI
Piso 1	4.05	0.001154	0.00400207	SI

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 93*Distorsión Y*

Distorsión en Y				
Nivel	Altura	Distorsión Elástica	Distorsión Inelástica	Cumple
Piso 6	3	0.001277	0.00498222	SI
Piso 5	4.05	0.001309	0.00510706	SI
Piso 4	4.05	0.001417	0.00552843	SI
Piso 3	4.05	0.001379	0.00538017	SI
Piso 2	4.05	0.001283	0.00500562	SI
Piso 1	4.05	0.001064	0.0041512	SI
Piso 6	3	0.000637	0.00248526	SI

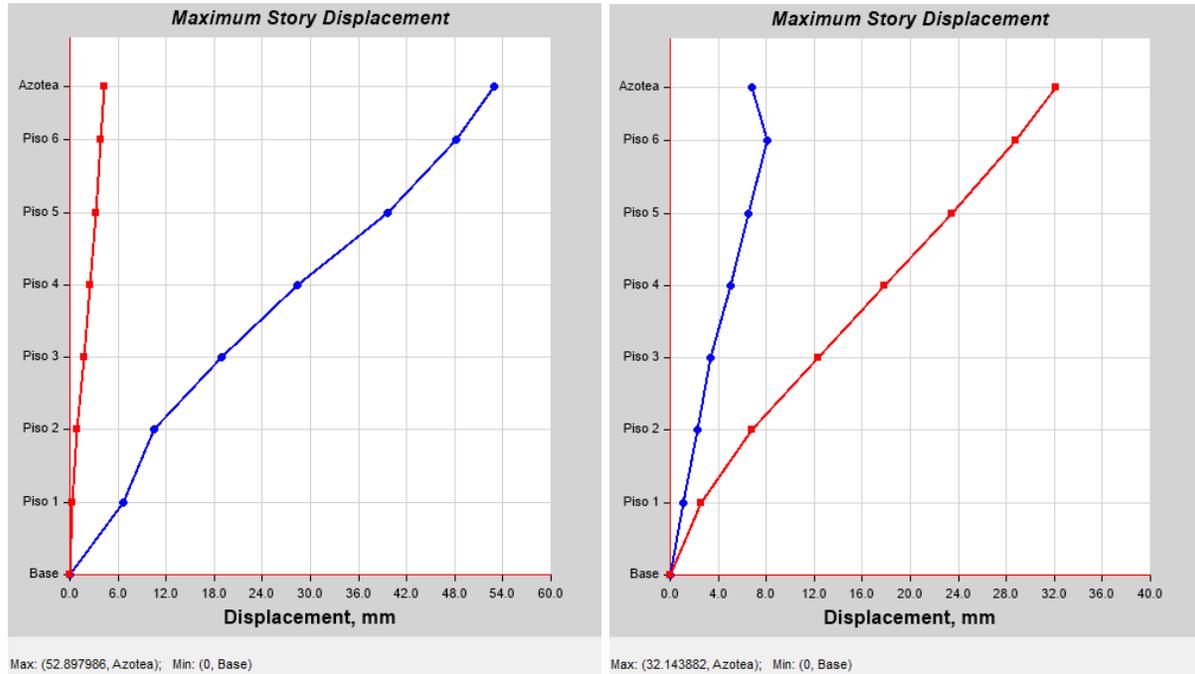
Fuente: Elaboración Propia (2023).**Tabla 94***Desplazamientos*

Desplazamientos			
Nivel	Altura	Δ_x Real (mm)	Δ_y Real (mm)
Azotea	3	52.898	32.144
Piso 6	4.05	48.236	28.744
Piso 5	4.05	39.652	23.479
Piso 4	4.05	28.418	17.785
Piso 3	4.05	18.982	12.346
Piso 2	4.05	10.553	6.816
Piso 1	4.05	6.587	2.58

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Figura 122

Desplazamiento X y Y



Fuente: Captura en Etabs de desplazamientos. Elaboración Propia (2023).

Selección de Registros Sísmicos

En la presente investigación se emplearon tres registros ocurridos en Perú, con la finalidad de evaluar los daños que podría experimentar la estructura del Hospital Regional de Lambayeque. Debido a la ausencia de registros sísmicos importantes en la zona, se optó por utilizar acelerogramas de sismos que ocurrieron en otras regiones del Perú, siendo estos registros los siguientes: Sismo de Lima y Callado de 1966, Sismo de Ancash de 1970 y Sismo de Loreto de 2019.

Tabla 95

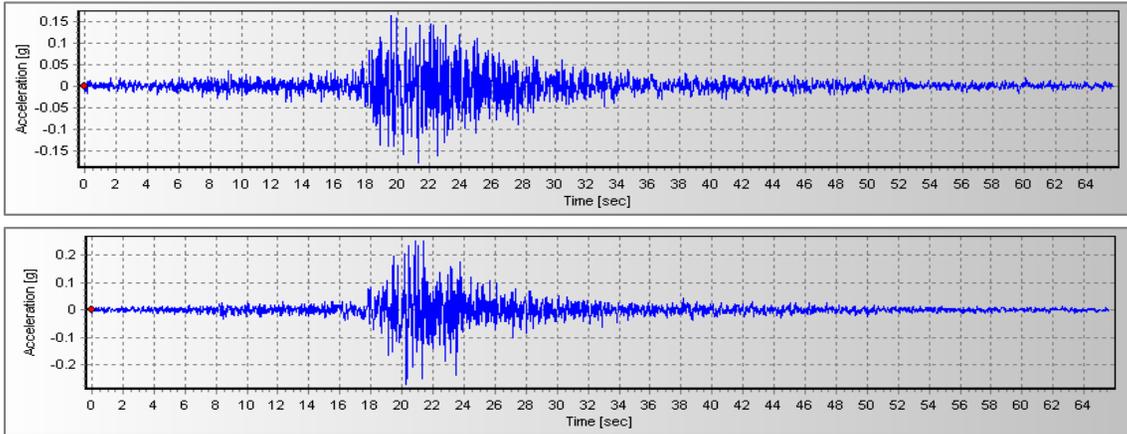
Características principales del sismo de Lima y Callao de 1966

Características Principales del Sismo de Lima y Callao de 1966					
Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Profundidad (Km)	Magnitud
17-Oct-66	16:41:00	-10.7	-78.7	24	8.1

Fuente: Instituto Geofísico del Perú (2023).

Figura 123

Acelerogramas Lima y Callao de 1966



Nota. Acelerogramas en dirección EW y NS del Sismo de Lima y Callao de 1966, filtrado y corregido en línea base. Fuente: SeismoSignal (2023).

Tabla 96

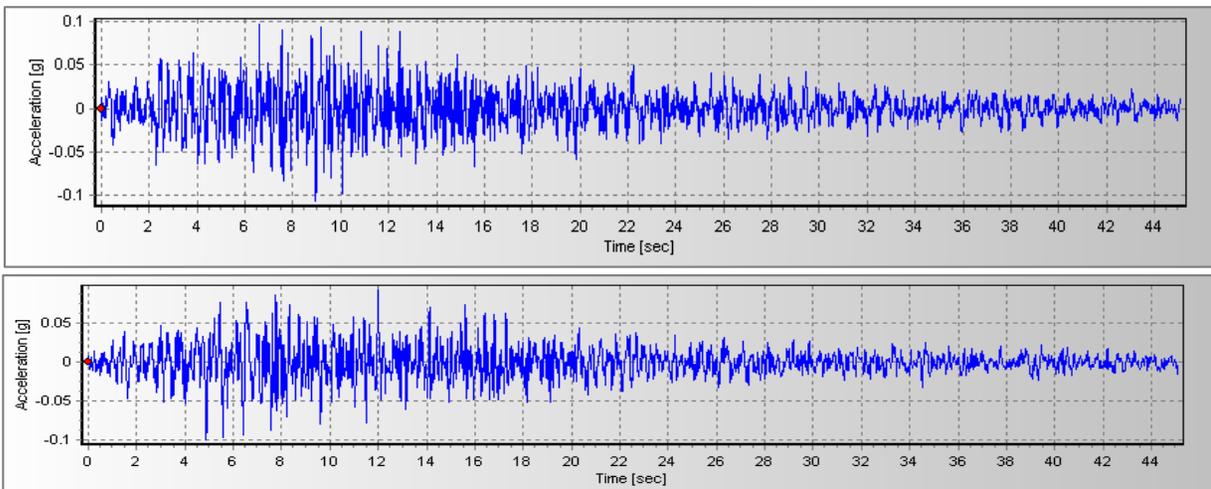
Características principales del sismo de Ancash de 1970

Características Principales del Sismo de Ancash 1970					
Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Profundidad	Magnitud
31-May-70	15:23:00	-9.36	-78.87	64	7.9

Fuente: Instituto Geofísico del Perú (2023).

Figura 124

Acelerogramas Sismo de Ancash de 1970



Nota. Acelerogramas en dirección EW y NS del Sismo de Ancash de 1970, filtrado y corregido en línea base. Fuente: SeismoSignal (2023).

Tabla 97

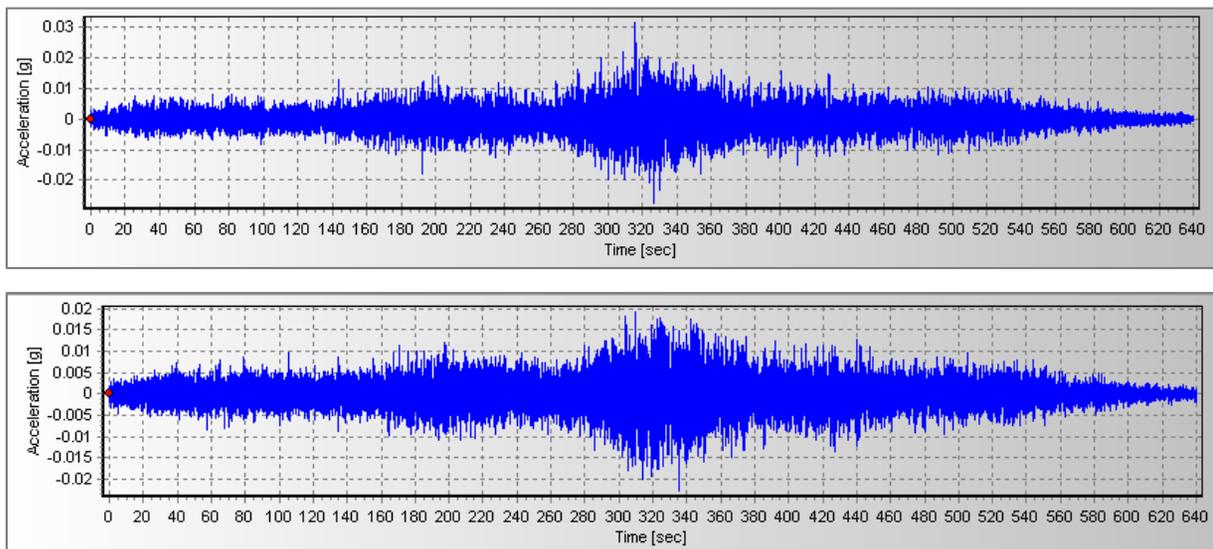
Características principales del sismo de Loreto de 2019

Características Principales del Sismo de Loreto 2019					
Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Profundidad (Km)	Magnitud
26-May-19	02:41:12	-5.7	-75.27	141	8.0

Fuente: Instituto Geofísico del Perú (2023).

Figura 125

Acelerogramas Sismo de Loreto de 2019



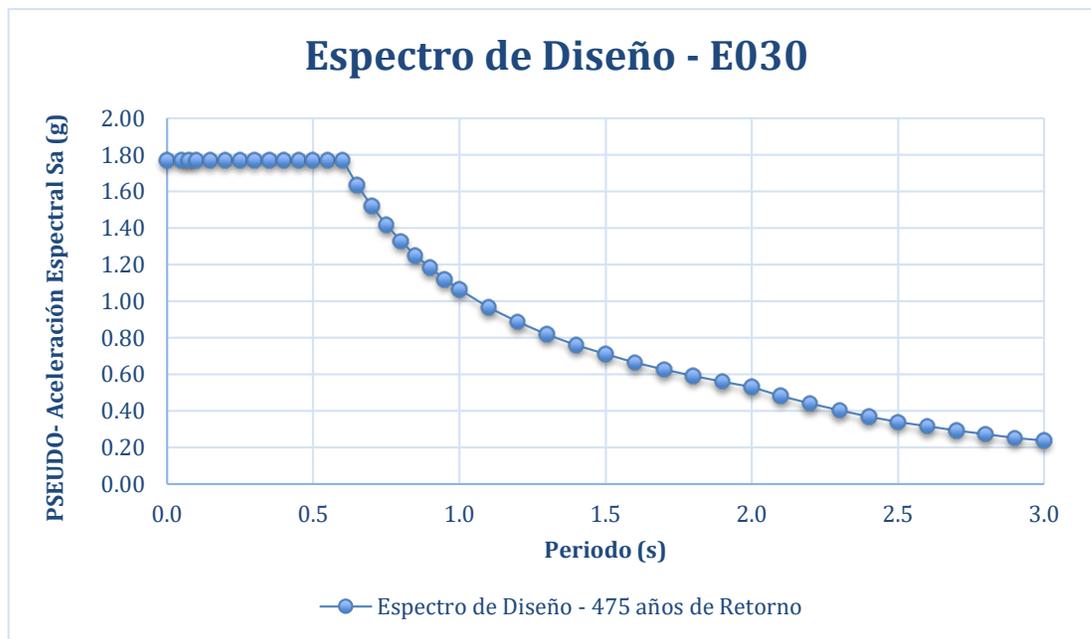
Acelerogramas en dirección EW y NS del Sismo de Loreto de 2019, filtrado y corregido en línea base. Fuente: SeismoSignal (2023).

Espectro de Aceleraciones

La norma E.030 “Diseño Sismorresistente” plantea un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones para un análisis dinámico modal espectral, este mismo concepto se aplicará para un análisis tiempo historia, considerando ciertos factores que también brinda la norma en su artículo 30, donde especifica que debe emplearse cómo mínimo 3 registros sísmicos con sus dos componentes ortogonales Este-Oeste y Norte-Sur, así mismo deberá emplearse un valor de Coeficiente de Reducción Sísmica ($R=1$).

Tabla 98

Espectro de diseño según norma E.030



Fuente: Elaboración Propia

Acelerogramas Sintéticos

La ausencia de registros sísmicos de gran magnitud en departamentos del Perú cómo Lambayeque, abre la posibilidad al ingeniero estructural a emplear registros de otras regiones y escalarlas con el espectro de diseño o el espectro de peligro sísmico de la zona de análisis, a partir de este concepto se generan los acelerogramas sintéticos o artificiales compatibles con el espectro de pseudo-aceleración que brinda

la norma E.030, siendo una herramienta útil a emplear en el análisis tiempo historia de estructuras. La norma ATC-40 nos presenta tres niveles de amenaza sísmica:

Sismo de Servicio (Serviceability Earthquake SE)

Este sismo posee un 50% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años, puede ser calculado como 0.5 veces el Sismo de Diseño. Tiene un periodo de retorno aproximado de 75 años.

Sismo de Diseño (Design Earthquake DE)

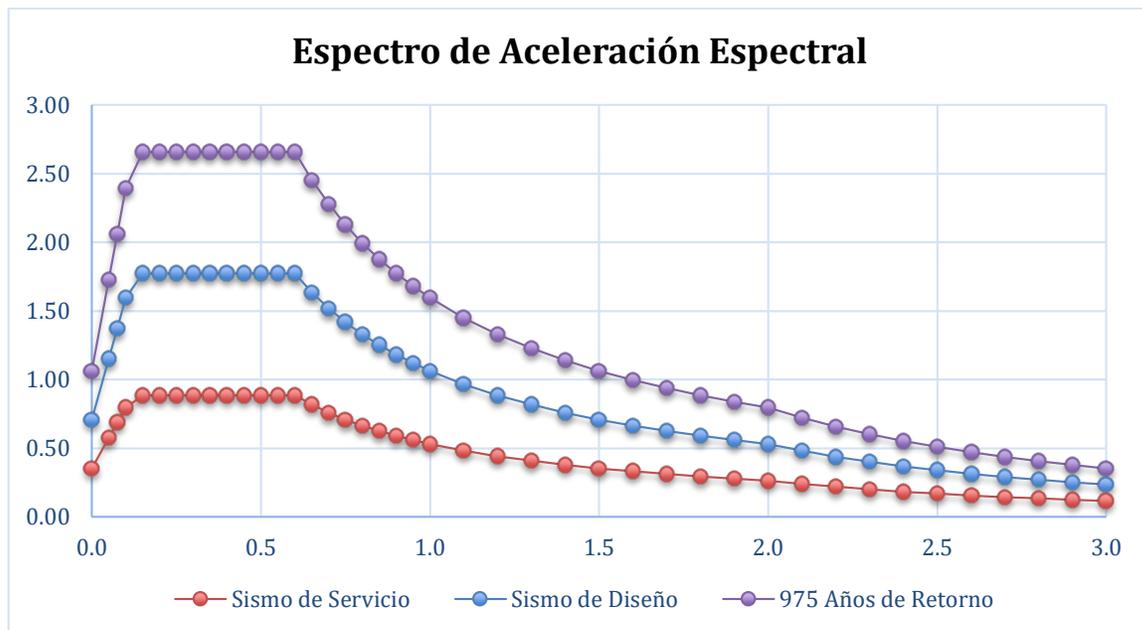
Tiene un 10% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años, su periodo de retorno es de 475 años. Hace referencia al espectro de diseño que brinda la norma E.030 para esta investigación.

Sismo Máximo (Maximum Earthquake ME)

Se define como el nivel máximo de sismo, cuenta con un 5% de probabilidad de ser excedido en 50 años, con un periodo de retorno aproximado de 975 años. Puede ser calculado con un factor de 1.25 o 1.50, multiplicado por sismo de diseño.

Tabla 99

Espectro para Sismos de Servicio, Diseño y Máximo



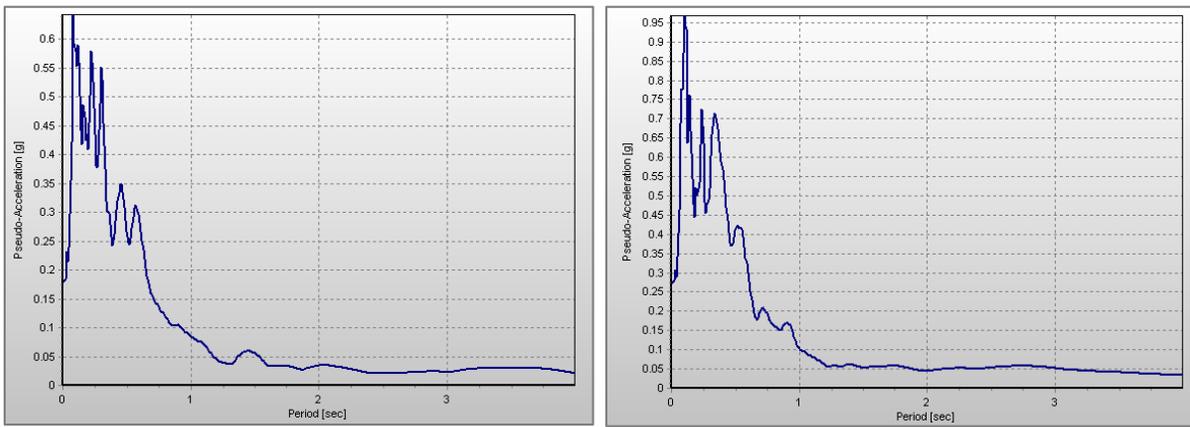
Fuente: Elaboración Propia

Espectros de respuesta de acelerogramas

Se generaron los espectros para las dos componentes ortogonales de cada registro sísmico, para ello se utilizó el software SeismoSignal, donde previamente se filtró y corrigió en línea base los acelerogramas para la direcciones Este-Oeste y Norte-Sur. A continuación, se muestran las gráficas de los espectros de respuesta elástica de los tres registros sísmicos empleados en esta investigación.

Figura 126

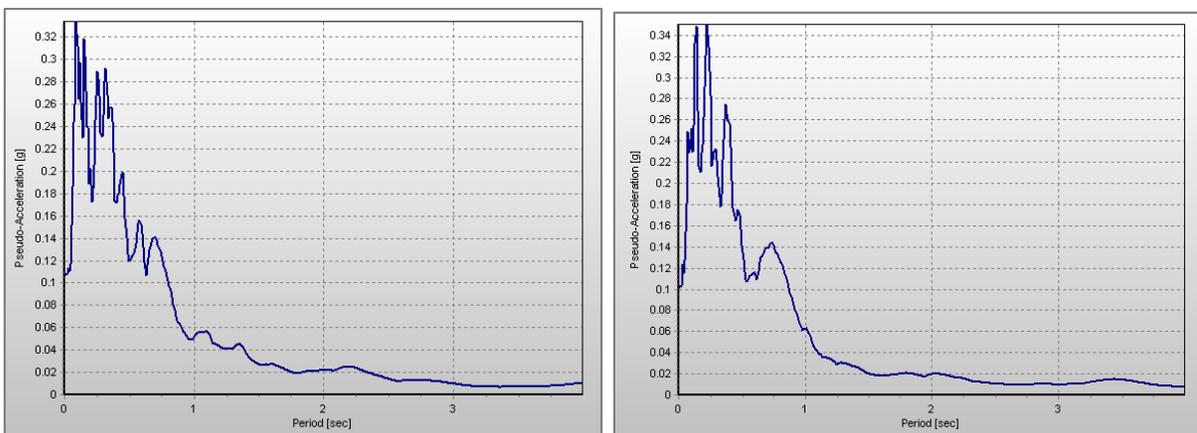
Espectro de respuesta del sismo de Lima y Callao de 1966.



