

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Evaluación de esfuerzos ante la acción de un sismo raro de la  
basílica catedral y propuesta de intervención estructural**

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

Presentado por:

**Bach. Franz Tonny Baldeon Valdez**

Asesor:

**Msc. Ing. Rolando Cisneros Ayala**

**Ayacucho - Perú**

**2024**

# Resumen

Los inmuebles coloniales representan un valioso patrimonio histórico en la ciudad, estableciendo un vínculo entre épocas pasadas y la actualidad. Permanecen arraigados en la memoria colectiva de la comunidad de Ayacucho. Por esta razón, este trabajo de investigación se centra en un edificio colonial emblemático, la Catedral de Huamanga, para examinar su vulnerabilidad ante un raro evento sísmico, siguiendo las pautas del R.N.E. E.030.

Esta iglesia, construida hace 350 años en albañilería de roca con juntas de mortero tradicional, se eligió como caso de estudio debido a su representatividad en la región. A pesar de su longevidad, no se ha realizado una evaluación similar y se desconoce cómo reaccionaría ante un sismo infrecuente. Aunque su estado de conservación general es bueno y muestra estabilidad, se han observado signos de deterioro en algunas áreas debido al paso del tiempo. La metodología propuesta en esta tesis se centra en la evaluación del comportamiento sísmico utilizando el espectro de diseño sísmico y el análisis modal espectral. Para llevar a cabo esta evaluación, se emplearon métodos de análisis estructural basados en el software ANSYS WORKBENCH 2023 R1. Este enfoque permitió una comprensión más profunda del comportamiento sísmico de la iglesia, así como la cuantificación de las tensiones y deformaciones generadas por un sismo.

Los primeros capítulos de este documento se dedican a exponer el estado actual del conocimiento en el campo, revisar estudios previos realizados en todo el mundo, explorar las propiedades mecánicas de la estructura y presentar resultados de pruebas de campo. La metodología propuesta y los cálculos estructurales aplicados proporcionaron resultados significativos y conclusiones que arrojaron luz sobre el comportamiento sísmico de la Catedral Basílica de Santa María.

**Palabras clave:** ANSYS, modelo Revit, enmallado, análisis modal-espectral, esfuerzo, deformación, Catedral, albañilería, roca, junta de mortero.

## Abstract

The colonial buildings represent valuable historical heritage in the city, establishing a link between past eras and the present. They remain rooted in the collective memory of the Ayacucho community. For this reason, this research work focuses on an emblematic colonial building, the Huamanga Cathedral, to examine its vulnerability to a rare seismic event, following the guidelines of the R.N.E. E.030.

This church, built 350 years ago in rock masonry with traditional mortar joints, was chosen as a case study due to its representativeness in the region. Despite its longevity, a similar evaluation has not been carried out and it is unknown how it would react to a rare earthquake.



Although its general state of conservation is good and shows stability, signs of deterioration have been observed in some areas due to the passage of time.

The methodology proposed in this thesis focuses on the evaluation of seismic behavior using the seismic design spectrum and modal spectral analysis. To carry out this evaluation, structural analysis methods based on the ANSYS WORKBENCH 2023 R1 software were used. This approach allowed for a deeper understanding of the seismic behavior of the church, as well as the quantification of the stresses and deformations generated by an earthquake.

The first chapters of this document are dedicated to exposing the current state of knowledge in the field, reviewing previous studies conducted around the world, exploring the mechanical properties of the structure, and presenting field test results. The proposed methodology and the structural calculations applied provided significant results and conclusions that shed light on the seismic behavior of the Cathedral Basilica of Santa Maria.

**Keywords:** ANSYS, Revit model, mesh, Response Spectrum analysis, stress, strain, Cathedral, brickwork, rock, mortar joint.

# INTRODUCCIÓN

Nuestro país es conocido por su alta actividad sísmica y está dividido en cuatro zonas según la sismicidad observada, según lo establece la Norma Técnica E.030 del año 2016. La ciudad de Huamanga se encuentra en la zona 2, con un factor de aceleración máxima  $Z=0.25$ . En este estudio, utilizaremos el análisis modal espectral mediante el espectro de diseño para llevar a cabo nuestros cálculos. Esta condición es una de las más severas y ha afectado durante muchas épocas al valioso patrimonio histórico y cultural que hoy en día simboliza y marca la historia de la ciudad (RNE-NT E030, 2016).