Nota. Espectro de respuesta del acelerograma del sismo de Lima y Callao de 1966 en las direcciones EW y NS. Fuente: SeismoSignal. Elaboración Propia

Figura 127

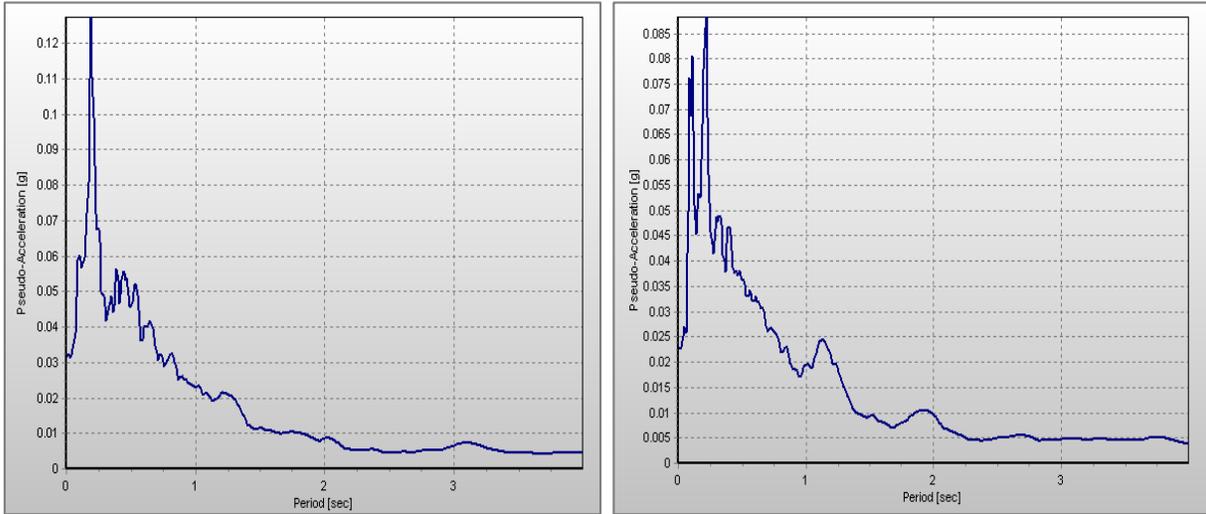
Espectro de respuesta del sismo de Ancash de 1970



Nota. Espectro de respuesta del acelerograma del sismo de Ancash de 1970 en las direcciones EW y NS. Fuente: SeismoSignal. Elaboración Propia

Figura 128

Espectro de respuesta del sismo de Loreto de 2019



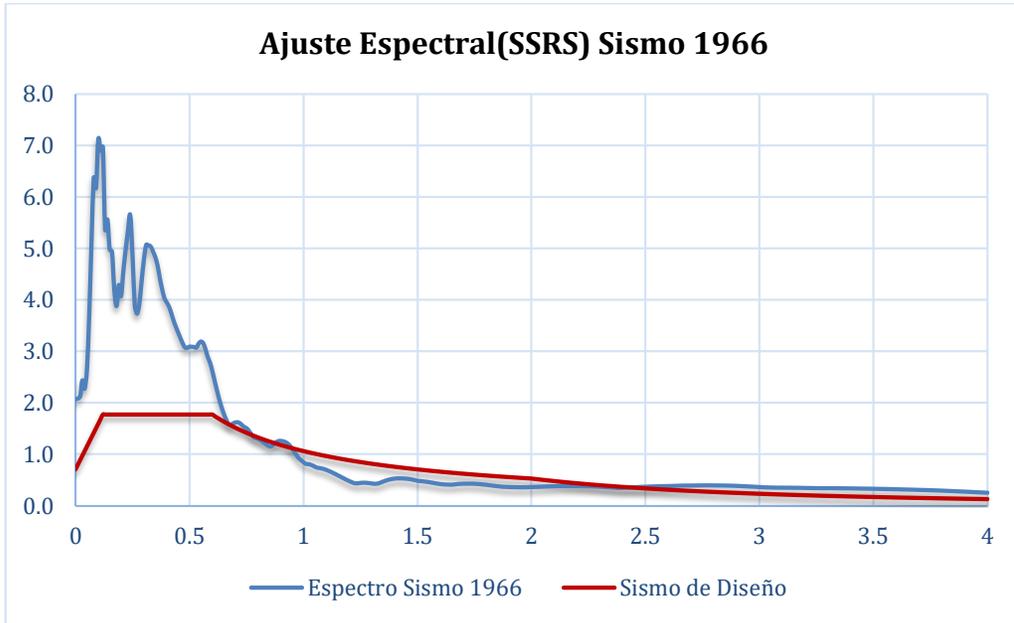
Nota. Espectro de respuesta del acelerograma del sismo de Loreto de 2019 en las direcciones EW y NS Fuente: SeismoSignal. Elaboración Propia

Ajuste espectral y acelerogramas escalados

En base al artículo 30 de la norma E.030, se construyeron espectros de pseudo aceleraciones aplicando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) de los valores espectrales de cada componente para cada registro sísmico, con 5% de amortiguamiento; para ello se empleó el software SeismoSignal previamente donde se obtuvieron los espectros de las componente ortogonales de cada sismo para luego escalarlas por un factor que fluctúa entre $0.2 T$ y $1.5 T$ (Periodo Fundamental de la Estructura), verificando que el promedio de los valores SRSS de los espectros no sea menor que el valor del eje Y, de la Pseudo-Aceleración (S_a) para un sismo de diseño, considerando un factor de reducción sísmica igual a 1.

Figura 129

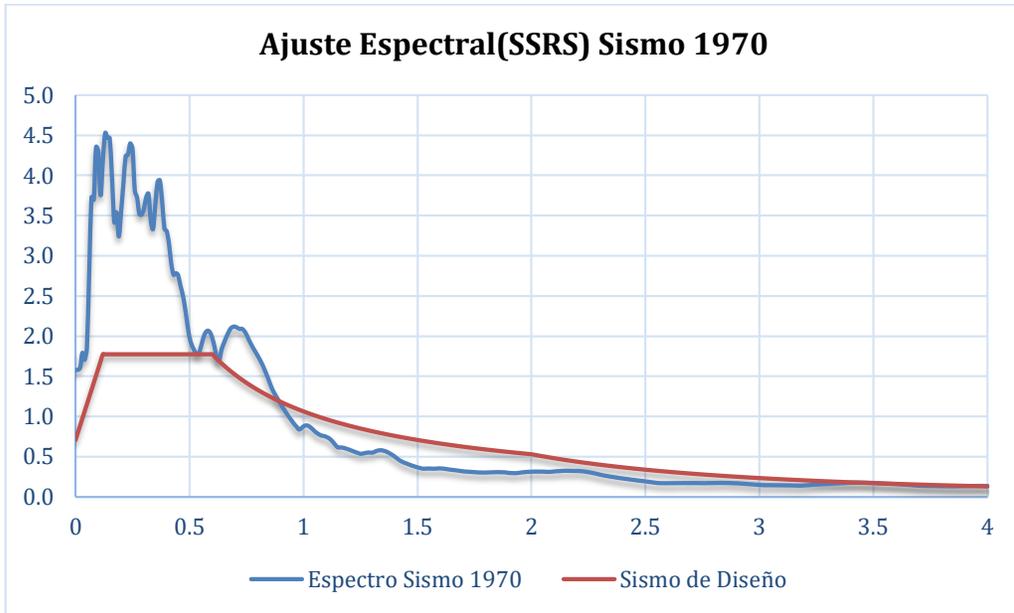
Ajuste Espectral entre el sismo de diseño y el sismo de 1966



Fuente: Elaboración Propia

Figura 130

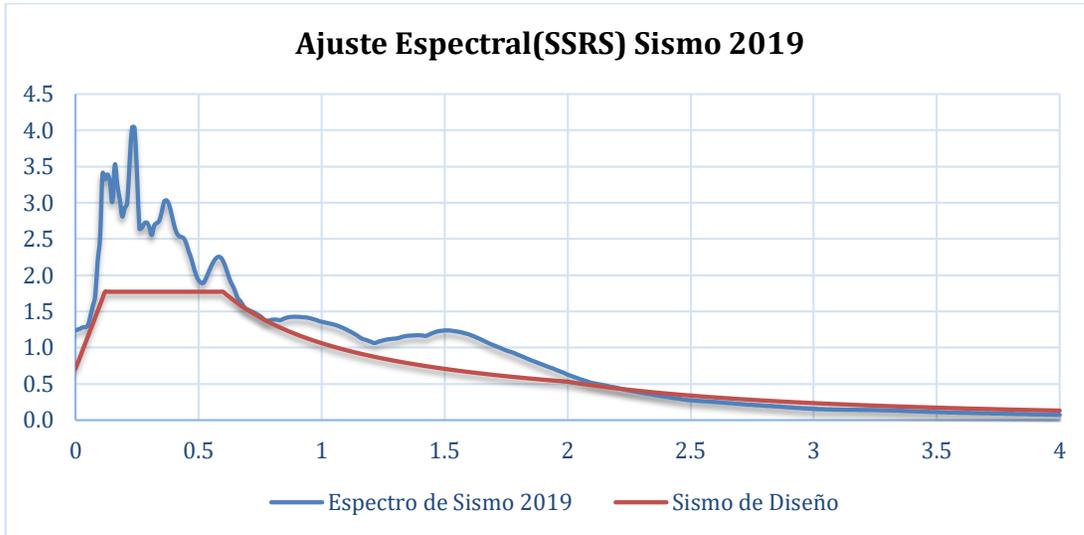
Ajuste Espectral entre el sismo de diseño y el sismo de 1970



Fuente: Elaboración Propia

Figura 131

Ajuste Espectral entre el sismo de diseño y el sismo del 2019

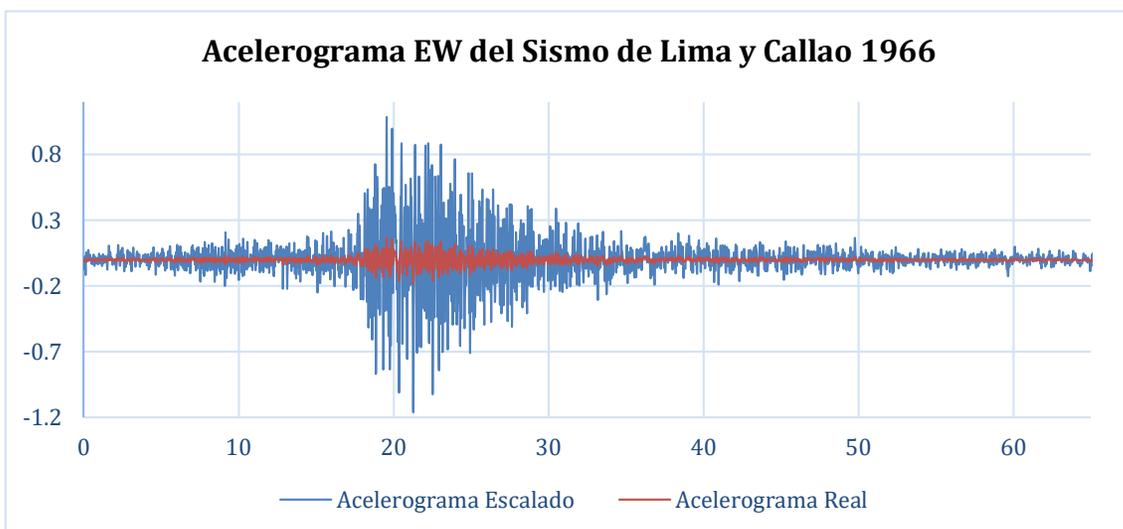


Fuente: Elaboración Propia

Una vez verificado el paso anterior, se procede a emplear el mismo factor para amplificar los registros sísmicos en sus dos componentes generando un acelerograma escalado para cada dirección o acelerograma sintético, el cual se empleará en el análisis dinámico no lineal, tal como se muestra a continuación.

Figura 132

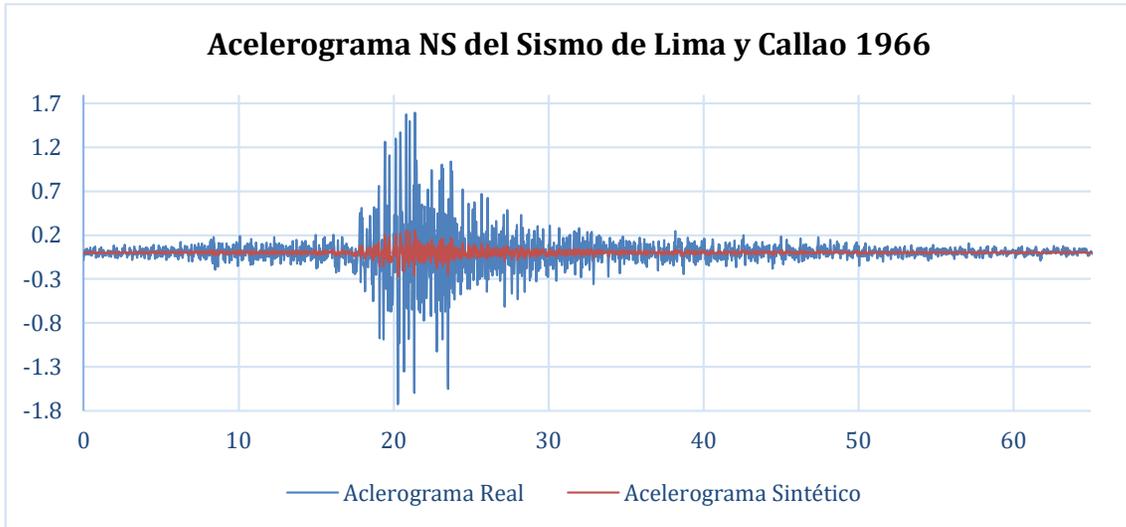
Acelerograma EW del Sismo de Lima y Callao de 1966



Fuente: Elaboración Propia

Figura 133

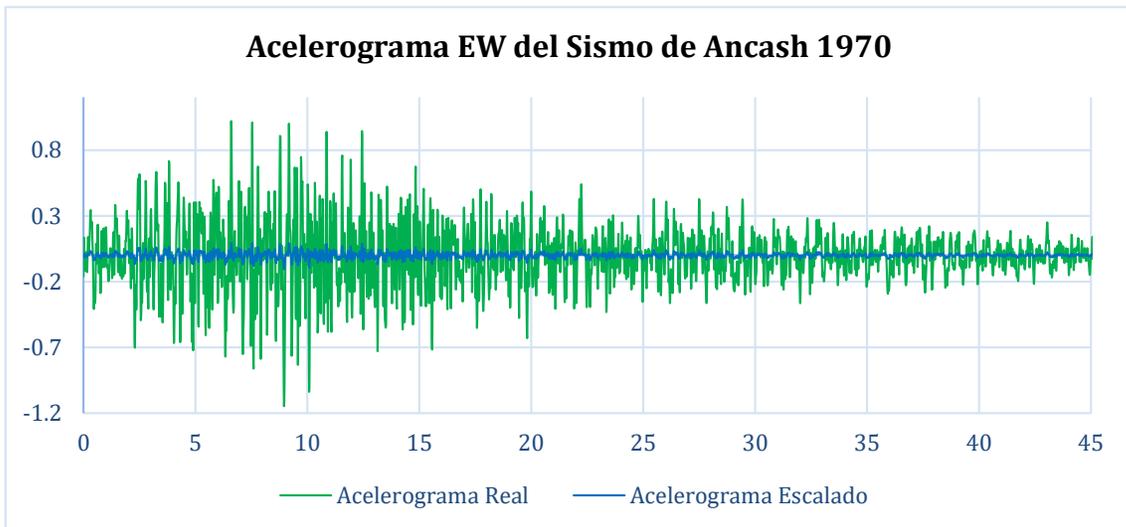
Acelerograma NS del Sismo de Lima y Callao de 1966



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 134

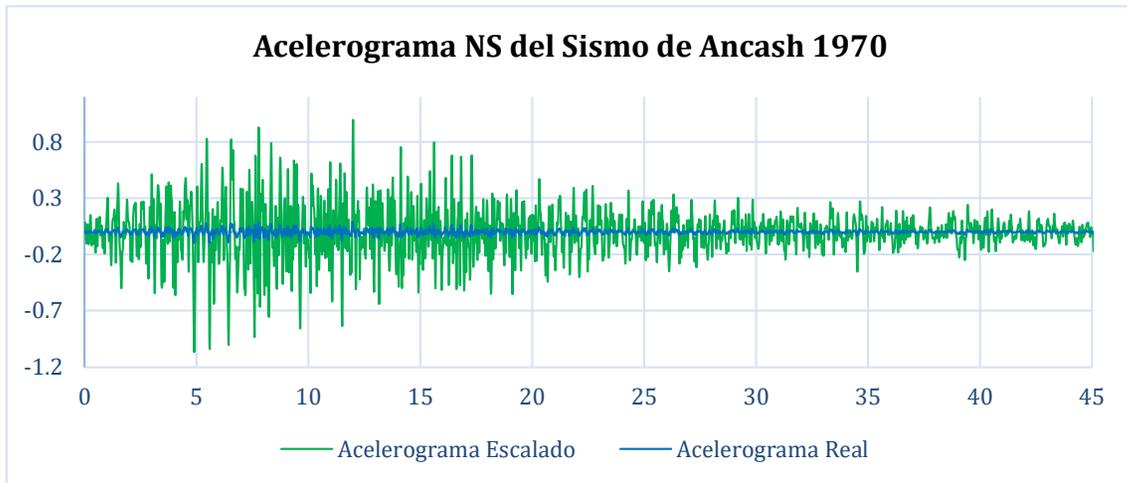
Acelerograma EW del Sismo de Ancash de 1970



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 135

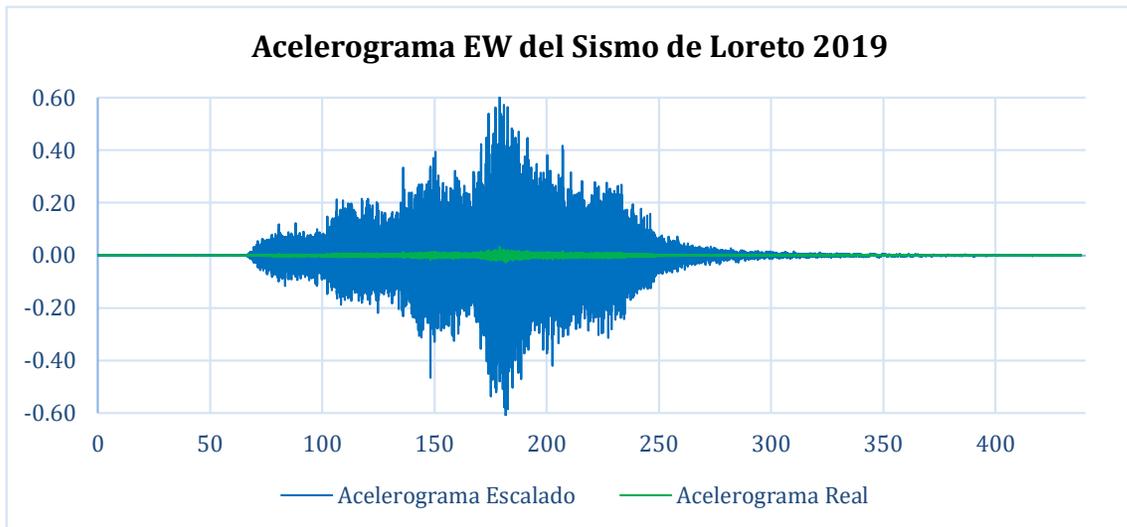
Acelerograma NS del Sismo de Ancash de 1970



Fuente: Elaboración Propia

Figura 136

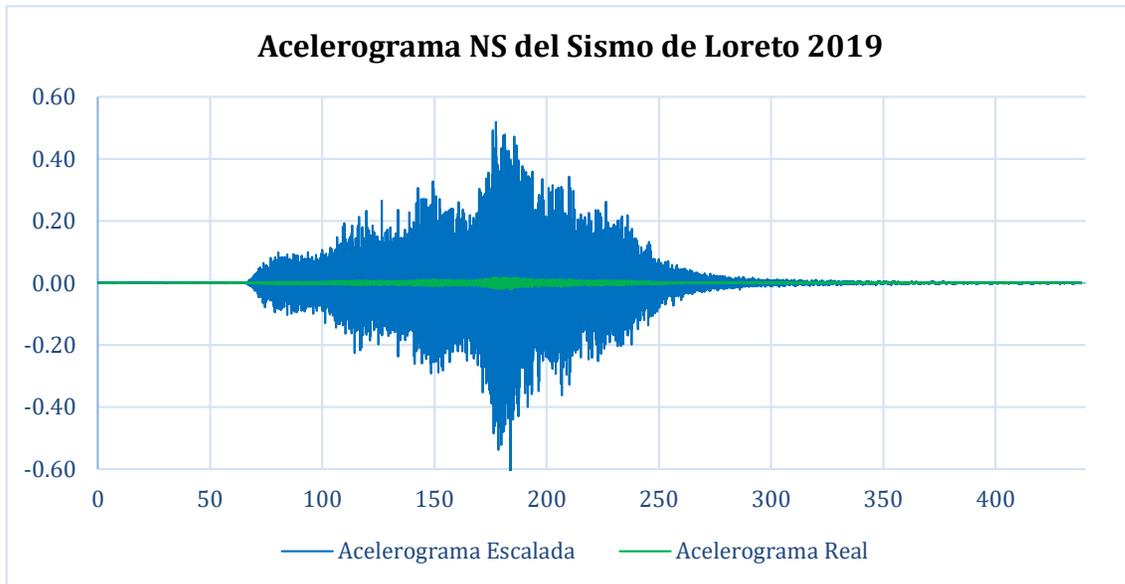
Acelerograma EW del Sismo de Loreto de 2019



Fuente: Elaboración Propia

Figura 137

Acelerograma NS del Sismo de Loreto de 2019



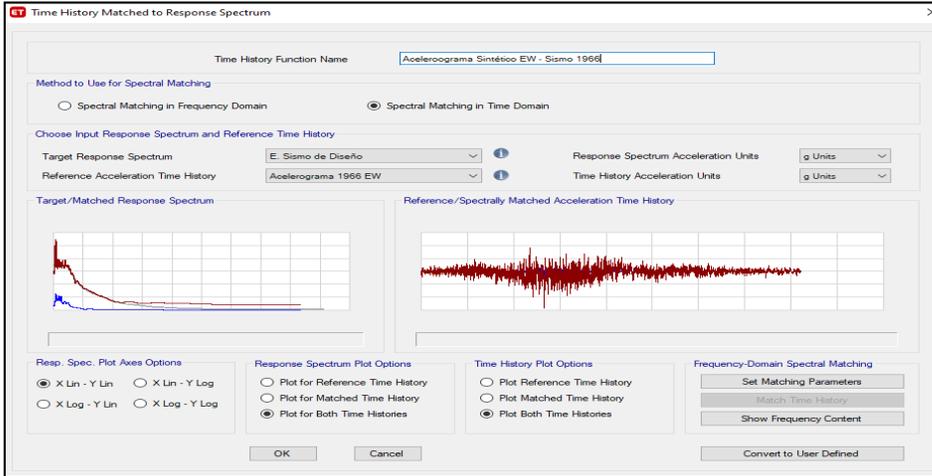
Fuente: Elaboración Propia

Análisis Dinámico no Lineal

Definidos los conceptos para la generación de acelerogramas sintéticos previamente, podemos realizar el mismo proceso en el software Etabs, donde, se ingresa el espectro de diseño según la norma E.030, y los tres registros sísmicos que se emplearán en esta investigación. A través de la función **Matched Response Spectrum** escalamos los acelerogramas de los sismos al espectro de pseudo-aceleraciones del sismo de diseño, sismo de servicio y sismo máximo.

Figura 138

Acelerograma sintético generado en Etabs

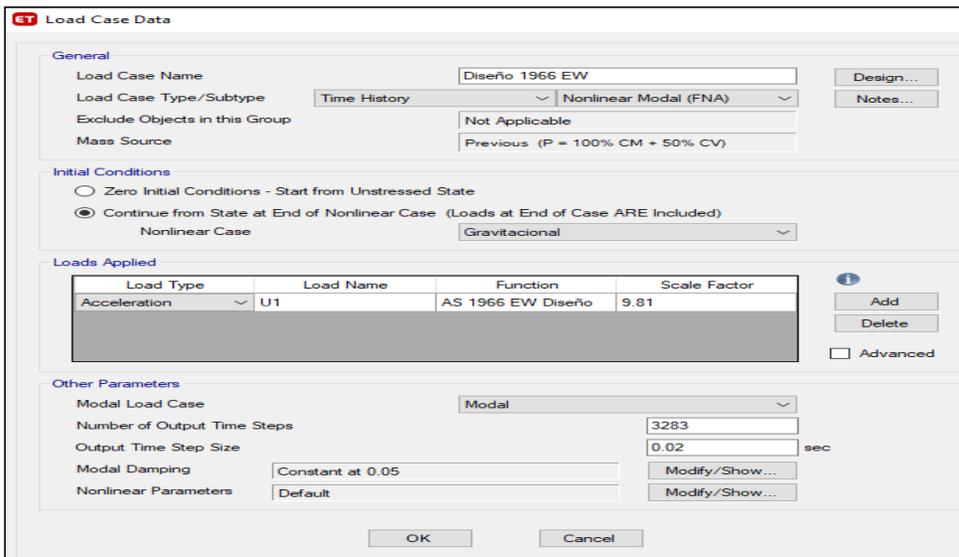


Fuente: Ejemplo de generación de acelerograma sintético con Etabs. Elaboración Propia

Se asignaron casos de carga de tipo: tiempo historia no lineal, para procesar los análisis no lineales en las direcciones ortogonales EW y NS para cada acelerograma sintético, se asignaron las rótulas plásticas y se generaron gráficas resultantes.

Figura 139

Asignación de casos de carga para análisis



Fuente: Captura de pantalla obtenida del proceso de análisis en Etabs. Elaboración Propia.

Análisis Tiempo Historia - Sismo de Diseño

Se obtuvo la siguiente información resultante del análisis dinámico no lineal para un sismo de diseño.

Sismo de Lima de 1966

Tabla 100

Cortante basal en dirección EW y NS

Cortante Basal		
P (Tonf)	V_{EW} (Tonf)	V_{NS} (Tonf)
17925.28	24288.07	21647.46

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 101

Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS

Distribución de Fuerza Cortante		
Nivel	Cortante EW	Cortante NS
Azotea	1472.384	1335.3099
6	7882.1602	6801.1443
5	12996.3286	11565.1206
4	16776.378	15633.9053
3	18561.5827	18220.6278
2	21621.6515	19923.4089
1	24288.1516	21647.5384

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 102*Desplazamientos por piso en dirección EW y NS*

Desplazamientos Máximos			
Nivel	Altura	Δ_{EW} Real (m)	Δ_{NS} Real (m)
Azotea	3	0.168243	0.103709
Piso 6	4.05	0.15425	0.092766
Piso 5	4.05	0.127435	0.076387
Piso 4	4.05	0.08803	0.058248
Piso 3	4.05	0.05759	0.040391
Piso 2	4.05	0.033466	0.022515
Piso 1	4.05	0.02052	0.008807

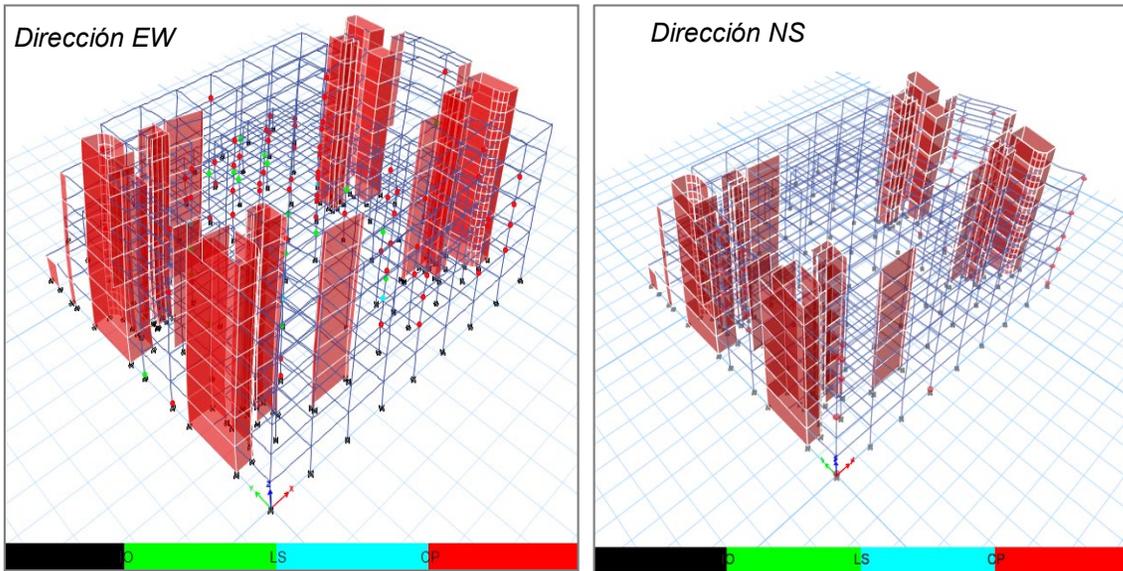
Fuente: Elaboración Propia (2023).**Tabla 103***Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS*

Verificación de Derivas						
Nivel	Altura	Límite de Distorsión	EW	Cumple	NS	Cumple
Azotea	3	0.007	0.007278	NO	0.004419	SI
Piso 6	4.05	0.007	0.008174	NO	0.004531	SI
Piso 5	4.05	0.007	0.011711	NO	0.004863	SI
Piso 4	4.05	0.007	0.007548	NO	0.004563	SI
Piso 3	4.05	0.007	0.006716	SI	0.004261	SI
Piso 2	4.05	0.007	0.005273	SI	0.003487	SI
Piso 1	4.05	0.007	0.003924	SI	0.002175	SI

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Figura 140

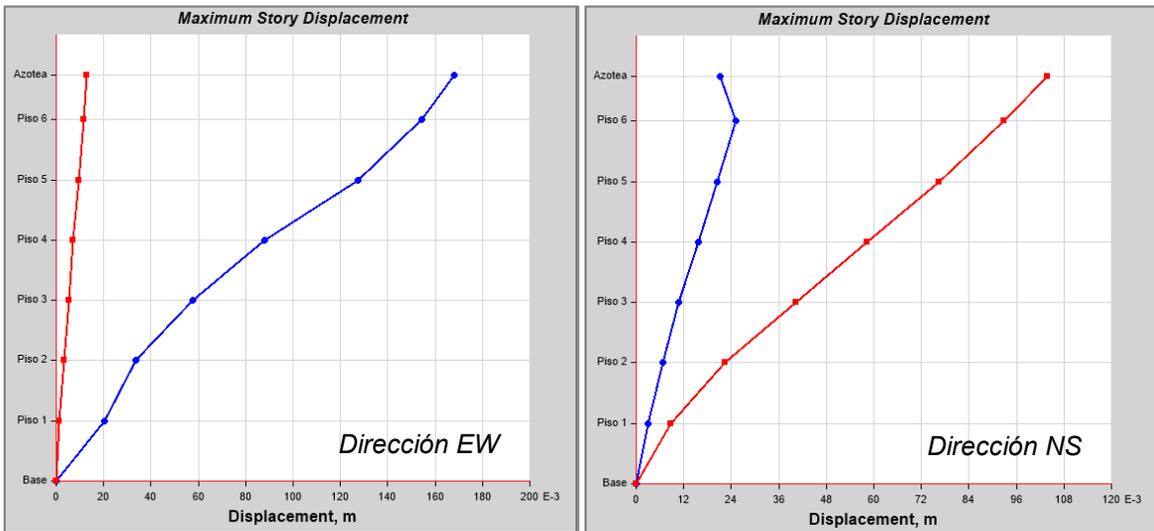
Deformación de la estructura.



Fuente: Identificación de rótulas plásticas en el software Etabs. *Elaboración Propia*

Figura 141

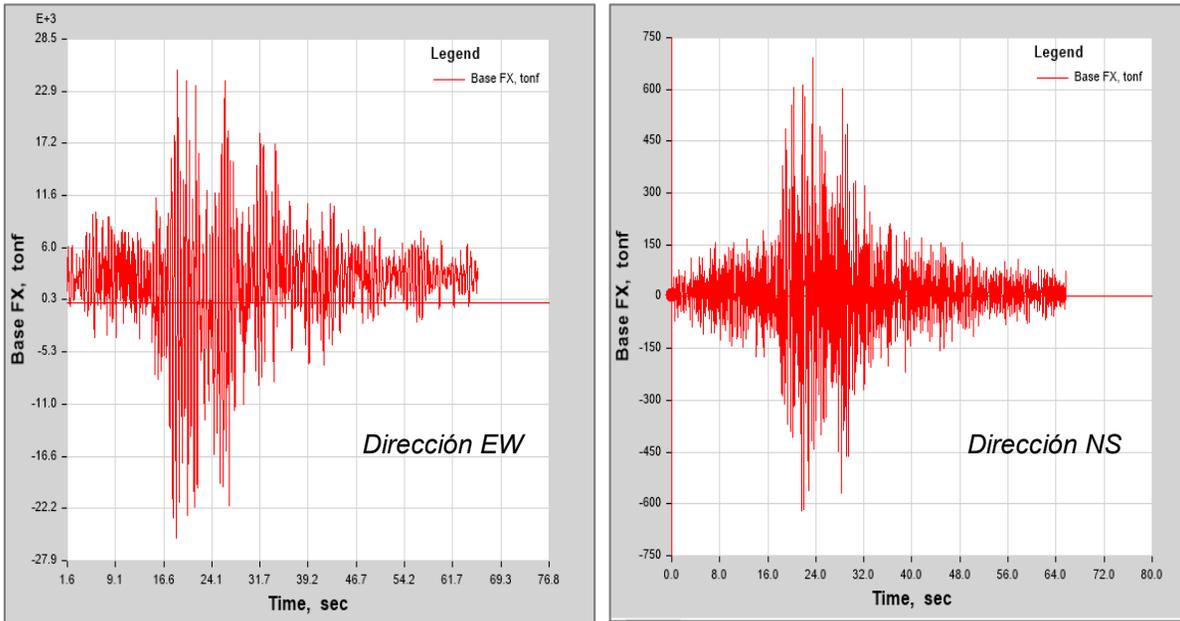
Desplazamientos máximos por piso en la dirección EW y NS.



Fuente: Captura obtenida del software Etabs.

Figura 142

Función de Cortantes en la base con respecto al tiempo en EW y NS.



Fuente: Captura obtenida del software Etabs.

Sismo de Ancash de 1970

Tabla 104

Cortante basal en dirección EW y NS

Cortante Basal		
P (Tonf)	V_{EW} (Tonf)	V_{NS} (Tonf)
17925.28	28104.2399	20591.9242

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 105*Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS*

Distribución de Fuerza Cortante		
Nivel	Cortante EW	Cortante NS
Azotea	1363.2791	1430.1081
6	7203.2877	7108.1189
5	11258.6768	11224.2709
4	15517.9948	14598.7774
3	18984.7186	15629.6968
2	24898.3465	18695.3543
1	28104.2399	20591.9242

Fuente: Elaboración Propia (2023).**Tabla 106***Desplazamientos por piso en dirección EW y NS*

Desplazamientos Máximos			
Nivel	Altura	Δ_{EW} Real (m)	Δ_{NS} Real (m)
Azotea	3	0.132056	0.113383
Piso 6	4.05	0.12190	0.101336
Piso 5	4.05	0.104334	0.082685
Piso 4	4.05	0.068203	0.062384
Piso 3	4.05	0.044247	0.042917
Piso 2	4.05	0.0241	0.023592
Piso 1	4.05	0.018551	0.00902

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 107

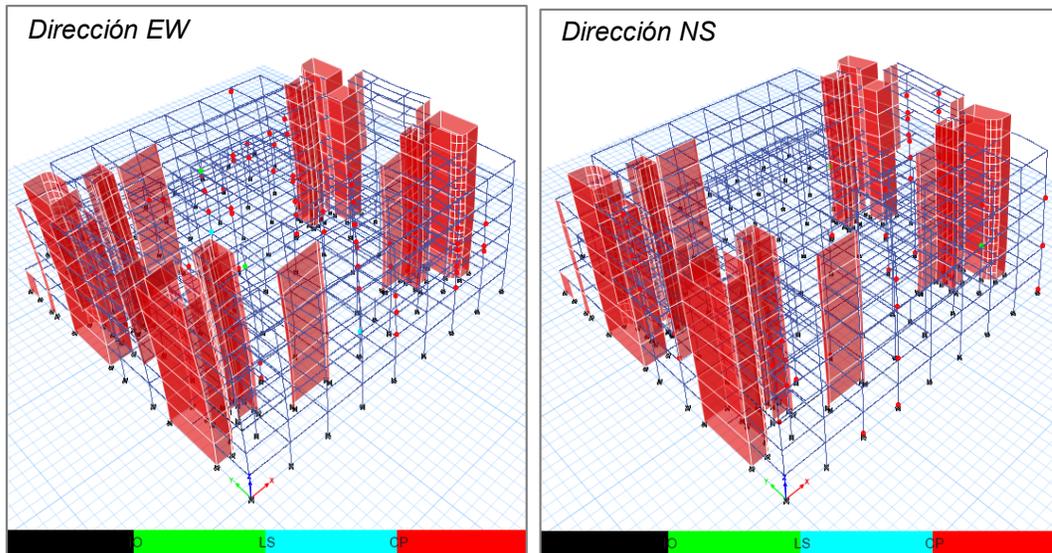
Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS

Verificación de Derivas						
Nivel	Altura	Límite de Distorsión	EW	Cumple	NS	Cumple
Azotea	3	0.007	0.005828	SI	0.004513	SI
Piso 6	4.05	0.007	0.006887	SI	0.004628	SI
Piso 5	4.05	0.007	0.010191	NO	0.004998	SI
Piso 4	4.05	0.007	0.005938	SI	0.004892	SI
Piso 3	4.05	0.007	0.005202	SI	0.004538	SI
Piso 2	4.05	0.007	0.003979	SI	0.003698	SI
Piso 1	4.05	0.007	0.002859	SI	0.002227	SI

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Figura 143

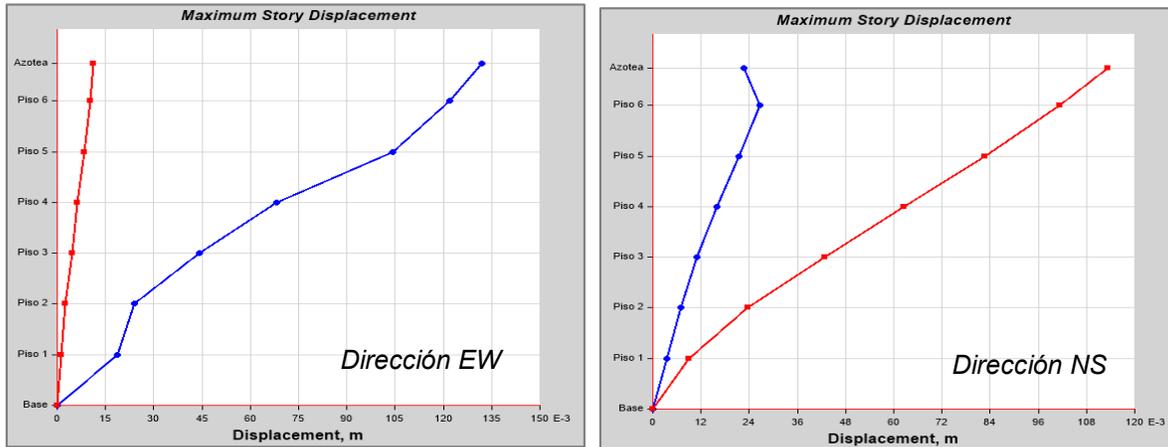
Deformación de la estructura e identificación de rótulas plásticas en EW y NS.



Fuente: Identificación de rótulas plásticas en el software Etabs. *Elaboración Propia*

Figura 144

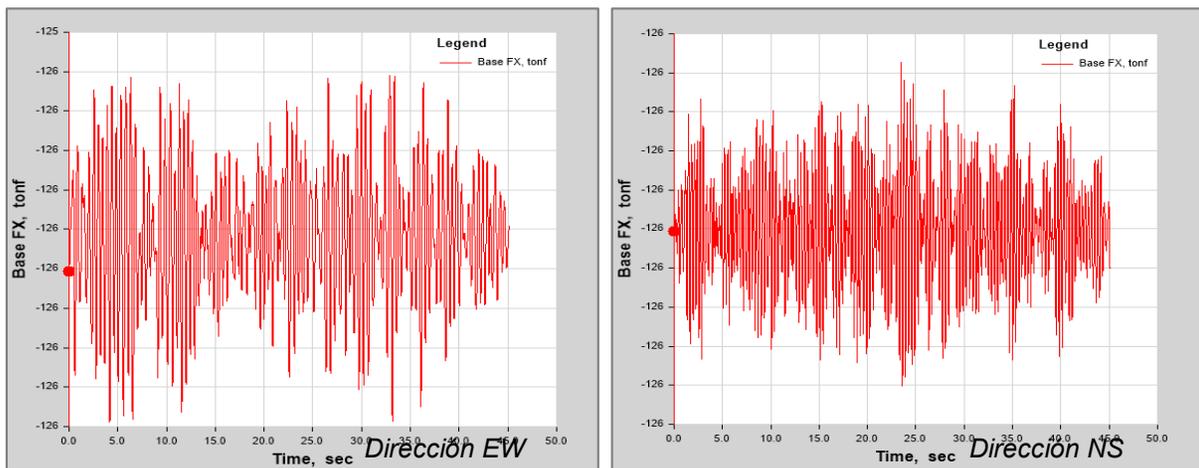
Desplazamientos máximos por piso en la dirección EW y NS.



Fuente: Captura obtenida del software Etabs.

Figura 145

Función de Cortantes en la base con respecto al tiempo en EW y NS.



Fuente: Captura obtenida del software Etabs.

Sismo de Loreto de 2019

Tabla 108

Cortante basal en dirección EW y NS

Cortante Basal		
P (Tonf)	V _{EW} (Tonf)	V _{NS} (Tonf)
17925.28	23732.4809	22038.0202

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 109*Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS*

Distribución de Fuerza Cortante		
Nivel	Cortante EW	Cortante NS
Azotea	1313.0831	1065.6635
6	7134.8398	5355.5571
5	11866.7342	8908.3427
4	15170.4594	12927.3256
3	18005.9188	16732.1895
2	21023.8598	19958.3174
1	23732.4809	22038.0202

Fuente: Elaboración Propia (2023).**Tabla 110***Desplazamientos por piso en dirección EW y NS*

Desplazamientos Máximos			
Nivel	Altura	Δ_{EW} Real (m)	Δ_{NS} Real (m)
Azotea	3	0.160434	0.09485
Piso 6	4.05	0.147189	0.084693
Piso 5	4.05	0.124245	0.069005
Piso 4	4.05	0.088102	0.052213
Piso 3	4.05	0.059825	0.036829
Piso 2	4.05	0.033997	0.02131
Piso 1	4.05	0.020556	0.008917

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 111

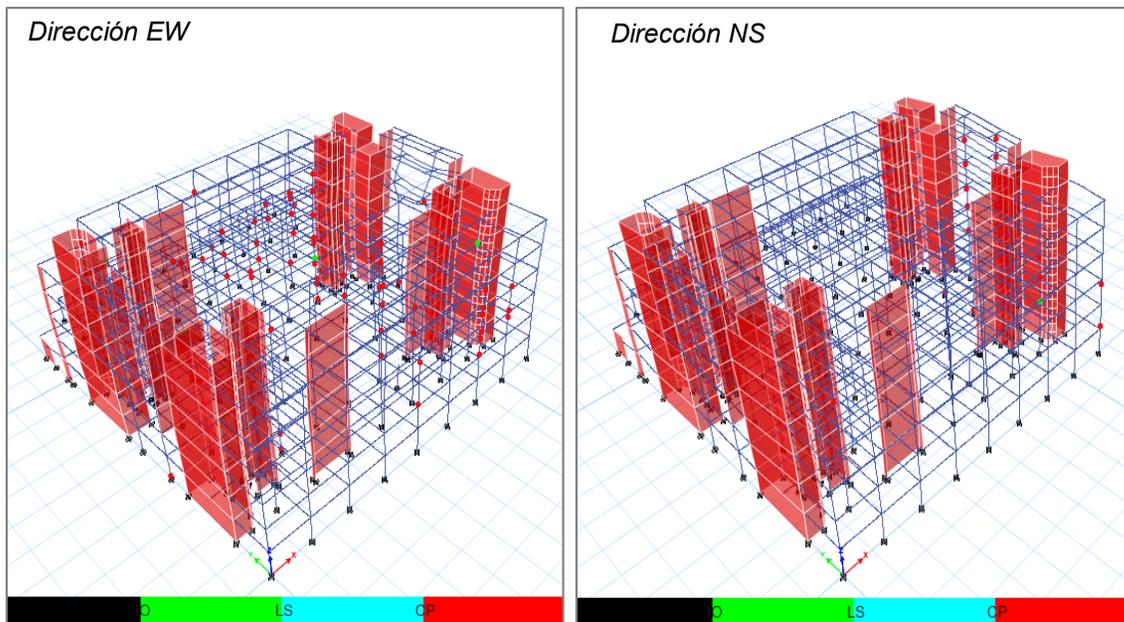
Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS

Verificación de Derivas						
Nivel	Altura	Límite de Distorsión	EW	Cumple	NS	Cumple
Azotea	3	0.007	0.006592	SI	0.003777	SI
Piso 6	4.05	0.007	0.007118	NO	0.003877	SI
Piso 5	4.05	0.007	0.010348	NO	0.004252	SI
Piso 4	4.05	0.007	0.006985	SI	0.004161	SI
Piso 3	4.05	0.007	0.006577	SI	0.003818	SI
Piso 2	4.05	0.007	0.005459	SI	0.003212	SI
Piso 1	4.05	0.007	0.003854	SI	0.002202	SI

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Figura 146

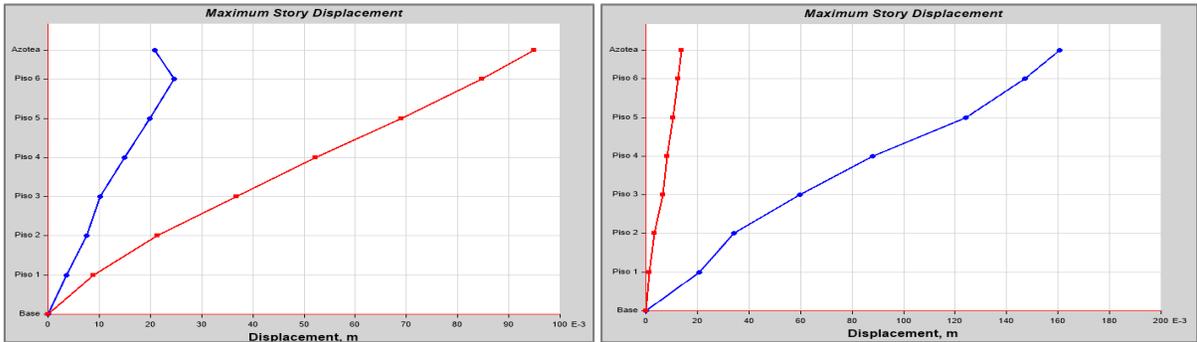
Deformación de la estructura e identificación de rótulas plásticas en EW y NS.



Fuente: Identificación de rótulas plásticas en el software Etabs. *Elaboración Propia*

Figura 147

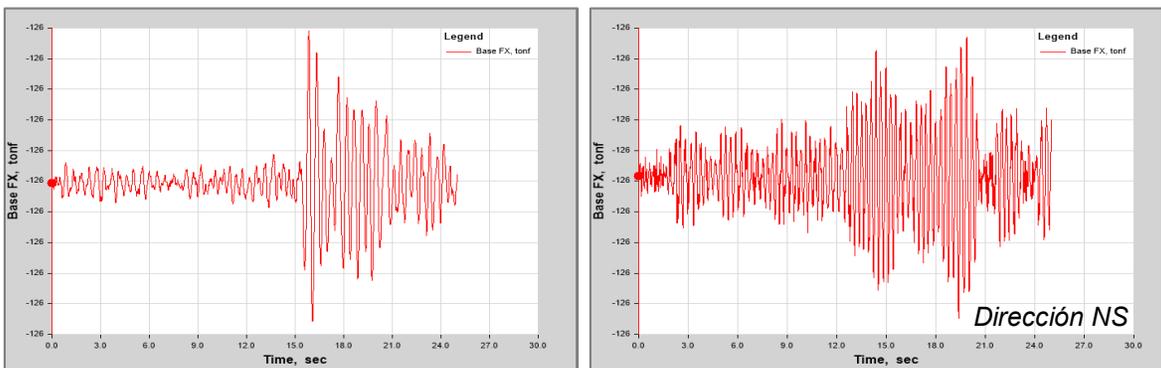
Desplazamientos máximos por piso en la dirección EW y NS



Fuente: Captura obtenida del software Etabs.

Figura 148

Función de Cortantes en la base con respecto al tiempo en EW y NS.



Fuente: Captura obtenida del software Etabs.