A nivel mundial, muchos países albergan construcciones históricas que han sufrido daños debido a eventos sísmicos. Los peores enemigos de estas construcciones antiguas son la falta de mantenimiento y los terremotos, que han causado pérdidas significativas tanto en términos históricos como humanos. Esto es particularmente relevante en lugares altamente sísmicos como Italia, Grecia, Turquía, India, China, Japón, México, Chile y Perú. Estos países son custodios de valiosas culturas antiguas y han experimentado movimientos sísmicos a lo largo de la historia, siendo los sismos de origen tectónico los más devastadores.

En general, en Huamanga y en todo el país, los monumentos históricos suelen estar contruidos con adobe y piedra tallada. Estas características hacen que el estudio del comportamiento sísmico de estas estructuras sea especialmente complejo. La gran variedad de combinaciones resultantes de la geometría, la naturaleza de las unidades y las características de los morteros plantea incertidumbres sobre la precisión de los cálculos estructurales relacionados con la mampostería de piedra. Se han llevado a cabo numerosos estudios e investigaciones experimentales centrados en los elementos de piedra, lo que ha contribuido significativamente a mejorar el análisis de este tipo de edificaciones.

La ciudad de Huamanga alberga numerosas iglesias que datan de tiempos antiguos, y la preservación de todos sus elementos es de gran importancia. En los últimos años, se han introducido técnicas de evaluación de vulnerabilidad y riesgo sísmico que se enfocan en la descripción de los daños físicos provocados por eventos sísmicos. Como parte de una iniciativa de investigación y preservación histórica en Huamanga, se ha empleado la modelación de estructuras mediante elementos finitos. Los resultados de este estudio se compararán con los valores de resistencia de los materiales de la albañilería de piedra y mortero. Esto proporcionará conclusiones sobre los efectos de un evento sísmico infrecuente en la edificación.

Estos métodos de análisis se han utilizado para comprender cómo los sismos pueden afectar a las iglesias y tomar decisiones y medidas correctivas para evitar la destrucción del patrimonio.

Como modelo de análisis, se ha seleccionado una de las iglesias más representativas del centro histórico de Huamanga debido a su antigüedad, majestuosidad y permanencia. Este estudio proporcionará información sobre el comportamiento de la estructura frente a eventos sísmicos de acuerdo con las condiciones sísmicas de la zona.

*A quienes me apoyaron en toda mi vida, mis  
padres, a ellos con mucho cariño y gratitud por su  
apoyo incondicional.*

*A todos mis amigos que siempre me apoyaron  
moralmente para todos mis propósitos.*

# Agradecimientos

*Al Msc. Ing. Rolando Cisneros Ayala, por su enseñanza en la metodología de la investigación.*

*A los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil por sus conocimientos impartidos para mi formación académica y profesional.*

*A mis compañeros de estudio que conjuntamente con ellos nos supimos absolver consultas de todos los áreas de la Ingeniería Civil.*

*Agradecer a mis padres contribuyeron con sus palabras de ánimos y apoyo para seguir siempre adelante.*

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga  
Ayacucho, 2023

*Franz Tonny BALDEON VALDEZ*

# ÍNDICE GENERAL

Resumen	i
Introducción	iii
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Índice de Tablas	xii
Índice de Figuras	xiv
Acrónimos	xviii
Símbolos	xix
<b>I Planteamiento del problema</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción del problema (mundial, país, región) . . . . .	1
1.2 Delimitación del problema . . . . .	2
1.2.1 Espacial (geográfica) . . . . .	2
1.2.2 Temporal . . . . .	4
1.2.3 Temática y unidad de análisis . . . . .	4
1.3 Formulación del problema . . . . .	4
1.3.1 Problema general . . . . .	4
1.3.2 Problemas específicos . . . . .	5
1.4 Justificación e importancia . . . . .	5
1.5 Limitaciones o restricciones . . . . .	6
1.6 Objetivos . . . . .	6
1.6.1 Objetivo general . . . . .	6
1.6.2 Objetivos específicos . . . . .	6
<b>II Marco teórico conceptual</b>	<b>8</b>
2.1 Antecedentes . . . . .	8
2.1.1 Investigaciones internacionales . . . . .	8
2.1.2 Investigaciones nacionales . . . . .	10
2.2 Bases teóricas . . . . .	13