Análisis tiempo historia - Sismo de Servicio

Se realizó el mismo procedimiento para un sismo de servicio con el cual se escaló los acelerogramas de los tres registros utilizados, obteniendo los siguientes resultados:

Sismo de Lima y Callao de 1966

Tabla 112

Cortante basal en dirección EW y NS

Cortante Basal		
P (Tonf)	V _{EW} (Tonf)	V _{NS} (Tonf)
17925.28	11692.69	10940.14

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 113*Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS*

Distribución de Fuerza Cortante		
Nivel	Cortante EW	Cortante NS
Azotea	672.6418	785.6932
6	3619.2867	3996.5451
5	6053.1074	6766.8795
4	7893.5396	8796.466
3	8814.3231	9756.5079
2	10106.0045	9933.2707
1	11692.69	10940.1352

Fuente: Elaboración Propia (2023).**Tabla 114***Desplazamientos por piso en dirección EW y NS*

Desplazamientos Máximos			
Nivel	Altura	Δ_{EW} Real (m)	Δ_{NS} Real (m)
Azotea	3	0.084487	0.051419
Piso 6	4.05	0.080184	0.045856
Piso 5	4.05	0.066013	0.037694
Piso 4	4.05	0.045172	0.028733
Piso 3	4.05	0.03027	0.020167
Piso 2	4.05	0.017362	0.011389
Piso 1	4.05	0.010202	0.004304

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 115*Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS*

Verificación de Derivas						
Nivel	Altura	Límite de Distorsión	EW	Cumple	NS	Cumple
Azotea	3	0.007	0.003566	SI	0.002144	SI
Piso 6	4.05	0.007	0.003928	SI	0.002193	SI
Piso 5	4.05	0.007	0.005991	SI	0.002363	SI
Piso 4	4.05	0.007	0.0038	SI	0.002254	SI
Piso 3	4.05	0.007	0.003382	SI	0.002092	SI
Piso 2	4.05	0.007	0.00273	SI	0.001749	SI
Piso 1	4.05	0.007	0.002078	SI	0.001063	SI

*Fuente: Elaboración Propia (2023).***Sismo de Ancash de 1970****Tabla 116***Cortante basal en dirección EW y NS*

Cortante Basal		
P (Tonf)	V_{EW} (Tonf)	V_{NS} (Tonf)
17925.28	13600.7721	2969.7272

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 117*Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS*

Distribución de Fuerza Cortante		
Nivel	Cortante EW	Cortante NS
Azotea	678.6543	172.4099
6	3574.4931	861.0708
5	5676.5649	1385.5172
4	7662.2877	1956.9574
3	9509.325	2410.4691
2	12108.5341	2775.4169
1	13600.7721	2969.7272

Fuente: Elaboración Propia (2023).**Tabla 118***Desplazamientos por piso en dirección EW y NS*

Desplazamientos Máximos			
Nivel	Altura	Δ_{EW} Real (m)	Δ_{NS} Real (m)
Azotea	3	0.069675	0.01477
Piso 6	4.05	0.06425	0.013234
Piso 5	4.05	0.053172	0.010908
Piso 4	4.05	0.036026	0.008356
Piso 3	4.05	0.023337	0.00586
Piso 2	4.05	0.012532	0.003255
Piso 1	4.05	0.009457	0.001563

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 119*Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS*

Verificación de Derivas						
Nivel	Altura	Límite de Distorsión	EW	Cumple	NS	Cumple
Azotea	3	0.007	0.002994	SI	0.000565	SI
Piso 6	4.05	0.007	0.003491	SI	0.000578	SI
Piso 5	4.05	0.007	0.005317	SI	0.000628	SI
Piso 4	4.05	0.007	0.003133	SI	0.000629	SI
Piso 3	4.05	0.007	0.002747	SI	0.0006	SI
Piso 2	4.05	0.007	0.002079	SI	0.000507	SI
Piso 1	4.05	0.007	0.001511	SI	0.000386	SI

*Fuente: Elaboración Propia (2023).***Sismo de Loreto de 2019****Tabla 120***Cortante basal en dirección EW y NS*

Cortante Basal		
P (Tonf)	V_{EW} (Tonf)	V_{NS} (Tonf)
17925.28	11459.7701	11590.3229

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 121*Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS*

Distribución de Fuerza Cortante		
Nivel	Cortante EW	Cortante NS
Azotea	630.5907	659.6808
6	3545.8147	3322.8236
5	5364.8333	5475.9536
4	7309.6028	7187.2922
3	8219.42	9015.3125
2	9820.5429	10433.6469
1	11459.7701	11590.3229

Fuente: Elaboración Propia (2023).**Tabla 122***Desplazamientos por piso en dirección EW y NS*

Desplazamientos Máximos			
Nivel	Altura	Δ_{EW} Real (m)	Δ_{NS} Real (m)
Azotea	3	0.075803	0.053977
Piso 6	4.05	0.068818	0.048217
Piso 5	4.05	0.057037	0.039028
Piso 4	4.05	0.040916	0.029307
Piso 3	4.05	0.027485	0.020324
Piso 2	4.05	0.015572	0.011308
Piso 1	4.05	0.009768	0.00447

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 123*Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS*

Verificación de Derivas						
Nivel	Altura	Límite de Distorsión	EW	Cumple	NS	Cumple
Azotea	3	0.007	0.003211	SI	0.002205	SI
Piso 6	4.05	0.007	0.003686	SI	0.002273	SI
Piso 5	4.05	0.007	0.005158	SI	0.002429	SI
Piso 4	4.05	0.007	0.003434	SI	0.002304	SI
Piso 3	4.05	0.007	0.003122	SI	0.00211	SI
Piso 2	4.05	0.007	0.002493	SI	0.001753	SI
Piso 1	4.05	0.007	0.001857	SI	0.001104	SI

*Fuente: Elaboración Propia (2023).***Análisis tiempo historia - Sismo Máximo**

Se realizó el mismo procedimiento para un sismo máximo con el cual se escaló los acelerogramas de los tres registros utilizados, obteniendo los siguientes resultados:

Sismo de Lima y Callao de 1966**Tabla 124***Cortante basal en dirección EW y NS*

Cortante Basal		
P (Tonf)	V_{EW} (Tonf)	V_{NS} (Tonf)
17925.28	34520.7639	35174.4346

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 125*Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS*

Distribución de Fuerza Cortante		
Nivel	Cortante EW	Cortante NS
Azotea	1999.8437	2206.463
6	10676.7727	11298.7455
5	17142.7542	19506.1366
4	24359.5722	26043.2375
3	28899.1384	29130.3406
2	31593.6722	31947.6855
1	34520.7639	35174.4346

Fuente: Elaboración Propia (2023).**Tabla 126***Desplazamientos por piso en dirección EW y NS*

Desplazamientos Máximos			
Nivel	Altura	Δ_{EW} Real (m)	Δ_{NS} Real (m)
Azotea	3	0.244447	0.16687
Piso 6	4.05	0.240232	0.149417
Piso 5	4.05	0.194394	0.122658
Piso 4	4.05	0.131179	0.093507
Piso 3	4.05	0.089726	0.065302
Piso 2	4.05	0.05243	0.036184
Piso 1	4.05	0.034571	0.013368

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 127*Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS*

Verificación de Derivas						
Nivel	Altura	Límite de Distorsión	EW	Cumple	NS	Cumple
Azotea	3	0.007	0.010971	NO	0.006544	SI
Piso 6	4.05	0.007	0.012753	NO	0.00669	SI
Piso 5	4.05	0.007	0.017395	NO	0.007215	NO
Piso 4	4.05	0.007	0.011320	NO	0.007104	NO
Piso 3	4.05	0.007	0.009915	NO	0.006712	SI
Piso 2	4.05	0.007	0.008237	NO	0.005634	SI
Piso 1	4.05	0.007	0.006276	SI	0.003301	SI

Fuente: Elaboración Propia (2023).**Sismo de Ancash de 1970****Tabla 128***Cortante basal en dirección EW y NS*

Cortante Basal		
P (Tonf)	V _{EW} (Tonf)	V _{NS} (Tonf)
17925.28	41019.5335	32018.947

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 129*Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS*

Distribución de Fuerza Cortante		
Nivel	Cortante EW	Cortante NS
Azotea	1976.8335	2011.8046
6	10427.7743	10115.0417
5	17272.9168	16529.7488
4	22719.5741	21464.2864
3	28798.4203	26749.2434
2	36541.6848	28792.7902
1	41019.5335	32018.947

Fuente: Elaboración Propia (2023).**Tabla 130***Desplazamientos por piso en dirección EW y NS*

Desplazamientos Máximos			
Nivel	Altura	Δ_{EW} Real (m)	Δ_{NS} Real (m)
Azotea	3	0.196039	0.173413
Piso 6	4.05	0.180798	0.154995
Piso 5	4.05	0.147719	0.12648
Piso 4	4.05	0.101109	0.095427
Piso 3	4.05	0.065421	0.067704
Piso 2	4.05	0.0353	0.039168
Piso 1	4.05	0.028393	0.016934

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 131*Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS*

Verificación de Derivas						
Nivel	Altura	Límite de Distorsión	EW	Cumple	NS	Cumple
Azotea	3	0.007	0.008449	NO	0.006878	SI
Piso 6	4.05	0.007	0.009961	NO	0.007032	NO
Piso 5	4.05	0.007	0.015139	NO	0.007645	NO
Piso 4	4.05	0.007	0.008812	NO	0.007483	NO
Piso 3	4.05	0.007	0.007709	NO	0.006941	SI
Piso 2	4.05	0.007	0.005825	SI	0.005949	SI
Piso 1	4.05	0.007	0.004183	SI	0.004181	SI

Fuente: Elaboración Propia (2023).**Sismo de Loreto de 2019****Tabla 132***Cortante basal en dirección EW y NS*

Cortante Basal		
P (Tonf)	V_{EW} (Tonf)	V_{NS} (Tonf)
17925.28	35391.813	33294.5355

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 133*Distribución de fuerza cortante en dirección EW y NS*

Distribución de Fuerza Cortante		
Nivel	Cortante EW	Cortante NS
Azotea	1770.7652	1701.5934
6	9777.6553	8760.3282
5	16550.1335	15516.2593
4	21624.789	21947.8058
3	25796.0835	26790.5496
2	31687.5534	30294.3748
1	35391.813	33294.5355

Fuente: Elaboración Propia (2023).**Tabla 134***Desplazamientos por piso en dirección EW y NS*

Desplazamientos Máximos			
Nivel	Altura	Δ_{EW} Real (m)	Δ_{NS} Real (mm)
Azotea	3	0.251345	0.149395
Piso 6	4.05	0.231767	0.133328
Piso 5	4.05	0.19338	0.107699
Piso 4	4.05	0.13752	0.080702
Piso 3	4.05	0.093824	0.055816
Piso 2	4.05	0.054356	0.03094
Piso 1	4.05	0.033671	0.013371

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 135*Verificación de derivas por piso en dirección EW y NS*

Verificación de Derivas						
Nivel	Altura	Límite de Distorsión	EW	Cumple	NS	Cumple
Azotea	3	0.007	0.010885	NO	0.006177	SI
Piso 6	4.05	0.007	0.011705	NO	0.006378	SI
Piso 5	4.05	0.007	0.01660	NO	0.006804	SI
Piso 4	4.05	0.007	0.011204	NO	0.006408	SI
Piso 3	4.05	0.007	0.010218	NO	0.005842	SI
Piso 2	4.05	0.007	0.008563	NO	0.004815	SI
Piso 1	4.05	0.007	0.006179	SI	0.003302	SI

Fuente: Elaboración Propia (2023).

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Ensayo de Vibración Ambiental

El estudio de Vibración Ambientase realizó el 26 de abril de 2023. Al procesar los datos recopilados utilizando el método estático para cada punto, se generó la siguiente tabla de resultados:

Tabla 136

Resultados del ensayo de vibración ambiental en suelo

Resultados del Ensayo de Vibración Ambiental				
Suelo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Frecuencia peak H/V (Hz)	9.4527	9.4527	5.4200	5.5682
Frecuencia Mínima (Hz)	4.7619	9.2927	5.1687	5.3189
Frecuencia Máxima (Hz)	5.1380	9.6466	5.6836	5.8291
Periodo (s)	0.2022	0.1058	0.1845	0.1796
Amplitud peak H/V (m)	2.0191	4.2168	4.9349	4.5440
Amplitud Mínima (m)	2.0191	3.4466	3.9567	3.6968
Amplitud Máxima (m)	3.0609	5.1590	6.1549	5.5829
Comprobación	NO CUMPLE NO CUMPLE		CUMPLE CUMPLE	

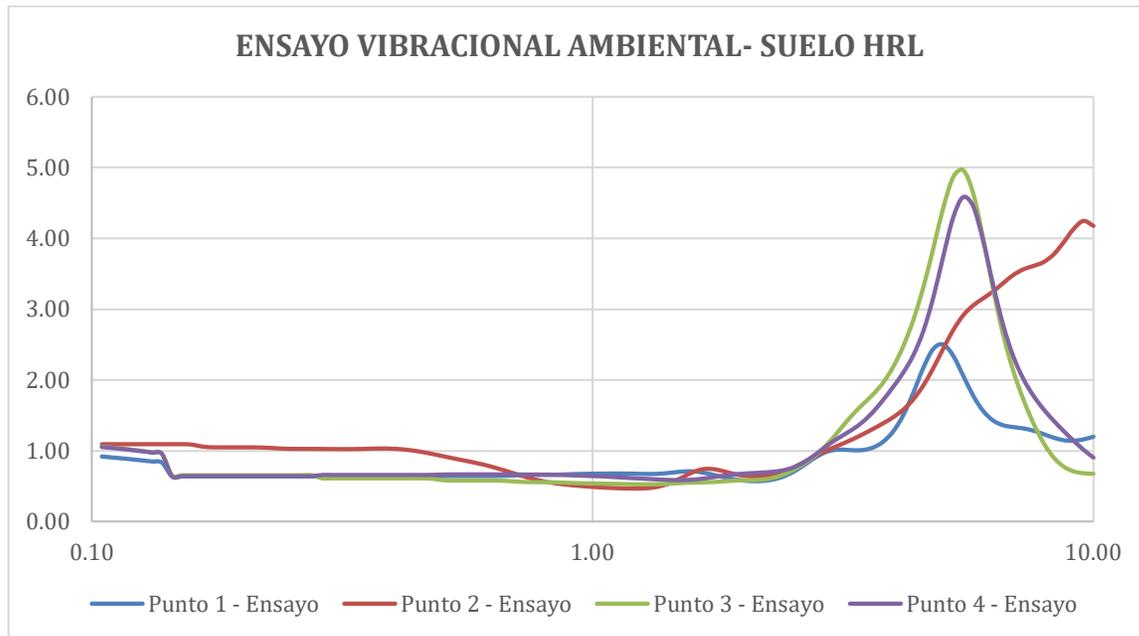
Fuente: Elaboración Propia (2023).

Los cuatro puntos del ensayo de vibración ambiental realizado en suelo cumplen con el criterio SESAME, sin embargo, los puntos 1 y 2 presentaron señales alteradas por vibraciones externas (personas, viento, tráfico, etc.), tal y cómo se muestra en la figura 154, por lo que estos dos registros no serían del todo confiables

para la determinación de Vs30, mientras que los puntos 3 y 4 presentan una lectura similar entre si y comparten una señal limpia.

Figura 149

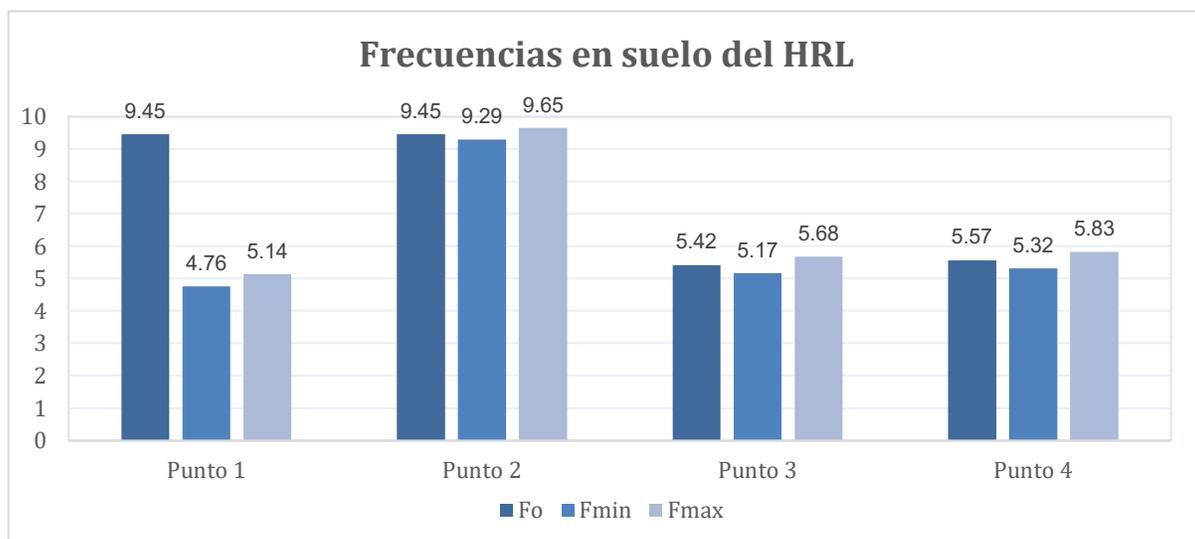
Curvas medias H/V resultante del ensayo de vibración ambiental en suelo



Nota. La figura las curvas medias H/V de los 4 puntos obtenidos del ensayo de vibración ambiental.

Figura 150

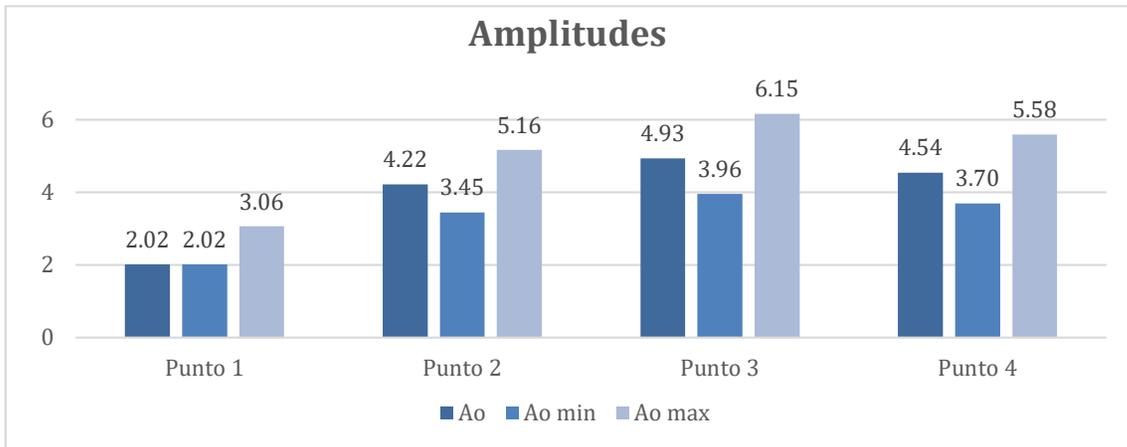
Frecuencias mínimas, medias y máximas en suelo



Fuente: Elaboración Propia (2023).

Figura 151

Amplitud mínimas, medias y máximas en suelo

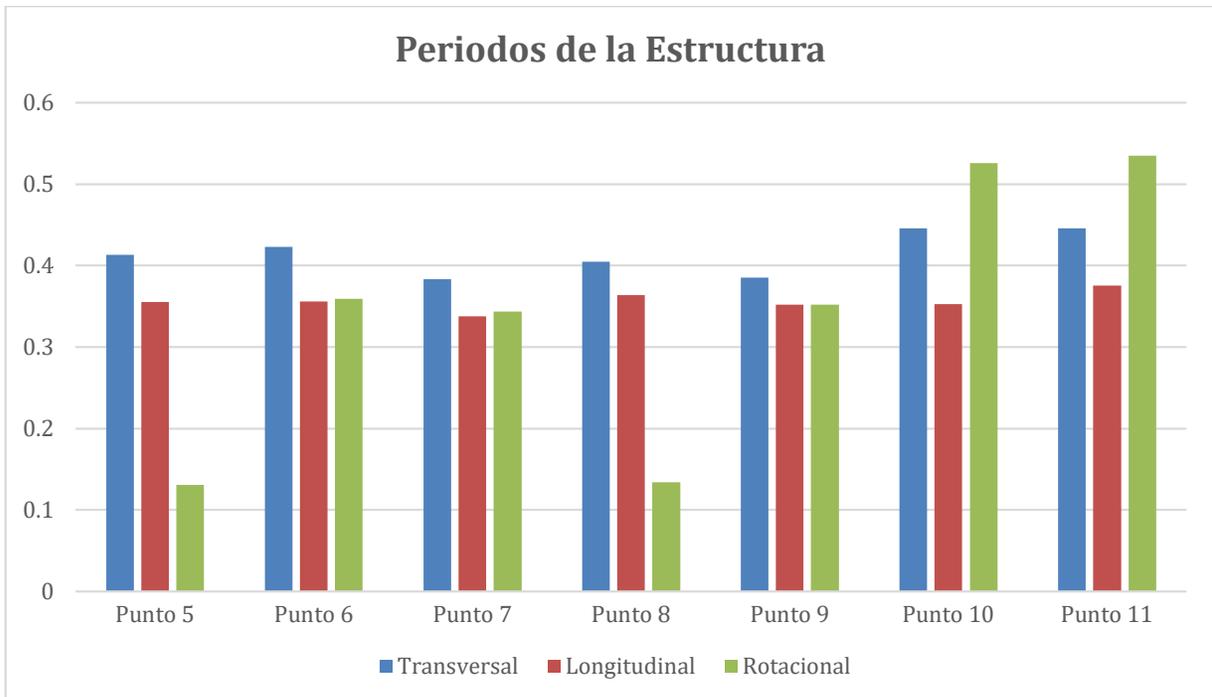


Fuente: Elaboración Propia (2023).

Se determinó el periodo fundamental de la estructura en los 7 puntos realizados del ensayo de vibración ambiental, para realizar una comparación de datos con los resultados obtenidos del software Etabs.

Figura 152

Periodos de la Estructura según Ensayo



Fuente. Elaboración propia (2023).

5.2 Velocidad de Ondas de Corte

Se obtuvieron las velocidades de ondas de corte promedio (V_{s30}) empleando el software Geopsy Dinver, empleando del perfil estratigráfico y la curva inversa H/V de cada punto analizado con el ensayo de vibración ambiental en suelo.

Tabla 137

Velocidades de ondas de corte punto 1

Estrato	Profundidad		Vs (m/s)	Hi	Hi/Vsi
	Zi (m)	Zf (m)			
1	0	2.40038494	169.425434	2.40038494	0.0141678
2	2.40038494	5.01389152	305.242864	2.61350658	0.00856206
3	5.01389152	18.8377933	343.961134	13.8239018	0.0401903
4	18.8377933	30.00000	841.412028	11.1622067	0.01326604
				30.00	0.0761862
				$V_{s30} =$	393.77 m/s

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 138

Velocidades de ondas de corte punto 2

Estrato	Profundidad		Vs (m/s)	Hi	Hi/Vsi
	Zi (m)	Zf (m)			
1	0	1.18430443	50.2003002	1.18430443	0.02359158
2	1.18430443	4.96424903	143.521519	3.7799446	0.02633713
3	4.96424903	30	317.846366	25.035751	0.07876683
				30.00	0.12869554
				$V_{s30} =$	233.11 m/s

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Tabla 139*Velocidades de ondas de corte punto 3*

Estrato	Profundidad		Vs (m/s)	Hi	Hi/Vsi
	Zi (m)	Zf (m)			
1	0	3.04785192	127.046964	3.0478519 2	0.02398996
2	3.04785192	9.10872018	181.338973	6.0608682 5	0.03342287
3	9.10872018	10.2665902	518.180587	1.1578700 1	0.00223449
4	10.2665902	30.00000	592.444294	19.733409 8	0.03330846
				30.00	0.09295578
				Vs₃₀=	322.73 m/s

Fuente: Elaboración Propia (2023).

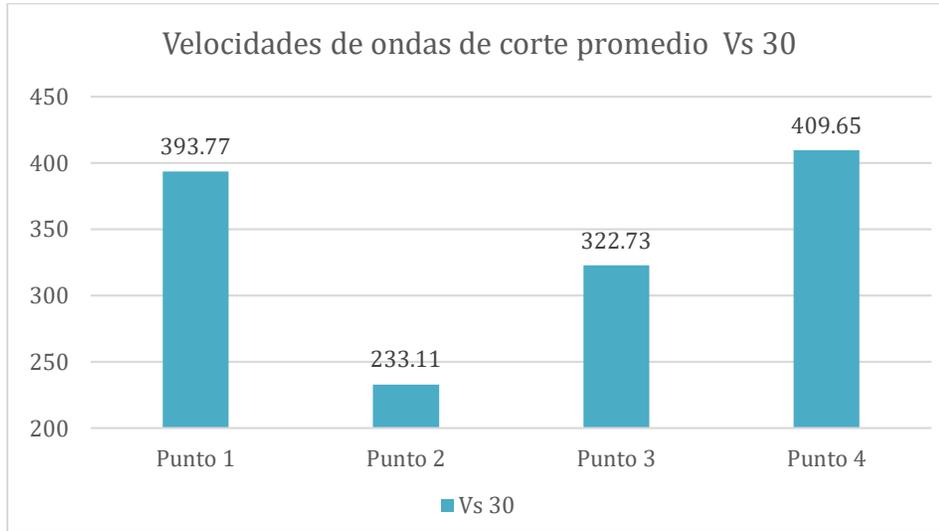
Tabla 140*Velocidades de ondas de corte punto 4*

Estrato	Profundidad		Vs (m/s)	Hi	Hi/Vsi
	Zi (m)	Zf (m)			
1	0	1.7987096	167.740461	1.7987096	0.01072317
2	1.7987096	6.1179005	229.579676	4.3191908 9	0.01881347
3	6.1179005	15.7487214	327.194126	9.6308208 7	0.02943458
4	15.7487214	30.00000	999.240533	14.251278 6	0.01426211
				30.00	0.07323333
				Vs₃₀=	409.65 m/s

Fuente: Elaboración Propia (2023).

Figura 153

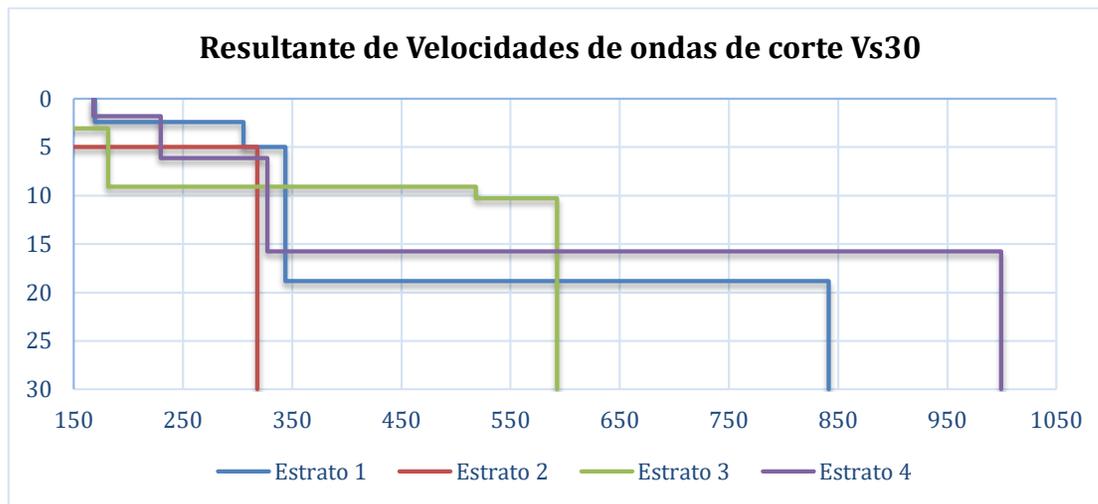
Velocidades de ondas de corte promedio Vs30



Fuente. Elaboración propia (2023).

Figura 154

Velocidades de ondas de corte para los cuatro estratos



Fuente. Elaboración propia (2023).

5.3 Fuerza cortante, desplazamientos y derivas

Se obtuvieron como resultados los desplazamientos máximos, cortantes, y derivas máximas para el caso de los tres registros sísmicos empleados, y para cada tipo de sismo (Sismo de Diseño, Sismo de Servicio y Sismo Máximo).

Tabla 141

Cortantes, desplazamientos y derivas del ADNL

Sismo	Variable	ADNL					
		Sismo de Diseño		Sismo de Servicio		Sismo Máximo	
		EW	NS	EW	NS	EW	NS
Lima 1966	Desplazamiento Máximo (m)	0.1682	0.1037	0.0845	0.0514	0.2444	0.1669
	Cortante Basal (Tonf)	24288.07	21647.46	11692.69	10940.14	34520.76	35174.43
	Deriva Máxima (m)	0.0117	0.0049	0.0060	0.0024	0.0174	0.0072
	Desplazamiento Máximo (m)	0.1321	0.1134	0.0697	0.0148	0.1960	0.1734
Ancash 1970	Cortante Basal	28104.12	20591.91	13600.77	2969.73	41019.53	32018.95
	Deriva Máxima (m)	0.0102	0.0050	0.005317	0.000629	0.015	0.0076
	Desplazamiento Máximo (m)	0.1604	0.095	0.0758	0.05398	0.2513	0.1494
	Cortante Basal	23732.48	22038.02	11459.77	11590.32	35391.81	33294.54
Loreto 2019	Deriva Máxima (m)	0.010348	0.0043	0.0052	0.0024	0.01660	0.0068

Fuente. Elaboración propia (2023).

Tabla 142

Desempeño Sísmico para sismo de Lima de 1966

Demanda Sísmica	1966 - NS	Objetivo de Desempeño	1966 - EW	Objetivo de Desempeño
Servicio	0.0024	Ocupación inmediata	0.006	Ocupación inmediata
Diseño	0.0049	Ocupación inmediata	0.0117	Control de Daño
Máximo	0.0072	Ocupación inmediata	0.0174	Seguridad de vida

Fuente. Elaboración propia (2023).

Tabla 143*Desempeño Sísmico para sismo de Ancash de 1970*

Demanda Sísmica	1970 - NS	Objetivo de Desempeño	1970 - EW	Objetivo de Desempeño
Servicio	0.0006	Ocupación inmediata	0.0053	Ocupación inmediata
Diseño	0.0050	Ocupación inmediata	0.0102	Control de Daño
Máximo	0.0076	Ocupación inmediata	0.0151	Control de Daño

Fuente. Elaboración propia (2023).

Tabla 144*Desempeño Sísmico para sismo de Loreto de 2019*

Demanda Sísmica	2019 - NS	Objetivo de Desempeño	2019 - EW	Objetivo de Desempeño
Servicio	0.0024	Ocupación inmediata	0.0052	Ocupación inmediata
Diseño	0.0043	Ocupación inmediata	0.0103	Control de Daño
Máximo	0.0068	Ocupación inmediata	0.0166	Seguridad de vida

Fuente. Elaboración propia (2023).

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contratación de Hipótesis

6.1.1 Hipótesis general HG: Desempeño sísmico

H.G.: Se obtiene un nivel de desempeño sísmico: Ocupación Inmediata, aplicando un análisis dinámico no lineal con acelerogramas sintéticos según la norma ATC-40 en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la provincia de Chiclayo – departamento Lambayeque

La hipótesis general HG es válida en la dirección Norte-Sur, ya que al evaluar la estructura de un edificio del Hospital Regional de Lambayeque utilizando tres registros sísmicos, se obtuvo un nivel de desempeño de Ocupación Inmediata en esta dirección, mientras que en la dirección Este-Oeste, el nivel de desempeño se encuentra entre Ocupación Inmediata, Control de Daño y Seguridad de vida considerando un Sismo de Diseño, Servicio y Máximo, correspondientes al registro sísmico de Lima y Callao de 1966, Ancash de 1970 y Loreto del 2019.

Tabla 145*Discusión de Hipótesis General HG*

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
<p>HG: Se obtiene un nivel de desempeño sísmico: Ocupación, Inmediata aplicando un análisis dinámico no lineal con acelerogramas sintéticos según la norma ATC-40 en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la provincia de Chiclayo – departamento Lambayeque.</p>	<p>Análisis Dinámico no Lineal</p>	<p>El nivel de desempeño es de Ocupación Inmediata en la Dirección Norte Sur, mientras que en la dirección Este-Oeste el desempeño varía entre Ocupación Inmediata, Control de Daño y Seguridad de Vida para un Sismo de Diseño, Servicio y Máximo</p>	<p>La hipótesis es considerada válida sólo en la dirección Norte Sur.</p>

Nota. Elaboración Propia (2023).

6.1.2 Hipótesis específicas H1: Frecuencias naturales, amplitudes y periodos de vibración

Se determinó las frecuencias naturales, amplitudes y periodos de vibración del suelo y la estructura aplicando el ensayo de vibración ambiental en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional, ubicado en la provincia de Chiclayo - Departamento Lambayeque.

Tanto los registros de vibración ambiental como los registros sísmicos demostraron que el suelo amplifica las ondas sísmicas provenientes del basamento.

Se identificaron frecuencias naturales del suelo que varían entre 5.42 Hz y 5.56 Hz, con periodos de vibración que oscilan entre 0.18 y 0.185 segundos. Estos resultados fueron obtenidos mediante un ensayo de vibración ambiental y el método Nakamura.

Tabla 146

Discusión de Hipótesis Específica H1

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
<p>H1: Se determinó las frecuencias naturales, amplitudes y periodos de vibración del suelo y la estructura aplicando el ensayo de vibración ambiental en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional, ubicado en la provincia de Chiclayo - Departamento Lambayeque.</p>	<p>Ensayo de vibración ambiental</p>	<p>Se obtuvo frecuencias naturales del suelo que varían entre 5.42 Hz y 5.56 Hz, con periodos de vibración que oscilan entre 0.18 y 0.185 segundos. Estos resultados fueron obtenidos mediante un ensayo de vibración ambiental y el método Nakamura. (Cociente espectral H/V).</p>	<p>La hipótesis específica 1 es válida</p>

Nota. Elaboración Propia (2023).

6.1.3 Hipótesis específicas H2: Velocidad de ondas de corte

La velocidad de ondas de corte considerando el parámetro Vs30 permite determinar el perfil S2: Suelo Intermedio, del suelo de una edificación de 6 niveles del Hospital Regional de Lambayeque.

La velocidad de ondas de corte a 30 metros (Vs30) oscila entre los 322.73 m/s y 409.65 m/s. indicando un perfil de suelo S2: Suelo intermedio para el Hospital

Regional de Lambayeque, según la norma E.030 Diseño Sismorresistente en su capítulo 2.3.1.

Tabla 147

Discusión de Hipótesis Específica H2

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
<p>H2: La velocidad de ondas de corte considerando el parámetro Vs30 permite determinar el perfil S2: Suelo Intermedio del suelo de una edificación de 6 niveles del Hospital Regional de Lambayeque.</p>	<p>Análisis dinámico no lineal</p>	<p>La velocidad de ondas de corte a 30 metros (Vs30) oscila entre los 322.73 m/s y 409.65 m/s. indicando un perfil de suelo S2: Suelo intermedio para el Hospital Regional de Lambayeque, según la norma E.030 Diseño Sismorresistente en su capítulo 2.3.1</p>	<p>Se confirmó la hipótesis 2</p>

Fuente: Elaboración Propia (2023).

6.1.4 Hipótesis específicas H3: Fuerza cortante, desplazamientos y derivas

La fuerza cortante, desplazamientos y derivas permite obtener la respuesta de la estructura mediante un análisis dinámico no lineal para determinar el nivel de desempeño sísmico según la norma ATC-40 en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la provincia de Chiclayo – departamento Lambayeque.

Se obtuvo una fuerza cortante máxima para un sismo de diseño es de 28104.12 t, para un sismo de servicio de 13600.77 t y para un sismo máximo es 41019.53 t, un desplazamiento máximo para el sismo de diseño de 0.1682 m, para un sismo de

servicio: 0.0845 m y para un sismo máximo: 0.2513 m, las derivas máximas para sismo de diseño: 0.0117 m, para un sismo de servicio: 0.006 m y para un sismo máximo 0.0174

Tabla 148

Discusión de Hipótesis Específica H3

Hipótesis planteada	Métodos aplicados	Resultados obtenidos	Observaciones
H3: La fuerza cortante, desplazamientos y derivas permite obtener la respuesta de la estructura mediante un análisis dinámico no lineal para determinar el nivel de desempeño sísmico según la norma ATC-40 en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la provincia de Chiclayo – departamento Lambayeque.	Software Etabs. Norma E.030	La fuerza cortante máxima para el sismo de diseño es 28104.12 t, para el sismo de servicio 13600.77 t y para el sismo máximo 41019.53 t, el desplazamiento máximo para el sismo de diseño es 0.1682 m, para el sismo de servicio 0.0845 m y para el sismo máximo 0.2513 m, las derivas máximas para el sismo de diseño es 0.0117 m, para el sismo de servicio 0.006 m y para el sismo máximo es 0.0174.	La hipótesis específica 3

Nota. Elaboración propia (2023)

6.2 Contrastación con Antecedentes

6.2.1 Antecedentes Internacionales

Galarza (2019) En su tesis “*Evaluación del Desempeño Sísmico del edificio de la Oscus mediante comparación del análisis estático no lineal (Pushover), Análisis estático modal (Pushover multimodal) y Dinámico no-lineal (Historia de*

respuesta)”, objetivo principal fue evaluar el comportamiento sísmico en períodos de vibración superiores a 1 segundo. Para ello, se emplearon el espectro de respuesta y acelerogramas cuidadosamente seleccionados, ajustados y escalados de acuerdo con las normas NEC-SE-DS, correspondientes a un sismo con una probabilidad de excedencia del 10% en un período de retorno de 50 años. Después de llevar a cabo los tres análisis sísmicos, se observó que la estructura alcanza su desplazamiento máximo antes de alcanzar el desplazamiento objetivo deseado, lo cual indica una notable inconsistencia en su comportamiento sísmico y revela una alta vulnerabilidad y riesgo potencial de colapso. En conclusión, se determinó que los métodos estáticos no lineales discutidos difieren en su aplicación, simplicidad, transparencia y claridad en las bases teóricas, pero tienen la misma base en términos generales.

Tabla 149

Discusión de Antecedentes Internacionales

Antecedente internacional	Método aplicado	Resultados obtenidos	Observaciones
Galarza (2019) En su tesis “Evaluación del Desempeño Sísmico del edificio de la Ocus mediante comparación del análisis estático no lineal (Pushover), Análisis estático modal (Pushover multimodal) y Dinámico no-lineal (Historia de respuesta)”,	Análisis estático y dinámico no lineal	El análisis Pushover, Pushover Multimodal y Dinámico no Lineal determinaron que la estructura llega a su desplazamiento máximo antes de cumplir con su desplazamiento objetivo, demostrando su alta vulnerabilidad y riesgo de posible colapso.	Las respuestas obtenidas se asemejan a nuestra investigación, concluyendo que para un sismo de diseño y máximo en la dirección Este-Oeste, las derivas superan levemente el máximo permitido, demostrando la vulnerabilidad de la edificación en esta dirección.

Nota. Elaboración propia (2023).

6.2.2 Antecedentes Nacionales

Cevasco & Condo (2020) en su tesis sobre **Análisis del comportamiento sísmico dinámico de un edificio multifamiliar de 37 niveles con disipadores de fluido viscoso en la victoria**, se llevó a cabo la evaluación de la estructura existente sin la incorporación de disipadores de fluido viscoso mediante análisis estático y dinámico, siguiendo los parámetros establecidos en la norma E.030.

Tabla 150

Discusión de Antecedentes Nacionales

Antecedente Nacional	Método aplicado	Resultados obtenidos	Observaciones
Cevasco & Condo (2020) en su tesis sobre Análisis del comportamiento sísmico dinámico de un edificio multifamiliar de 37 niveles con disipadores de fluido viscoso en la victoria.	Análisis Dinámico No lineal	Los desplazamientos de la edificación con disipadores de fluido viscoso en comparación con la estructura convencional se reducen en promedio 31.38% en la dirección X y 41.67% en la dirección Y.	Se concluye que los desplazamientos y derivas obtenidos en la presente investigación podrían reducirse con la aplicación de disipadores sísmicos.

Nota. Elaboración propia (2023).

CONCLUSIONES

1. De acuerdo con los resultados de la investigación se puede afirmar que el bloque se de 6 niveles que forma parte del Hospital Regional de Lambayeque tendrá un nivel de desempeño de ocupación inmediata en la dirección Norte-Sur mientras que en la dirección Este-Oeste el nivel de desempeño fluctúa entre ocupación inmediata, control de daño y seguridad de vida, demostrando la vulnerabilidad de la estructura
2. Mediante el ensayo de vibración ambiental se ha podido determinar que el periodo del suelo del Hospital Regional de Lambayeque oscila entre los 0.18 y 0.185 segundos y el periodo fundamental mínimo en la edificación del Bloque C es de 0.34 segundos en Norte-Sur y 0.38 segundos en Este-Oeste, indicando que la estructura no colapsará por resonancia.
3. La velocidad de ondas de corte a 30 metros (V_{s30}) oscila entre los 322.73 m/s y 409.65 m/s. indicando un perfil de suelo S2: Suelo intermedio para el Hospital Regional de Lambayeque, según la norma E.030 Diseño Sismorresistente en su capítulo 2.3.1.
4. La respuesta de la estructura del hospital nos brinda una fuerza cortante máxima de 35174.43 Ton, un desplazamiento máximo de 0.1682 m y una deriva máxima de 0.016 m.

RECOMENDACIONES

1. Emplear disipadores sísmicos en el bloque “C” del Hospital Regional de Lambayeque, para mejorar su respuesta sísmica conforme por la norma E.030 de nuestro Reglamento Nacional de Edificaciones, ya que no es factible instalar aisladores sísmicos en la estructura existente. Por lo tanto, se opta por la implementación de disipadores sísmicos como una alternativa viable para fortalecer la capacidad de resistencia sísmica del hospital.
2. Determinar la velocidad de onda de corte en suelos utilizando métodos de geofísica sísmica como el análisis de ondas de superficie o el ensayo MASW, resulta beneficioso debido a que puede complementar otros ensayos geotécnicos, como los ensayos de penetración estándar (SPT) para realizar una comparación con los resultados obtenidos del ensayo de vibración ambiental.
3. Planificar los ensayos en horarios de menor actividad humana con el objetivo de minimizar el ruido ambiental. Además, se requiere obtener registros de larga duración y libres de interferencias para garantizar un análisis preciso, ya que implica promediar los resultados en función del tiempo.
4. Profundizar dentro de las universidades el estudio del diseño por desempeño de estructuras mediante el análisis dinámico no lineal para permitir brindar una mayor seguridad en el diseño estructural de nuestras edificaciones.
5. Utilizar sismógrafos en proyectos futuros, ya que permiten realizar análisis dinámicos no lineales con resultados precisos, facilidad de manejo y a un costo reducido.

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de Consistencia del Proyecto de Investigación	204
Anexo 2 Certificado de calibración	205
Anexo 3 Especificaciones técnicas	207
Anexo 4 Expediente Técnico del Hospital Regional de Lambayeque	208
Anexo 5 Módulos del Hospital	209
Anexo 6 Plano de Cimentación del Bloque C – HRL	210
Anexo 7 Plano de Estructuras - Primer Piso	211
Anexo 8 Plano de Estructuras - Segundo Piso	212
Anexo 9 Plano de Estructuras - Tercer Piso	213
Anexo 10 Plano de Estructuras - Cuarto Piso	214
Anexo 11 Plano de Estructuras - Quinto Piso	215
Anexo 12 Plano de Estructuras - Sexto Piso	216
Anexo 13 Terreno donde se edificó el Hospital Regional de Lambayeque	217
Anexo 14 Proyección Arquitectónica 3D	218
Anexo 15 Proyección Arquitectónica 3D – Vista Interior	218
Anexo 16 Hoja de campo de las estaciones HVSR – Punto 01	219
Anexo 17 Hoja de campo de las estaciones HVSR – Punto 03 en suelo	220
Anexo 18 Hoja de campo de las estaciones HVSR – Punto 05 en estructura	221
Anexo 19 Hoja de campo de las estaciones HVSR – Punto 06 en estructura	222
Anexo 20 Frecuencias y amplitudes para la curva H/V del punto 1	223
Anexo 21 Frecuencias y amplitudes para la curva H/V del punto 2	227
Anexo 22 Frecuencias y amplitudes para la curva H/V del punto 3	231

ANEXO 1

Matriz de Consistencia del Proyecto de Investigación

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensión	Indicador	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente			Diseño
¿Cuál es el nivel de desempeño sísmico según la norma ATC-40 aplicando un análisis dinámico no lineal con acelerogramas sintéticos en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la provincia de Chiclayo - departamento Lambayeque?	Determinar el nivel de desempeño sísmico aplicando un análisis dinámico no lineal con acelerogramas sintéticos según la norma ATC-40 en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la provincia de Chiclayo - departamento Lambayeque.	Se obtiene un nivel de desempeño sísmico: Ocupación Inmediata , aplicando un análisis dinámico no lineal con acelerogramas sintéticos según la norma ATC-40 en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la provincia de Chiclayo - departamento Lambayeque.	X: Análisis Dinámico No lineal	Ensayo de Vibración Ambiental	Frecuencias Naturales	Diseño de Investigación No Experimental
					Amplitudes	
					Periodos de Vibración	Nivel de Investigación Explicativo
				Acelerogramas sintéticos	Espectro de Diseño	Tipo de investigación Aplicada
				Respuesta de la Estructura	Fuerza cortante, Desplazamiento y Derivas	
Problema Específicos	Objetivo Específicos	Hipótesis Específicas	Variable Dependiente			Muestra
¿Cuáles el impacto de la aplicación del ensayo de vibración ambiental en suelo y estructura en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional, ubicado en la provincia de Chiclayo - Departamento Lambayeque?	Determinar el impacto del ensayo de vibración ambiental en suelo y en estructura en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional, ubicado en la provincia de Chiclayo - Departamento Lambayeque	Se determinó las frecuencias naturales, amplitudes y periodos de vibración del suelo y la estructura aplicando el ensayo de vibración ambiental en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional, ubicado en la provincia de Chiclayo - Departamento Lambayeque.	Y: Desempeño Sísmico	Niveles de desempeño	Ocupación Inmediata Control de Daño Seguridad de vida Estabilidad estructural	La población está conformada por la estructura de concreto armado del Hospital Regional de Lambayeque, ubicado en la zona sísmica 4.
						La muestra se enfoca en el Bloque C , correspondiente a la estructura del Hospital Regional de Lambayeque, consta de 6 niveles y un área de 2,529.36 8 m ² .
¿Cómo influye la velocidad de ondas de corte considerando el parámetro Vs30 en el suelo de una edificación de 6 niveles del Hospital Regional de Lambayeque?	Estimar modelos de velocidad de ondas de corte considerando el parámetro Vs30 en el suelo de una edificación de 6 niveles del Hospital Regional de Lambayeque.	La velocidad de ondas de corte considerando el parámetro Vs30 permite determinar el perfil S2: Suelo Intermedio del suelo de una edificación de 6 niveles del Hospital Regional de Lambayeque.				Instrumentos
¿Cuál es la respuesta de la estructura mediante un análisis dinámico no lineal de una edificación de 6 niveles del Hospital Regional de Lambayeque?	Obtener la respuesta de la estructura mediante un análisis dinámico no lineal en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la provincia de Chiclayo - departamento Lambayeque.	La fuerza cortante, desplazamientos y derivas permite obtener la respuesta de la estructura mediante un análisis dinámico no lineal en una edificación de 6 niveles del Hospital Regional ubicado en la provincia de Chiclayo - departamento Lambayeque.				Observación: Expediente Técnico del Hospital Regional de Lambayeque. Equipos: Sismógrafo de banda ancha, sensor y dron profesional. Encuestas: 12 profesionales expertos Software: Geopsy, Dinver, SeismoSignal y Etabs.
						Procedimiento El procedimiento consiste en modelar estructuralmente una la edificación de 6 niveles del Hospital Regional de Lambayeque, realizar el análisis dinámico no lineal empleando acelerogramas sintéticos y someter a la edificación a estos sismos y evaluar el nivel de desempeño a través de normativas nacionales e internacionales.