2.2.1	Antecedentes de la investigación o marco referencial . . . . .	13
2.2.1.1	Experiencia Latinoamericana . . . . .	13
2.2.1.2	Investigaciones realizadas en Perú . . . . .	15
2.2.2	La Vulnerabilidad Sísmica en las Estructuras Históricas . . . . .	16
2.3	Marco conceptual . . . . .	16
2.3.1	Elementos Finitos . . . . .	17
2.3.2	Que es Ansys Workbench . . . . .	17
2.3.3	Diferencia entre modelos finitos 2d y 3d . . . . .	18
2.3.4	Diferencia entre ETABS y ANSYS . . . . .	19
2.3.5	Importación modelos 3d a ANSYS . . . . .	19
<b>III</b>	<b>Método de la Investigación</b> . . . . .	<b>21</b>
3.1	Enfoque . . . . .	21
3.2	Alcance (exploratorio, descriptivo, correlacional, explicativo) . . . . .	21
3.2.1	Propósito de la investigación: . . . . .	21
3.2.1.1	Investigación aplicada . . . . .	21
3.2.1.2	Investigación aplicada científica . . . . .	21
3.2.2	Profundidad de la investigación: . . . . .	22
3.2.2.1	Investigación explicativa . . . . .	22
3.2.3	Duración del tiempo de investigación: . . . . .	22
3.2.3.1	Investigación longitudinal . . . . .	22
3.2.4	Tipo de Inferencia en Metodología: . . . . .	22
3.2.4.1	Investigación inductiva . . . . .	22
3.2.5	Grado de control: . . . . .	22
3.2.5.1	Diseño propiamente comparativo . . . . .	22
3.2.6	Tipo de manipulación: . . . . .	22
3.2.6.1	Investigación cuasi-experimental . . . . .	22
3.3	Diseño de investigación (tipos: experimental y/o no experimental) . . . . .	22
3.3.1	Diseño cuantitativo . . . . .	23
3.3.1.1	Diseño de Investigación Experimental . . . . .	23
3.4	Población y muestra . . . . .	23
3.4.1	Población . . . . .	23
3.4.2	Muestra . . . . .	23
3.5	Hipótesis . . . . .	23
3.5.1	Hipótesis general . . . . .	23
3.5.2	Hipótesis específicas . . . . .	24
3.6	Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional . . . . .	24

3.6.1	Investigación Predictiva . . . . .	24
3.6.2	Variables e indicadores . . . . .	25
3.6.2.1	Variables . . . . .	25
3.6.2.2	Indicadores . . . . .	25
3.7	Técnicas e instrumentos . . . . .	28
3.8	Desarrollo del trabajo de tesis . . . . .	28
3.8.1	Definir el problema . . . . .	29
3.8.2	Modelado de la estructura . . . . .	30
3.8.3	Definir las variables del proceso de estudio . . . . .	31
3.8.3.1	Propiedades físicas y mecánicas . . . . .	32
3.8.4	Diseñar el experimento . . . . .	33
3.8.4.1	Determinación de la Densidad de Roca . . . . .	33
3.8.4.2	Determinación del Módulo de Elasticidad . . . . .	34
3.8.4.3	Determinación del Coeficiente de Poisson . . . . .	35
3.8.4.4	Determinación de la Resistencia a la Compresión . . . . .	36
3.8.4.5	Determinación de la Resistencia a la tracción . . . . .	37
3.8.4.6	Determinación de la Resistencia al esfuerzo Cortante . . . . .	38
3.8.5	Seleccionar la muestra . . . . .	38
3.8.5.1	DETERMINACIÓN DEL ORIGEN DE PROCEDENCIA DE LAS ROCAS USADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA CATEDRAL . . . . .	39
3.8.5.2	UBICACIÓN Y CARTOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTU- DIO DE LAS MUESTRAS . . . . .	56
3.8.5.3	GEOMORFOLOGÍA . . . . .	56
3.8.5.4	ESTRATIGRAFÍA . . . . .	57
3.8.5.5	PLANOS TÉCNICOS . . . . .	58
3.8.6	Analizar los datos en laboratorio . . . . .	61
3.8.7	Interpretar los resultados de laboratorio . . . . .	61
3.8.8	Aplicar las cargas y restricciones . . . . .	71
3.8.8.1	CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA . . . . .	71
3.8.8.2	CARGAS DE SÍSMOS . . . . .	72
3.8.8.3	Zonificación . . . . .	72
3.8.8.4	Parámetros de Sitio . . . . .	73
3.8.8.5	Categoría de Edificio . . . . .	81
3.8.8.6	Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas . . . . .	81
3.8.8.7	Factores de Irregularidad . . . . .	81