ANEXO 1

Certificado de calibración



SARA electronic instruments s.r.l.
06129 – Perugia – Via A.Mercuri, 4 – ITALY
Tel. +39 075 5051014 Fax +39 075 5006315
cap.soc 100.000,00€ i.v.
<http://www.sara.pg.it> - email: info@sara.pg.it

Reg. Trib. Perugia N-5718 – C.C.I.A.A. 109864
C.F. e P.iva IT00380320549
N.Reg.RAEE: IT08020000001128

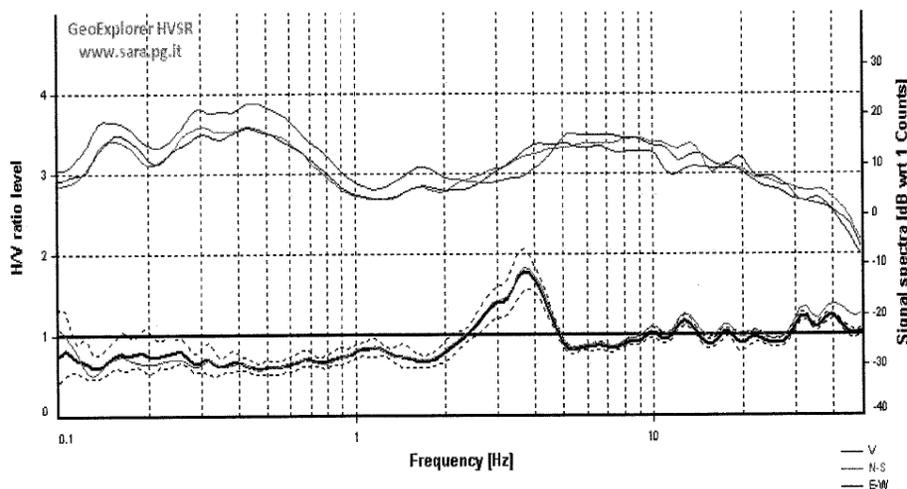
Test report unità sismica: GeoBox 0,5Hz - S/N 3194
Test site: Jr. La Punta#143-B - La Molina - Lima
Date: 24/07/202 - Time: 07:47:00

Convergenza fino a 0.1Hz : ok
Forma del rapporto H/V attesa : ok

(curva di riferimento in azzurro VelBox SN3608 – 0,2Hz acquisito contemporaneamente)

Considerando dalle alte alle basse frequenze della curva H/V:

Andamento costante intorno a rapporto 1 da 50Hz a 5Hz,
andamento ascendente da 5 a 4Hz con rapporto di picco pari a 1,7
picco presente a 3,70Hz.
Movimento discendente da 3,5Hz fino a 2Hz.
Andamento costante con rapporto minore di 1, fino ad 0,1Hz.



spettro verticale: linea rossa
spettro orizzontale: linee viola (E-W) + verde (N-S)
lunghezza finestre: 180 secondi
numero di finestre utilizzate: 10

Perugia 26/07/2022

GEOSIGNAL INGENIEROS S.A.C.
Jr. La Punta#143-B- La Molina
Lima
Perù

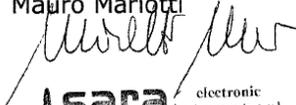
Test report GeoBox 0,5Hz - S/N 3194

Osservando i risultati del test, con il presente documento, SARA electronic instruments s.r.l. dichiara il corretto funzionamento dello strumento GeoBox da 0,5Hz numero di matricola 3194.

Si raccomanda di ripetere il test ogni 2 anni, salvo incidenti potenzialmente dannosi per lo strumento, utilizzi impropri o manomissioni.

In tali casi raccomandiamo ulteriori controlli presso il nostro rivenditore autorizzato Geosignal ingenieros s.a.c.

Direttore tecnico:

Mauro Mariotti

 electronic instruments s.r.l.
Via A. Mercuri, 4
06129 Perugia - Italia
partita IVA 00380320549

ANEXO 2

Especificaciones técnicas



SS10/05/02/01 Velocitymeters



standard

compact

The SSXX velocitymeters series are electrodynamic triaxial sensors equipped with a precision electronic circuitry which make them homogeneous and linearized, in order to obtain a flat band between the nominal resonance: 1.0, 0.5, 0.2 or 0.1Hz frequency to the upper limiting frequency of 50Hz*.

This kind of sensors represent the best alternative to mechanical 1Hz sensors and broad band sensors, for their compactness, lower cost and weight. The sensor elements can be also embedded in our SR and SL instruments.

Simplicity

The SSXX sensors are compact, reliable and ease of use. You don't need to check the damping resistors, orienting or applying mass locking devices. All these operation are automatically made by the electronic inside.

Flexibility

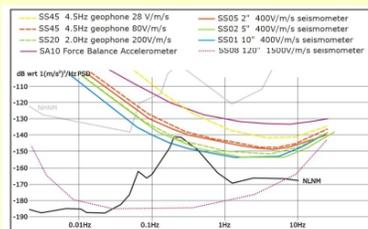
The high sensitivity allow the use also with third party digitizers/recorders. Modularity of the system allow to have monoaxial, biaxial or the standard triaxial setup in order to reduce costs and weight, where is needed. Upgrades are always possible also customization of the bandpass also after the purchase. (within some limits and sending the instruments at our labs)

Precision

The SSXX series sensors use the best electrodynamic transducer available in the market with high stability and robustness. All is assembled in a machined solid block of aluminum treated again corrosion as all our other instruments. Each unit is provided by a transfer function in poles and zeroes according to the international seismological standards for an easy ground motion restitution.

Low noise

The SSXX noise floors are measured using three channel crossed power spectral density and directly compared with the global Peterson's noise model.



Noise level are evaluated using the three channel correlation analysis according to the method explained by R. Sleeman, A. Van Wietum and J. Triampert (Bulletin of Seismological Society of America Vol.96 N1. Febr 2006).

Applications

These sensors finds one main application in the noise surveys (as Nakamura method) and microseismic and seismic monitoring; they can also be used for artificial vibration monitor (explosion, machining, etc.), structures health monitoring like dams, high raise buildings, etc.

The sensor has a low power consumption (ultra low power consumption versions available upon request), making it suitable also for remote installations with limited power sources like in volcanoes monitoring, or temporary seismic networks for aftershocks studies.

Several solutions are available for the sensor anchoring from floor or wall mounting to temporary deployment on soft soil or shallow subsoil; feel free to ask us for explanation on the available solutions.

SSXX technical feature summary

Model		10	05	02	01
Eigenperiod	s	1 (+/- 2%)	2 (+/-2%)	5 (+/-3%)	10 (+/-10%)
Useable bandwidth*	Hz	0.2--50/100	0.2--50/100	0.03--50/100	0.03--50/100
Damping	h	0.69 - 0.71	0.69 - 0.71	0.69 - 0.71	0.69 - 0.71
Sensitivity†	V/m/s	400 +/- 2%	400 +/- 2%	400 +/- 2%	400 +/- 2%
Output impedance	ohm	100	100	100	100
Tilt tolerance	°	+ / - 4	+ / - 4	+ / - 2	+ / - 1.5
Weight (3d std version)	g	2200	2200	3200	3200
Weight (3d compact)	g	1650	1650	--	--

Dimensions:

standard box 180x170x90mm
for SS10 and SS05 compact box is available 145x115x78mm

Connectors:

MIL-C 10-pin Lennartz compatible

Output:

true differential output

Protection grade:

IP68 (higher upon request)

Power supply:

9-18Vdc (9-36V upon request, power consumption changes)

Power consumption:

< 50 mA @ 12V = 0.6W 3D version

Ultra low power versions:

< 13 mA @ 12V = 0.16W 3D version

Battery:

For standard size unit, internal battery operated version available

Regulation Compliance:

CE

* Band pass for this sensor series shall be interpreted in terms of useable standard bandwidth after ground motion restitution for averaged worldwide background noise for the standard versions listed above. Some others attenuation happens inside and near outside the declared bandpass which have no practical effect. **Other bandwidths can be customised at order**; ultra low power units have no output filter, bandwidth depends on type of sensors, ask us for details.

§ It is possible to have sensor with higher or lower sensitivity to match your recording system, ask us for more information.

SARA Electronic Instruments s.r.l. reserves the right to apply in any moment modifications and changes to the features and prices of all products without any prior notice.

SARA electronic instruments s.r.l. – 06129 – Perugia – Via Armando Mercuri, 4 – ITALY
Phone: +39 075 5051014 – Fax: +39 075 5006315 - www.sara.pg.it - info@sara.pg.it
Reg. Trib. Perugia N-5718 – C.C.I.A.A. 109864 - C.F. e P.Iva 00380320549 - N.Reg.RAEE: IT0802000001128

ANEXO 3

Expediente Técnico del Hospital Regional de Lambayeque



EXPEDIENTE TÉCNICO A NIVEL DE EJECUCIÓN DE OBRA DEL PROYECTO HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE RESUMEN EJECUTIVO



VOL. 01



CONSORCIO ATA – CARDENAS Y BAUTISTA

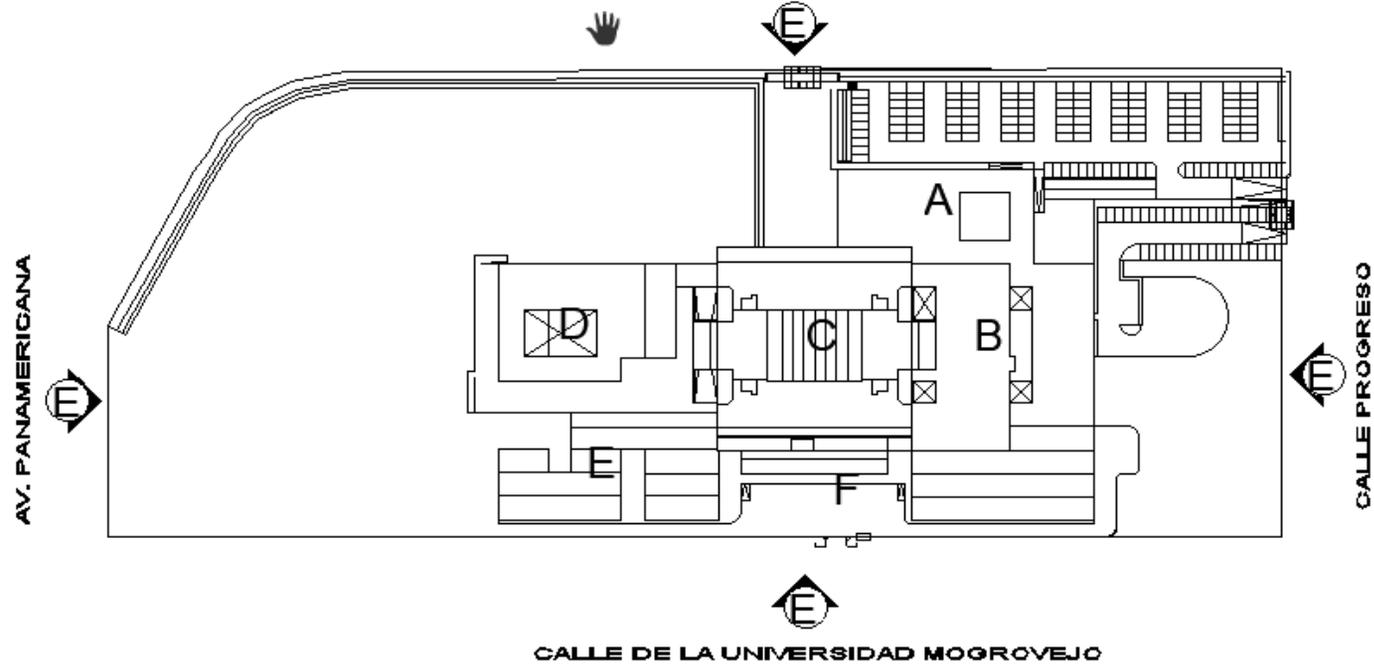


CARAVEDO

ANEXO 4

Módulos del Hospital

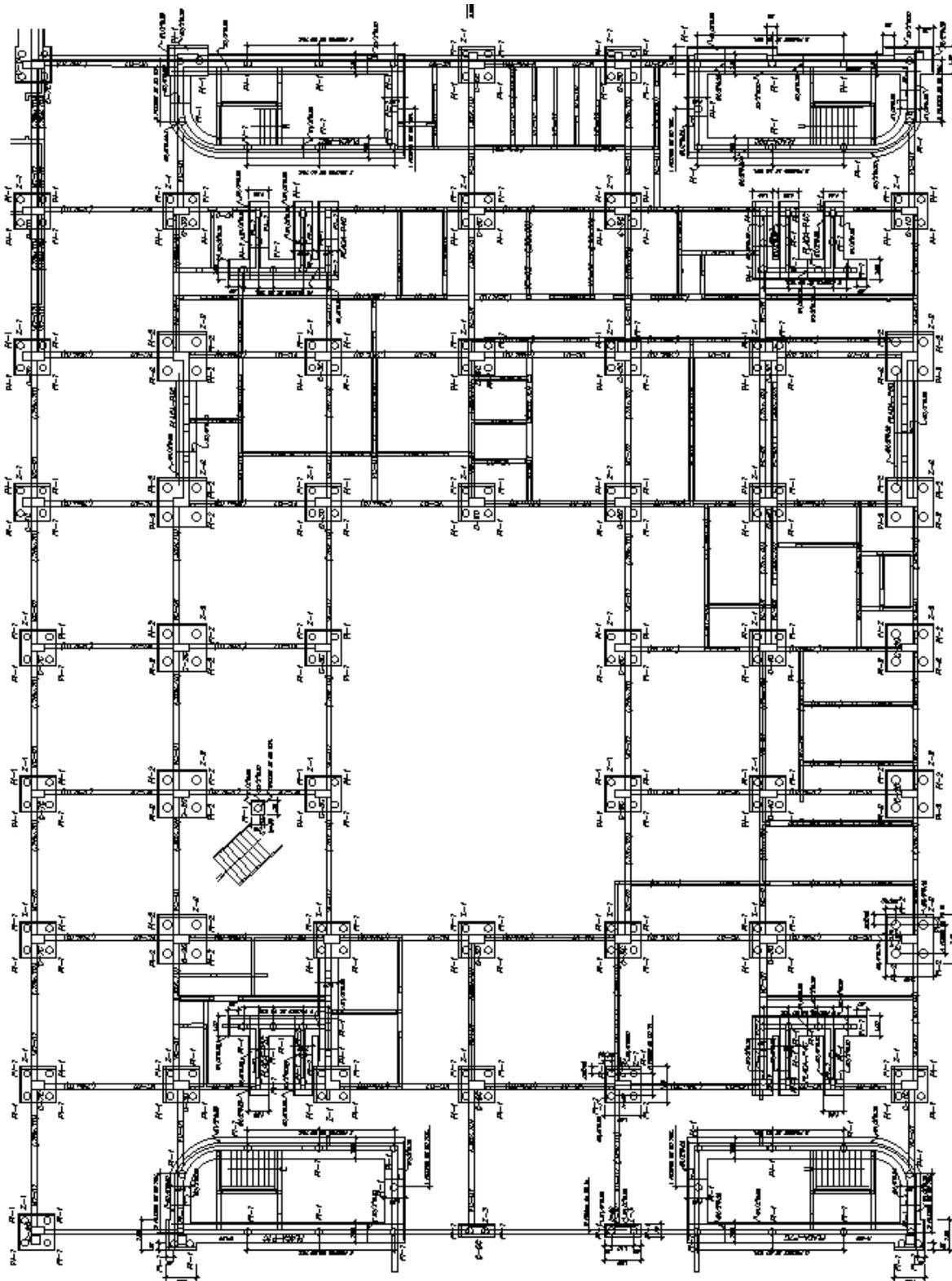
VIA DE EVITAMIENTO



CONSULTOR GOBIERNO REGIONAL ATA - OARDEKAS Y BAUTISTA		 GOBIERNO REGIONAL DE LAMBAYEQUE	PROYECTO: HOSPITAL REGIONAL DE LAMBAYEQUE	
 rene poggione + susel biondi arquitectos <small>www.poggionebiondi.com</small>			ESPECIALIDAD ARQUITECTURA	
JEFE DE PROYECTO: ARQ. JAVIER CARAVEDO CAP 0877 COORDINADOR: ARQ. CLAUDIA MELGAREJO CAP 7966 COLABORADORES: ARQ. VERONICA PEREZ ARQ. TATIANA PAIRO ARQ. LOURDES VILLEGAS		PROFESIONAL ARQ. RENE POGGIONE GONZALES CAP_3803	PLANO ELEVACION EVITAMIENTO	LÁMINA A-47
DESARROLLO	ARCHIVO HOSPITAL_LAMBAYEQUE.DWG	ESCALA 1/75	FECHA 17.NOVEMBRE.2008	

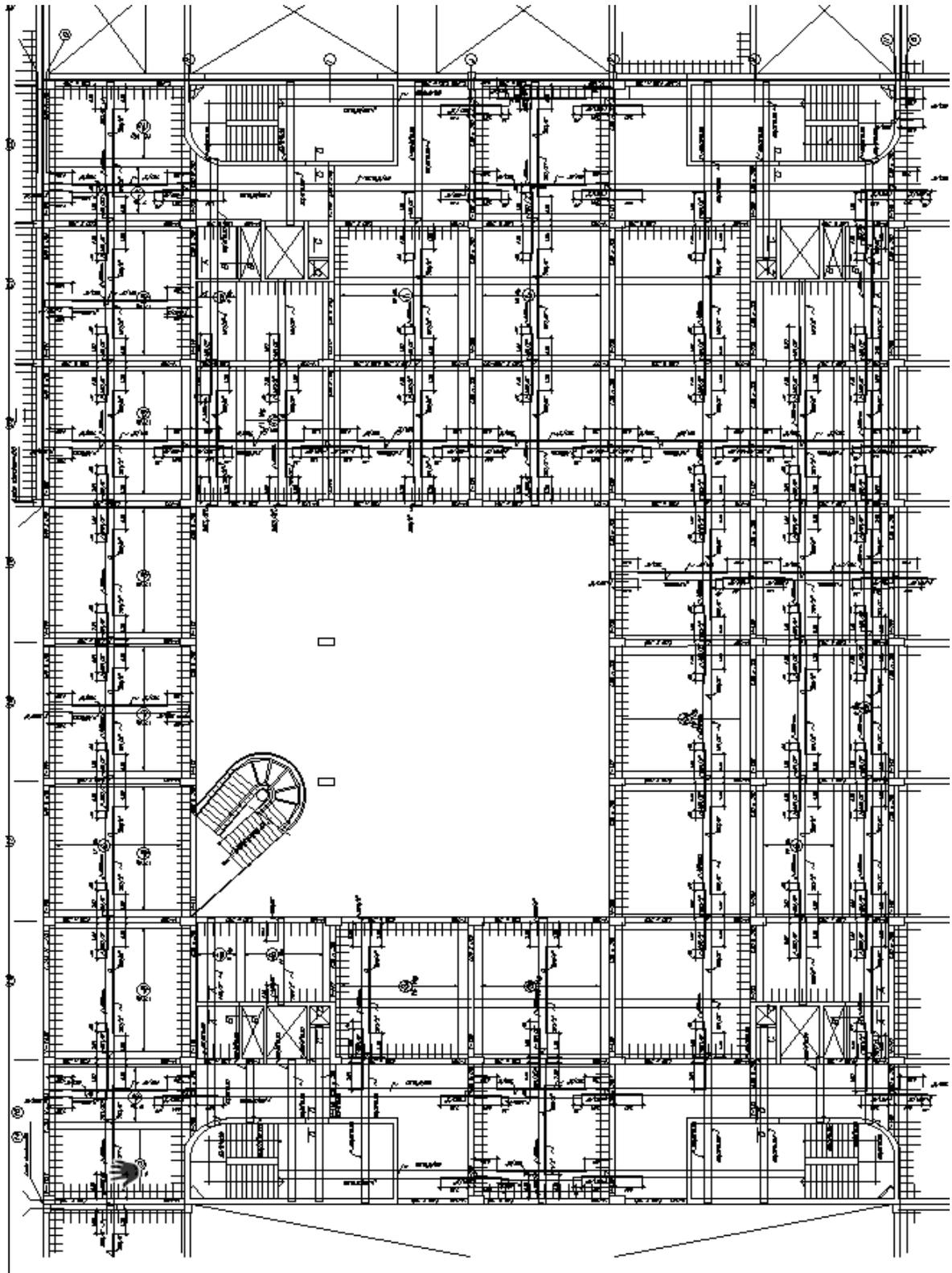
ANEXO 5

Plano de Cimentación del Bloque C – HRL



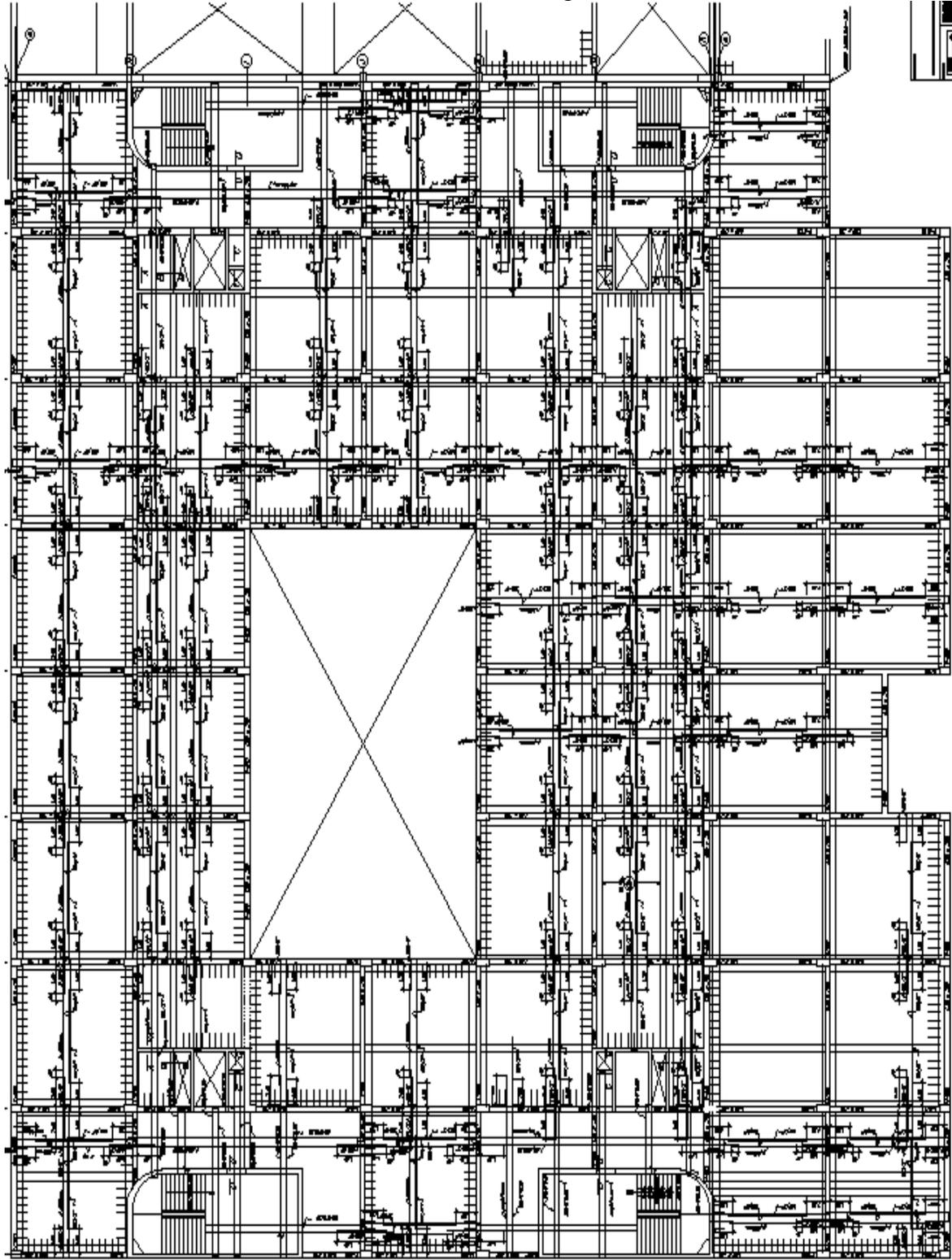
ANEXO 6

Plano de Estructuras - Primer Piso



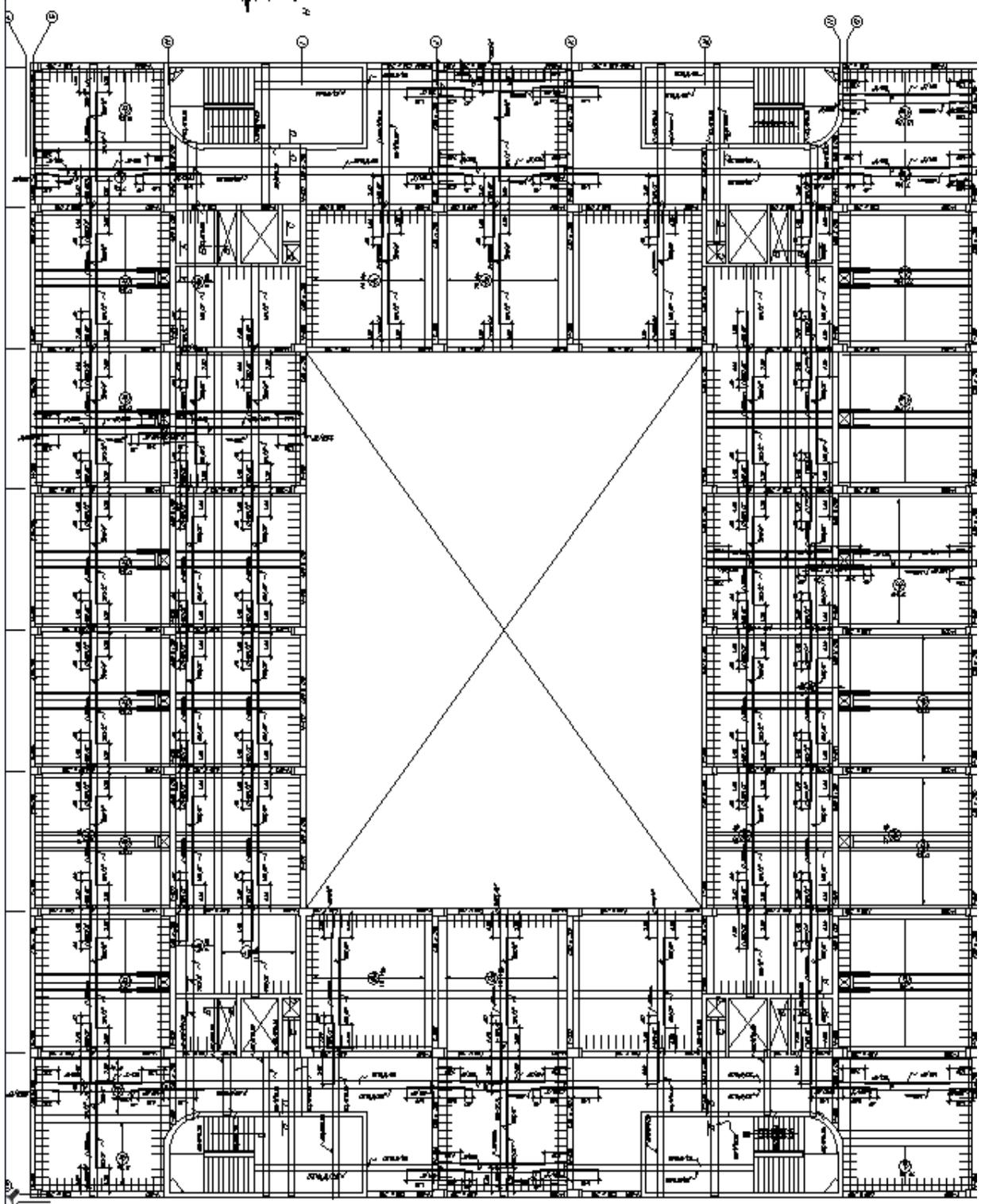
ANEXO 7

Plano de Estructuras - Segundo Piso



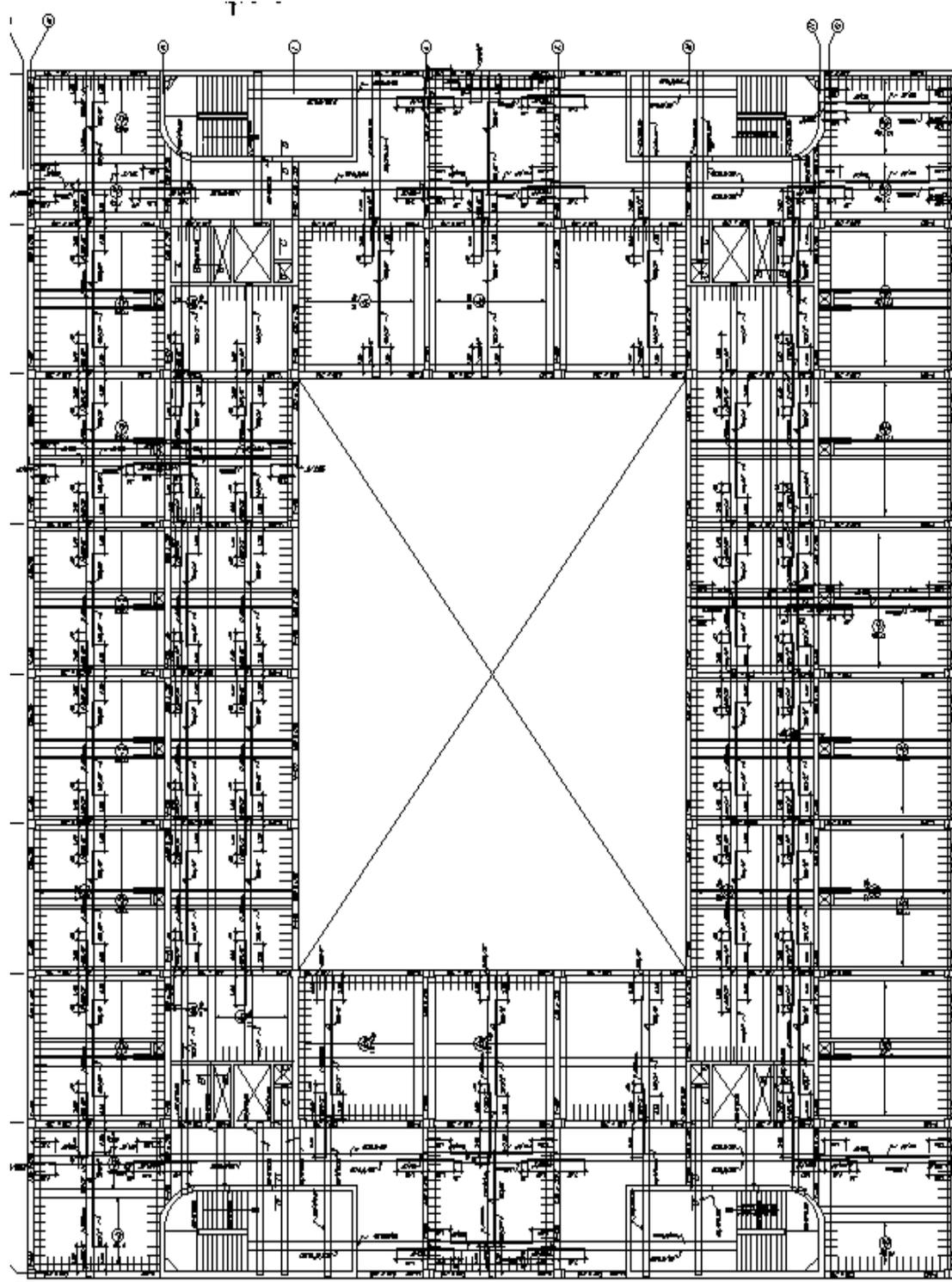
ANEXO 8

Plano de Estructuras - Tercer Piso



ANEXO 9

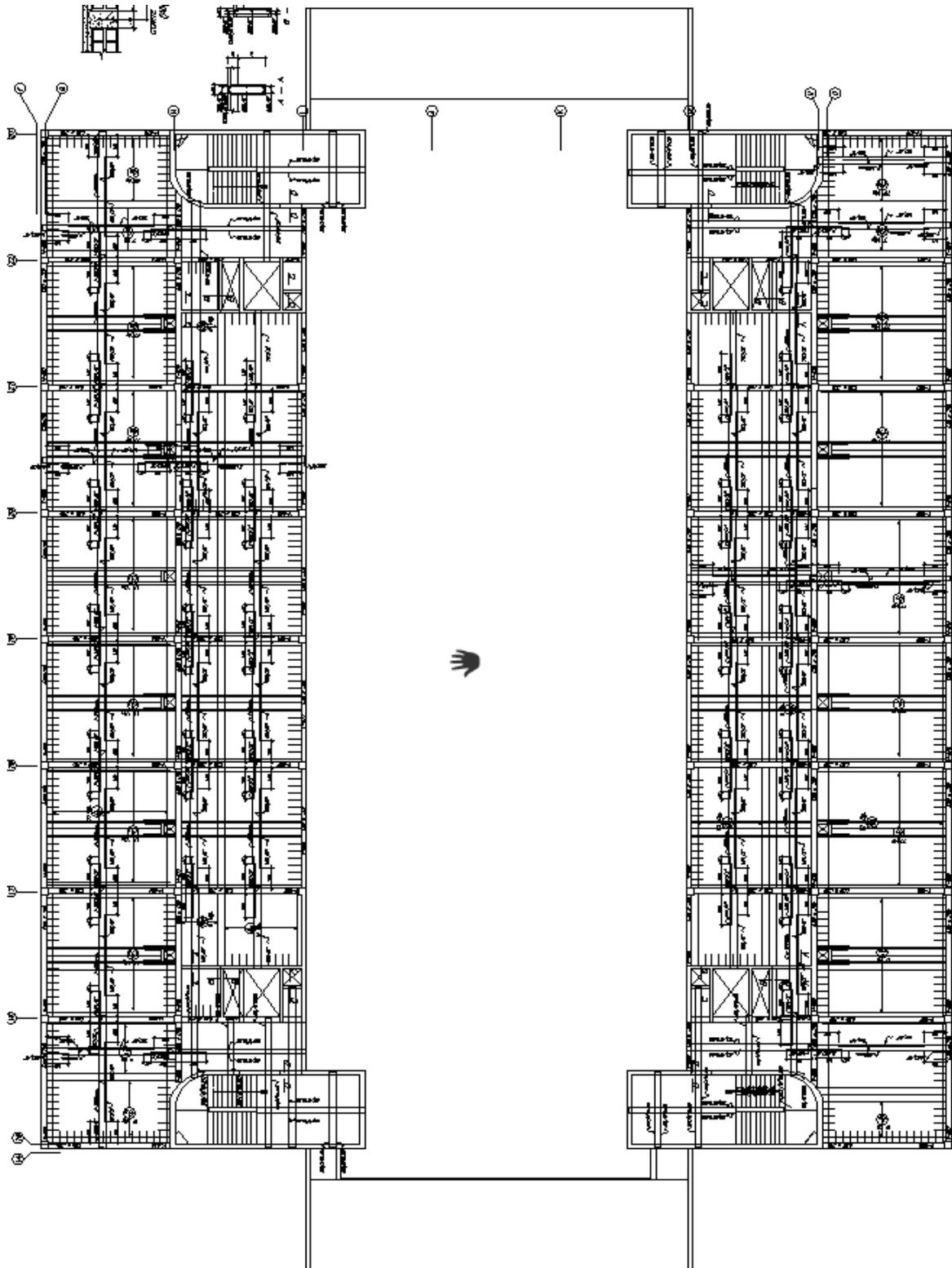
Plano de Estructuras - Cuarto Piso



PLANO DE ESTRUCTURAS TERCERA ETAPA SECTOR C (P. 4)

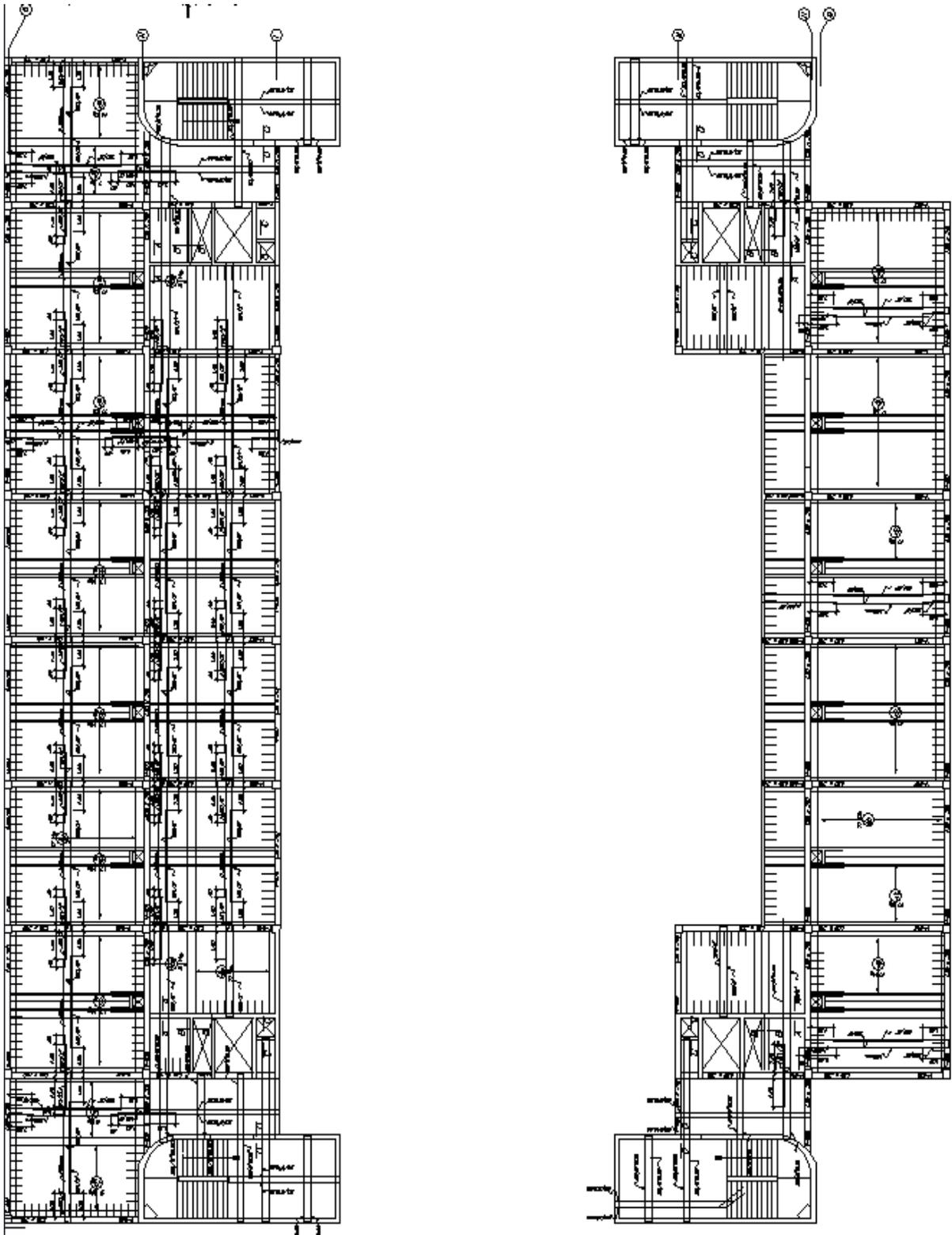
ANEXO 10

Plano de Estructuras - Quinto Piso



ANEXO 11

Plano de Estructuras - Sexto Piso



ANEXO 12

Terreno donde se edificó el Hospital Regional de Lambayeque



ANEXO 13

Proyección Arquitectónica 3D



ANEXO 14

Proyección Arquitectónica 3D – Vista Interior



ANEXO 15

Hoja de campo de las estaciones HVSR – Punto 01

HOJA DE CAMPO DE LAS ESTACIONES HVSR											
Operador Tatiana Santamaria			Fecha 26/04/2023			Proyecto Tesis USMP					
Nº de estación S - 01			Dirección Hospital Regional de Lambayeque								
Coordenadas											
Latitud		° 45' 40.58496"		Longitud		79°51'45.1616"					
Instrumentación empleada Sismografo Triaxial marca GeoBox			Nº Foto 001			Nombre del archivo S-01					
Hora de inicio de grabación: 9:24 am			Hora final de grabación: 9:55 am			Frecuencia de muestreo 600 Hz					
Condiciones climáticas		Viento		<input type="checkbox"/> sin	<input checked="" type="checkbox"/> débil	<input type="checkbox"/> moderado	<input type="checkbox"/> fuerte				
		Lluvia		<input checked="" type="checkbox"/> sin	<input type="checkbox"/> débil	<input type="checkbox"/> moderado	<input type="checkbox"/> fuerte				
Tipo de terreno		Temperatura:		Comentarios:							
		<input checked="" type="checkbox"/> Tierra	<input type="checkbox"/> dura	<input type="checkbox"/> Grava	<input type="checkbox"/> Arena	<input type="checkbox"/> Roca	<input type="checkbox"/> Hierba				
		<input type="checkbox"/> suave	<input type="checkbox"/> Asfalto	<input type="checkbox"/> Hormigón	<input type="checkbox"/> Adoquin	<input type="checkbox"/> Otros					
		<input type="checkbox"/> Suelo seco	<input type="checkbox"/> Suelo húmedo	Comentarios							
Acoplamiento sensor/terreno:		<input checked="" type="checkbox"/> natural	<input type="checkbox"/> enterrado	<input type="checkbox"/> artificial	<input type="checkbox"/> adecuado	Comentarios					
Densidad de construcción:		<input checked="" type="checkbox"/> ninguna	<input type="checkbox"/> dispersa	<input type="checkbox"/> densa	<input type="checkbox"/> otros	Comentarios					
TRÁFICO		ninguno	poco	moderado	denso	muy denso	Distancia				
				X						100m	
			X								
			X								10 m
Fuentes de ruido (fábricas, obras,bombas,ríos,...)											
ninguno		<input checked="" type="checkbox"/>	si		tipo y distancia:						
ESTRUCTURAS CERCANAS (Árboles, pozos, construcciones, puentes, estructuras enterradas, tuberías, quebradas, edificios)											
árboles											

ANEXO 16

Hoja de campo de las estaciones HVSR – Punto 03 en suelo

HOJA DE CAMPO DE LAS ESTACIONES HVSR									
Operador Marco Reyes		Fecha 26/04/2023			Proyecto Tesis USMP				
Nº de estación S-03		Dirección Hospital Regional de Lambayeque							
Coordenadas									
Latitud 6° 45' 43.27992		Longitud 79° 51' 45.56808							
Instrumentación empleada Sismografo Triaxial marca GeoBox				Nº Foto 003		Nombre del archivo S-03			
Hora de inicio de grabación: 11:25 am		Hora final de grabación: 11:55 am			Frecuencia de muestreo 600 Hz				
Condiciones climaticas	Viento		<input type="checkbox"/> sin	<input checked="" type="checkbox"/> débil	<input type="checkbox"/> moderado	<input type="checkbox"/> fuerte			
	Lluvia		<input checked="" type="checkbox"/> sin	<input type="checkbox"/> débil	<input type="checkbox"/> moderado	<input type="checkbox"/> fuerte			
	Temperatura:		Comentarios:						
Tipo de terreno	<input checked="" type="checkbox"/> Tierra	<input type="checkbox"/> dura	<input type="checkbox"/> Grava	<input type="checkbox"/> Arena	<input type="checkbox"/> Roca	<input type="checkbox"/> Hierba			
	<input type="checkbox"/> Asfalto	<input type="checkbox"/> suave	<input type="checkbox"/> Hormigón	<input type="checkbox"/> Adoquin	<input type="checkbox"/> Otros				
	<input type="checkbox"/> Suelo seco	<input type="checkbox"/> Suelo húmedo	Comentarios						
Acoplamiento sensor/terreno:		<input type="checkbox"/> natural	<input checked="" type="checkbox"/> enterrado	<input type="checkbox"/> artificial	<input type="checkbox"/> adecuado	Comentarios			
Densidad de construcción:		<input checked="" type="checkbox"/> ninguna	<input type="checkbox"/> dispersa	<input type="checkbox"/> densa	<input type="checkbox"/> otros	Comentarios			
TRÁFICO									
	ninguno	poco	moderado	denso	muy denso	Distancia			
Carrros			X			100m			
Camiones		X							
Pedones		X				10 m			
Otras									
Fuentes de ruido (fábricas, obras,bombas,ríos,...)									
ninguno		<input checked="" type="checkbox"/> si	tipo y distancia:						
ESTRUCTURAS CERCANAS (Arboles, pozos, construcciones, puentes, estructuras enterradas, tuberías, quebradas, edificios)									
árboles									

ANEXO 17

Hoja de campo de las estaciones HVSR – Punto 05 en estructura

HOJA DE CAMPO DE LAS ESTACIONES HVSR												
Operador: Tatiana Santamaria			Fecha: 26/04/2023			Proyecto: Tesis USMP						
N° de estación: E-05			Dirección: Hospital Regional de Lambayeque									
Coordenadas												
Latitud: S 6° 45' 42.7104"		Longitud: 79° 51' 47.5192										
Instrumentación empleada: Sismografo Triaxial marca GeoBox			N° Foto: 009		Nombre del archivo: Punto 009							
Hora de inicio de grabación: 15:59 pm			Hora final de grabación: 16:01 pm			Frecuencia de muestreo: 600 Hz						
Condiciones climáticas	Viento		<input checked="" type="checkbox"/>	sin	<input type="checkbox"/>	débil	<input type="checkbox"/>	moderado	<input type="checkbox"/>	fuerte		
	Lluvia		<input checked="" type="checkbox"/>	sin	<input type="checkbox"/>	débil	<input type="checkbox"/>	moderado	<input type="checkbox"/>	fuerte		
		Temperatura:		Comentarios:								
Tipo de terreno	<input type="checkbox"/>	Tierra	<input type="checkbox"/>	dura	<input type="checkbox"/>	Grava	<input type="checkbox"/>	Arena	<input type="checkbox"/>	Roca	<input type="checkbox"/>	Hierba
			<input type="checkbox"/>	suave								
	<input checked="" type="checkbox"/>	Asfalto	<input type="checkbox"/>	Hormigón	<input type="checkbox"/>	Adoquin	<input type="checkbox"/>	Otros				
	<input type="checkbox"/>	Suelo seco	<input type="checkbox"/>	Suelo húmedo	Comentarios:							
Acoplamiento sensor/terreno:			<input checked="" type="checkbox"/>	natural	<input type="checkbox"/>	enterrado	<input type="checkbox"/>	artificial	<input type="checkbox"/>	adecuado	Comentarios:	
Densidad de construcción:			<input checked="" type="checkbox"/>	ninguna	<input type="checkbox"/>	dispersa	<input type="checkbox"/>	densa	<input type="checkbox"/>	otros	Comentarios:	
TRÁFICO												
	ninguno	poco	moderado	denso	muy denso	Distancia						
Carrros			<input checked="" type="checkbox"/>			200 m						
Camiones		<input checked="" type="checkbox"/>										
Peatones		<input checked="" type="checkbox"/>				10 m						
Otras												
Fuentes de ruido (fábricas, obras, bombas, ríos, ...)												
ninguno		<input checked="" type="checkbox"/>	si	tipo y distancia:								
ESTRUCTURAS CERCANAS (Arboles, pozos, construcciones, puentes, estructuras enterradas, tuberías, quebradas, edificios)												

ANEXO 18

Hoja de campo de las estaciones HVSR – Punto 06 en estructura

HOJA DE CAMPO DE LAS ESTACIONES HVSR																																												
Operador Marco Reyes			Fecha 26/04/2023			Proyecto Tesis USMP																																						
Nº de estación E-06			Dirección Hospital Regional de Lambayeque																																									
Coordenadas																																												
Latitud		S 6° 45' 42.7104"		Longitud		79° 51' 48.0402"																																						
Instrumentación empleada Sismografo Triaxial marca GeoBox			Nº Foto 006			Nombre del archivo Punto 006																																						
Hora de inicio de grabación: 16:08 pm			Hora final de grabación: 16:11 pm			Frecuencia de muestreo 600 Hz																																						
Condiciones climáticas		Viento		<input type="checkbox"/> sin	<input checked="" type="checkbox"/> débil	<input type="checkbox"/> moderado	<input type="checkbox"/> fuerte																																					
		Lluvia		<input checked="" type="checkbox"/> sin	<input type="checkbox"/> débil	<input type="checkbox"/> moderado	<input type="checkbox"/> fuerte																																					
Tipo de terreno		Temperatura:		Comentarios:																																								
		<input type="checkbox"/> Tierra	<input type="checkbox"/> dura	<input type="checkbox"/> Grava	<input type="checkbox"/> Arena	<input type="checkbox"/> Roca	<input type="checkbox"/> Hierba																																					
		<input type="checkbox"/> suave	<input type="checkbox"/> Hormigón	<input type="checkbox"/> Adoquin	<input type="checkbox"/> Otros																																							
		<input checked="" type="checkbox"/> Asfalto	<input type="checkbox"/> Suelo seco	<input type="checkbox"/> Suelo húmedo	Comentarios																																							
Acoplamiento sensor/terrero:		<input checked="" type="checkbox"/> natural	<input type="checkbox"/> enterrado	<input type="checkbox"/> artificial	<input type="checkbox"/> adecuado	Comentarios																																						
Densidad de construcción:		<input checked="" type="checkbox"/> ninguna	<input type="checkbox"/> dispersa	<input type="checkbox"/> densa	<input type="checkbox"/> otros	Comentarios																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">TRÁFICO</th> <th style="text-align: center;">ninguno</th> <th style="text-align: center;">poco</th> <th style="text-align: center;">moderado</th> <th style="text-align: center;">denso</th> <th style="text-align: center;">muy denso</th> <th style="text-align: center;">Distancia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carros</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">200 m</td> </tr> <tr> <td>Camiones</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peatones</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">10 m</td> </tr> <tr> <td>Otras</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		TRÁFICO	ninguno	poco	moderado	denso	muy denso	Distancia	Carros			X			200 m	Camiones		X					Peatones		X				10 m	Otras							Fuentes de ruido (fábricas, obras,bombas,ríos,...)							
		TRÁFICO	ninguno	poco	moderado	denso	muy denso	Distancia																																				
		Carros			X			200 m																																				
		Camiones		X																																								
		Peatones		X				10 m																																				
Otras																																												
		<input type="checkbox"/> ninguno	<input checked="" type="checkbox"/> si	tipo y distancia:																																								
ESTRUCTURAS CERCANAS (Arboles, pozos, construcciones, puentes, estructuras enterradas, tuberías, quebradas, edificios)																																												

ANEXO 19

Frecuencias y amplitudes para la curva H/V del punto 1

Frecuencia (Hz)	FTE - 01		
	Mínima	Media	Máxima
0.105	0.541	0.922	1.573
0.110	0.541	0.910	1.530
0.115	0.541	0.897	1.486
0.120	0.540	0.883	1.442
0.126	0.540	0.868	1.397
0.132	0.538	0.853	1.351
0.138	0.536	0.836	1.305
0.145	0.382	0.641	1.075
0.151	0.382	0.641	1.075
0.158	0.382	0.641	1.075
0.166	0.382	0.641	1.075
0.174	0.382	0.641	1.075
0.182	0.382	0.641	1.075
0.191	0.382	0.641	1.075
0.200	0.382	0.641	1.075
0.209	0.382	0.641	1.075
0.219	0.382	0.641	1.075
0.229	0.382	0.641	1.075
0.240	0.382	0.641	1.075
0.251	0.382	0.641	1.075
0.263	0.382	0.641	1.075
0.275	0.382	0.641	1.075
0.288	0.413	0.638	0.984
0.302	0.413	0.638	0.984
0.316	0.413	0.638	0.984
0.331	0.413	0.638	0.984
0.347	0.413	0.638	0.984

Frecuencia (Hz)	FTE – 01		
	Mínima	Media	Máxima
0.363	0.413	0.638	0.984
0.380	0.413	0.638	0.984
0.398	0.413	0.638	0.984
0.417	0.413	0.638	0.984
0.437	0.413	0.638	0.984
0.457	0.414	0.638	0.984
0.479	0.418	0.639	0.978
0.501	0.428	0.645	0.972
0.525	0.429	0.647	0.975
0.550	0.429	0.647	0.976
0.575	0.429	0.647	0.976
0.603	0.429	0.647	0.976
0.631	0.429	0.647	0.976
0.661	0.430	0.649	0.980
0.692	0.430	0.655	0.996
0.724	0.428	0.660	1.018
0.759	0.427	0.663	1.028
0.794	0.427	0.663	1.030
0.832	0.427	0.665	1.034
0.871	0.428	0.668	1.044
0.912	0.428	0.674	1.061
0.955	0.427	0.678	1.075
1.000	0.429	0.680	1.078
1.047	0.433	0.681	1.073
1.096	0.438	0.682	1.063
1.148	0.442	0.683	1.053
1.202	0.444	0.681	1.043
1.259	0.443	0.677	1.034

Frecuencia (Hz)	FTE – 01		
	Mínima	Media	Máxima
1.318	0.444	0.676	1.030
1.380	0.449	0.683	1.038
1.445	0.458	0.697	1.059
1.514	0.465	0.711	1.085
1.585	0.458	0.713	1.109
1.660	0.431	0.696	1.125
1.738	0.397	0.666	1.118
1.820	0.371	0.633	1.078
1.905	0.360	0.604	1.014
1.995	0.360	0.584	0.948
2.089	0.368	0.575	0.900
2.188	0.381	0.578	0.877
2.291	0.405	0.597	0.881
2.399	0.438	0.638	0.927
2.512	0.475	0.702	1.038
2.630	0.522	0.790	1.196
2.754	0.588	0.887	1.337
2.884	0.665	0.968	1.408
3.020	0.713	1.012	1.437
3.162	0.700	1.020	1.486
3.311	0.665	1.011	1.537
3.467	0.663	1.015	1.553
3.631	0.709	1.050	1.554
3.802	0.798	1.131	1.603
3.981	0.932	1.276	1.746
4.169	1.130	1.503	1.998
4.365	1.398	1.817	2.361
4.571	1.692	2.169	2.782

Frecuencia (Hz)	FTE - 01		
	Mínima	Media	Máxima
4.786	1.934	2.440	3.080
5.012	2.054	2.504	3.053
5.248	2.013	2.345	2.732
5.495	1.846	2.063	2.306
5.754	1.647	1.780	1.924
6.026	1.460	1.564	1.675
6.310	1.310	1.430	1.560
6.607	1.214	1.364	1.532
6.918	1.148	1.338	1.558
7.244	1.098	1.320	1.587
7.586	1.049	1.288	1.581
7.943	0.996	1.240	1.543
8.318	0.948	1.190	1.492
8.710	0.923	1.154	1.443
9.120	0.928	1.145	1.412
9.550	0.954	1.164	1.420
10.000	0.980	1.202	1.476

Frecuencias, amplitudes mínimas, medias y máximas para la generación de la curva H/V promedio, obtenidas del Punto 1 del ensayo de vibración ambiental (suelo).

ANEXO 20

Frecuencias y amplitudes para la curva H/V del punto 2

Frecuencia (Hz)	FTE – 02		
	Mínima	Media	Máxima
0.105	0.654	1.094	1.832
0.110	0.654	1.094	1.832
0.115	0.654	1.094	1.832
0.120	0.654	1.094	1.832
0.126	0.654	1.094	1.832
0.132	0.654	1.094	1.832
0.138	0.654	1.094	1.832
0.145	0.654	1.094	1.832
0.151	0.654	1.094	1.831
0.158	0.657	1.089	1.805
0.166	0.666	1.061	1.691
0.174	0.667	1.050	1.655
0.182	0.667	1.050	1.653
0.191	0.667	1.050	1.653
0.200	0.667	1.050	1.653
0.209	0.667	1.050	1.652
0.219	0.668	1.048	1.643
0.229	0.669	1.041	1.619
0.240	0.666	1.032	1.599
0.251	0.664	1.029	1.593
0.263	0.664	1.028	1.592
0.275	0.664	1.028	1.591
0.288	0.664	1.027	1.589
0.302	0.661	1.026	1.592
0.316	0.656	1.025	1.601
0.331	0.654	1.025	1.609

Frecuencia (Hz)	FTE – 02		
	Mínima	Media	Máxima
0.363	0.649	1.031	1.639
0.380	0.643	1.034	1.662
0.398	0.638	1.031	1.667
0.417	0.635	1.022	1.644
0.437	0.632	1.006	1.600
0.457	0.626	0.983	1.544
0.479	0.616	0.956	1.485
0.501	0.599	0.927	1.435
0.525	0.573	0.898	1.406
0.550	0.542	0.869	1.394
0.575	0.511	0.841	1.383
0.603	0.483	0.810	1.358
0.631	0.453	0.773	1.319
0.661	0.421	0.732	1.273
0.692	0.388	0.688	1.221
0.724	0.359	0.645	1.161
0.759	0.335	0.606	1.096
0.794	0.318	0.574	1.033
0.832	0.308	0.548	0.976
0.871	0.304	0.529	0.923
0.912	0.305	0.515	0.868
0.955	0.310	0.503	0.814
1.000	0.317	0.492	0.765
1.047	0.323	0.484	0.724
1.096	0.328	0.476	0.691
1.148	0.331	0.471	0.671
1.202	0.329	0.468	0.666
1.259	0.325	0.470	0.680

Frecuencia (Hz)	FTE – 02		
	Mínima	Media	Máxima
1.318	0.326	0.482	0.712
1.380	0.341	0.510	0.765
1.445	0.375	0.561	0.840
1.514	0.430	0.630	0.923
1.585	0.498	0.699	0.982
1.660	0.559	0.742	0.985
1.738	0.586	0.744	0.944
1.820	0.569	0.715	0.898
1.905	0.530	0.679	0.870
1.995	0.501	0.652	0.847
2.089	0.499	0.639	0.818
2.188	0.521	0.642	0.792
2.291	0.553	0.662	0.793
2.399	0.591	0.703	0.836
2.512	0.639	0.762	0.910
2.630	0.697	0.835	1.002
2.754	0.757	0.911	1.098
2.884	0.817	0.982	1.180
3.020	0.872	1.045	1.251
3.162	0.902	1.104	1.353
3.311	0.910	1.167	1.498
3.467	0.933	1.237	1.639
3.631	0.992	1.311	1.733
3.802	1.075	1.388	1.793
3.981	1.164	1.474	1.867
4.169	1.254	1.580	1.990
4.365	1.357	1.724	2.190
4.571	1.487	1.919	2.476

Frecuencia (Hz)	FTE – 02		
	Mínima	Media	Máxima
4.786	1.660	2.164	2.822
5.012	1.870	2.440	3.184
5.248	2.090	2.703	3.496
5.495	2.300	2.912	3.687
5.754	2.488	3.052	3.744
6.026	2.649	3.151	3.749
6.310	2.771	3.251	3.815
6.607	2.859	3.367	3.966
6.918	2.955	3.480	4.098
7.244	3.087	3.560	4.105
7.586	3.256	3.607	3.996
7.943	3.381	3.661	3.965
8.318	3.358	3.767	4.227
8.710	3.337	3.937	4.644
9.120	3.386	4.126	5.028
9.550	3.464	4.243	5.197
10.000	3.485	4.173	4.996

Frecuencias, amplitudes mínimas, medias y máximas para la generación de la curva H/V promedio, obtenidas del Punto 2 del ensayo de vibración ambiental (suelo).

ANEXO 21

Frecuencias y amplitudes para la curva H/V del punto 3

Frecuencia (Hz)	FTE – 03		
	Mínima	Media	Máxima
0.105	0.640	1.060	1.756
0.110	0.640	1.046	1.710
0.115	0.639	1.031	1.663
0.120	0.638	1.015	1.615
0.126	0.635	0.997	1.566
0.132	0.632	0.979	1.517
0.138	0.627	0.959	1.468
0.145	0.348	0.655	1.234
0.151	0.348	0.655	1.234
0.158	0.348	0.655	1.234
0.166	0.348	0.655	1.234
0.174	0.348	0.655	1.234
0.182	0.348	0.655	1.234
0.191	0.348	0.655	1.234
0.200	0.348	0.655	1.234
0.209	0.348	0.655	1.234
0.219	0.348	0.655	1.234
0.229	0.348	0.655	1.234
0.240	0.348	0.655	1.234
0.251	0.348	0.655	1.234
0.263	0.348	0.655	1.234
0.275	0.348	0.655	1.234
0.288	0.337	0.611	1.107
0.302	0.337	0.611	1.107
0.316	0.337	0.611	1.107
0.331	0.337	0.611	1.107

Frecuencia (Hz)	FTE – 03		
	Mínima	Media	Máxima
0.347	0.337	0.611	1.107
0.363	0.337	0.611	1.107
0.380	0.337	0.611	1.107
0.398	0.337	0.611	1.107
0.417	0.337	0.611	1.107
0.437	0.337	0.611	1.107
0.457	0.337	0.611	1.107
0.479	0.337	0.605	1.086
0.501	0.336	0.586	1.020
0.525	0.335	0.580	1.004
0.550	0.335	0.580	1.003
0.575	0.335	0.580	1.003
0.603	0.335	0.580	1.003
0.631	0.336	0.580	1.001
0.661	0.336	0.577	0.990
0.692	0.337	0.569	0.959
0.724	0.337	0.560	0.931
0.759	0.337	0.557	0.922
0.794	0.337	0.557	0.919
0.832	0.337	0.555	0.914
0.871	0.337	0.551	0.901
0.912	0.336	0.545	0.885
0.955	0.335	0.541	0.874
1.000	0.334	0.538	0.868
1.047	0.333	0.536	0.862
1.096	0.333	0.533	0.854
1.148	0.332	0.530	0.846
1.202	0.332	0.528	0.838

Frecuencia (Hz)	FTE – 03		
	Mínima	Media	Máxima
1.259	0.334	0.526	0.830
1.318	0.336	0.526	0.824
1.380	0.340	0.530	0.826
1.445	0.347	0.537	0.833
1.514	0.355	0.545	0.837
1.585	0.366	0.551	0.829
1.660	0.378	0.555	0.815
1.738	0.390	0.559	0.802
1.820	0.406	0.568	0.793
1.905	0.425	0.578	0.784
1.995	0.443	0.584	0.771
2.089	0.454	0.587	0.759
2.188	0.460	0.594	0.768
2.291	0.476	0.617	0.798
2.399	0.513	0.661	0.850
2.512	0.560	0.726	0.941
2.630	0.613	0.808	1.064
2.754	0.688	0.907	1.195
2.884	0.792	1.031	1.343
3.020	0.914	1.184	1.533
3.162	1.049	1.354	1.747
3.311	1.188	1.518	1.939
3.467	1.306	1.661	2.111
3.631	1.408	1.797	2.294
3.802	1.529	1.962	2.518
3.981	1.684	2.184	2.832
4.169	1.865	2.474	3.283
4.365	2.094	2.842	3.859
4.571	2.430	3.302	4.487

Frecuencia (Hz)	FTE – 03		
	Mínima	Media	Máxima
4.786	2.902	3.853	5.117
5.012	3.444	4.430	5.698
5.248	3.883	4.867	6.101
5.495	3.989	4.964	6.179
5.754	3.674	4.636	5.849
6.026	3.096	3.997	5.161
6.310	2.490	3.274	4.304
6.607	2.004	2.635	3.464
6.918	1.645	2.129	2.754
7.244	1.345	1.727	2.217
7.586	1.064	1.392	1.821
7.943	0.826	1.116	1.508
8.318	0.659	0.910	1.258
8.710	0.563	0.779	1.078
9.120	0.522	0.711	0.967
9.550	0.516	0.683	0.904
10.000	0.525	0.675	0.869

Frecuencias, amplitudes mínimas, medias y máximas para la generación de la curva H/V promedio, obtenidas del Punto 3 del ensayo de vibración ambiental (suelo).

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Applied Technology Council. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings* (Vol. 11). Seismic Safety Commission. Obtenido de <http://tanbakoochi.com/File/www.tanbakoochi.com-ATC40.pdf>
- Bambarén Alatrística, C., & Alatrística Gutiérrez, M. (2009). Estimación del impacto socioeconómico del terremoto en Pisco en el sector salud peruano. *Revista Medica Herediana*, 20(2), 177-184. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1018-130X2009000200006&lng=es&tlng=es
- Bedecarratz, L. (2018). *Modelación no lineal de un edificio de hormigón armado y aplicación de metodología de diseño por desempeño* [Tesis de grado, Universidad de Chile]. Repositorio institucional. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/170032/Modelaci%C3%B3n-no-lineal-de-un-edificio-de-hormig%C3%B3n-armado-y-aplicaci%C3%B3n-de-metodolog%C3%ADa-de-dise%C3%B1o-por-desempe%C3%B1o.pdf?sequence=1>
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Ediciones URMO. <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-catolica-santa-maria-la-antigua/procesos-industriales/3-metodologia-de-inv-cientifica-para-ingenieros-borja/15765935>
- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. (2023). *Centro de Observación para la Ingeniería Sísmica*. <http://www.cismid.uni.edu.pe/ceois/red/#>
- Chininín Cabrera, J., & Duran Torres, N. (2022). *Análisis del comportamiento dinámico no-lineal en OpenSees de estructuras con disipadores sísmicos metálicos ranurados-desacoplados* [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio institucional . <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/38022>
- Chuquicahua Zelada, D. (2020). *Análisis no lineal estático y dinámico de un edificio de concreto armado con disipadores de energía SLB en la ciudad de Chiclayo*

- [Tesis de Grado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo].
Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/2914>
- Condo, C. &. (2020). *Análisis del comportamiento sísmico dinámico de un edificio multifamiliar de 37 niveles con disipadores de fluido viscoso en la victoria*
[Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio institucional.
<https://hdl.handle.net/20.500.14138/3568>
- Coronavirus: médicos alistan renuncias en Hospital Regional Lambayeque. (2020, 25 de Abril). La República.
<https://larepublica.pe/sociedad/2020/04/25/lambayeque-coronavirus-medicos-renunciarian-por-riesgo-que-implica-instalacion-de-hospital-de-campana-minsa-lrmd>
- Espinoza, A., & Quinto, W. (2018). *Estudio comparativo de respuestas sísmicas entre modal espectral y tiempo historia aplicado a un edificio 16 pisos en el distrito de Magdalena del Mar – Lima, 2018* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/35479>
- Fernández, C., Hernández, R., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (5.ªed). México D.F. MCGRAW-HILL.
<https://libreria.tirant.com/es/libro/metodologia-de-la-investigacion-pilar-baptista-lucio-9786071502919>
- Galarza Altamirano, D. (2019). *Evaluación del Desempeño Sísmico del edificio de la Oscus mediante comparación del análisis estático no lineal (Pushover), Análisis estático modal (Pushover multimodal) y Dinámico no-lineal* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional.
<http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29942>
- Gallegos, C. (2018). *Comparación De Los Métodos De Análisis Sísmico Tiempo Historia Lineal Elástico Y Modal Espectral* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio institucional.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7101>
- Gonzales, H. (2014). Aplicación de análisis no lineal para la evaluación sísmica de edificios. *Diseño Estructural Sismorresistente*, 173-181.

- Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.* (2004). European Commission–EVG1-CT-2000-00026 SESAME.
http://sesame.geopsy.org/Delivrables/Del-D23-HV_User_Guidelines.pdf
- Hernando, T. (2020). *Pisco 2007: 13 años de un sismo devastador.*
<https://www.gob.pe/institucion/igp/noticias/294466-pisco-2007-13-anos-de-un-sismo-devastador>
- Instituto Geofísico del Perú. (2022). *Datos Sísmicos.*
<https://ultimosismo.igp.gob.pe/datos-sismicos>
- Instituto Geofísico del Perú. (2023). *Mapa sísmico del Perú 2023.*
<https://ultimosismo.igp.gob.pe/mapas-sismicos>
- Instituto Nacional de Estadísticas e Informático. (2008). *Censo de las áreas afectadas por el sismo del 15 de agosto de 2007.*
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0808/Libro.pdf
- Ministerio de Salud del Perú. (2008). *Informe de Gestión del Ministerio de Salud en la zona afectada por el Sismo.* Lima.
<http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc690/doc690.htm>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2019). *Reglamento Nacional de edificaciones E.030 Diseño sismoresistente.*
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/299950/d289856_opt.pdf?v=1553120958
- Norma Peruana de Diseño Sismoresistente E.030. (2019). En *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Reglamento Nacional de Edificaciones.*
<https://museos.cultura.pe/sites/default/files/item/archivo/Norma%20t%C3%A9cnica%20E.030%20Dise%C3%B1o%20sismorresistente.pdf>
- Quispe Cartolin, P. J. (2021). *Comparación entre análisis dinámico tiempo-historia en sismos frecuentes y análisis espectral para un edificio de vivienda de 14 pisos* [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/18648>

- Stelios, A., & Rui, P. (2018). Análisis sísmico no lineal de estructuras enmarcadas: desarrollos recientes. *Chapter*.
https://www.researchgate.net/publication/329614040_Nonlinear_Seismic_Analysis_of_Framed_Structures_Recent_Developments
- Terremotos en Perú*. (s.f.).
https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Terremotos_en_Per%C3%BA#cite_note-7
- Ulloa, R. (2018). *Aplicación del método de Nakamura H/V, para estudiar el riesgo sísmico en la zona comprendida por el despliegue de estaciones IMAD* [Tesis de grado, Universidad de Concepción]. Repositorio institucional .
https://www.dgeo.udec.cl/wp-content/uploads/2018/06/Tesis_R_Ulloa_150dpi.pdf
- Zanelli Flores, C., & Paredes Salas, P. (2019). *Diseño Estructural de un pabellón de Hospital con Aisladores Sísmicos* [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional.
<http://hdl.handle.net/20.500.12423/2914>