3.8.8.8	Resumen de los parámetros sísmicos . . . . .	82
3.8.8.9	Espectro de diseño . . . . .	82
3.8.8.10	OTRAS CARGAS . . . . .	85
3.8.8.11	Cargas muerta . . . . .	85
3.8.8.12	Cargas Vivas . . . . .	86
3.8.8.13	Carga total . . . . .	86
3.8.9	Ejecutar el análisis . . . . .	87
<b>IV</b>	<b>Resultados</b>	<b>109</b>
4.1	Contrastación de hipótesis . . . . .	109
4.1.1	Constrastación de resultados de esfuerzos de corte calculados vs resistencia al corte de la mampostería . . . . .	110
4.1.2	Constrastación de resultados de esfuerzo normal calculados vs resistencia a la compresión/tracción de la mampostería . . . . .	117
4.1.3	Resultados correspondientes a deformaciones de la estructura en dirección de los ejes del sistema de coordenadas . . . . .	120
4.2	Análisis e interpretación . . . . .	123
4.2.1	Procedimiento para la intervención estructural mediante reforzamiento de elementos . . . . .	124
4.2.1.1	Técnicas de reforzamiento sísmico . . . . .	125
4.2.2	Interpretación de contrastación de hipótesis . . . . .	128
4.2.2.1	Esfuerzos vs Resistencia Cortante en Plano XY . . . . .	128
4.2.2.2	Esfuerzos vs Resistencia Cortante en Plano XZ . . . . .	129
4.2.2.3	Esfuerzos vs Resistencia Cortante en Plano YZ . . . . .	133
4.2.2.4	Esfuerzos vs Resistencia Normal en Dirección Z . . . . .	137
4.2.2.5	Esfuerzos vs Resistencia Normal en Dirección X . . . . .	138
4.2.2.6	Esfuerzos vs Resistencia Normal en Dirección Y . . . . .	138
4.2.2.7	Resultados de las deformaciones en los ejes X,Y,Z . . . . .	138
<b>V</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>140</b>
5.1	Conclusiones . . . . .	140
5.2	Recomendaciones . . . . .	142
	<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>144</b>
<b>A</b>	<b>Anexos</b>	<b>147</b>
A.1	Matriz de consistencia . . . . .	147

<b>B Planos</b>	<b>149</b>
B.1 Planos . . . . .	149
B.1.1 Planos CAD de DDC Ayacucho / Instituto Nacional de Cultura . . .	149
B.1.2 Planos en modelo 3D de la edificación en Autodesk Revit 2023 . . .	154
B.1.3 Planos de Geomorfología y estratigrafía procedentes de Proyecto INDECI-PNUD PER/ 02/ 051 Ciudades Sostenibles (s.f.) . . . . .	166
B.1.4 Ubicación de calicatas para EMS en el centro histórico de la ciudad de Huamanga . . . . .	172
<b>C Documentos importantes</b>	<b>174</b>
C.1 Solicitudes recibidas y respuestas . . . . .	174
<b>D Estudios de Mecánica de Rocas</b>	<b>98</b>
D.1 Muestreo de Resistencia con Esclerómetro . . . . .	98
D.2 Propiedades mecánicas de muestra de roca Carmen Alto . . . . .	119

# ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Variables e Indicadores. . . . .	27
<b>Tabla 2</b>	Resistencia a la Compresión Simple de la Roca “in situ” . . . . .	61
<b>Tabla 3</b>	Propiedades Mecánicas de Muestra de Roca . . . . .	62
<b>Tabla 4</b>	Se muestra la “Tabla 16: Compresión Diagonal – Muretes de ladrillo cocido” . . . . .	63
<b>Tabla 5</b>	Se muestra la “Tabla 31: Resultado de muretes con ladrillo con mortero tradicional (Cemento: Arena fina + confitillo, 1:3)” . . . . .	64
<b>Tabla 6</b>	Se muestra la tabla “SIMBOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS Y ENSAYOS” . . . . .	66
<b>Tabla 7</b>	Se muestra la tabla “RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DIAGONAL (CORTE) EN MURETE DE ALBAÑILERÍA” . . . . .	66
<b>Tabla 8</b>	Se muestra la “Tabla 3.14: Cálculo de resistencia característica al corte de la albañilería” . . . . .	68
<b>Tabla 9</b>	Resistencia a la Compresión Diagonal (Corte) en muretes de Albañilería . . . . .	71
<b>Tabla 10</b>	Resumen de los parámetros sísmicos de la Catedral de Huamanga . . . . .	82
<b>Tabla 11</b>	Aceleraciones espectrales del distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, Departamento de Ayacucho . . . . .	84
<b>Tabla 12</b>	Cargas permanentes asignadas . . . . .	86
<b>Tabla 13</b>	Sobrecargas asignadas . . . . .	86
<b>Tabla 14</b>	Carga total calculados . . . . .	86
<b>Tabla 15</b>	Esfuerzo cortante vs Resistencia al corte – Plano XY . . . . .	110
<b>Tabla 16</b>	Esfuerzo cortante vs Resistencia al corte – Plano XZ . . . . .	112
<b>Tabla 17</b>	Esfuerzo cortante vs Resistencia al corte – Plano YZ . . . . .	115
<b>Tabla 18</b>	Esfuerzo normal vs Resistencia a la compresión/tracción – Dirección Z . . . . .	117
<b>Tabla 19</b>	Esfuerzo normal vs Resistencia a la compresión/tracción – Dirección X . . . . .	118
<b>Tabla 20</b>	Esfuerzo normal vs Resistencia a la compresión/tracción – Dirección Y . . . . .	119

<b>Tabla 21</b>	Deformación total en 3 ejes de coordenada . . . . .	120
<b>Tabla 22</b>	Componente de deformación en dirección X . . . . .	121
<b>Tabla 23</b>	Componente de deformación en dirección Y . . . . .	122
<b>Tabla 24</b>	Componente de deformación en dirección Z . . . . .	123
<b>Tabla 25</b>	Matriz de consistencia . . . . .	148

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Localización de la Catedral de Huamanga . . . . .	3
<b>Figura 2</b>	Refuerzos en hormigón armado, frecuentemente usados para campanarios . . . . .	14
<b>Figura 3</b>	Refuerzos en hormigón armado, frecuentemente usados para campanarios . . . . .	15
<b>Figura 4</b>	Vista de escalera interior de acceso hacia la torre izquierda,tejado y portada de la catedral, se observa una estructura interior irregular, estrecha y mal planificada con zonas deterioradas . . . . .	30
<b>Figura 5</b>	Vista frontal de la Catedral de Huamanga . . . . .	39
<b>Figura 6</b>	Vista de roca “gris” de columna de Catedral . . . . .	40
<b>Figura 7</b>	Vista de roca “gris” de columna de Catedral . . . . .	40
<b>Figura 8</b>	Vista de roca “blanca” de columna de Catedral . . . . .	41
<b>Figura 9</b>	Ubicación de roca “gris” . . . . .	42
<b>Figura 10</b>	Mediciones sobre roca “blanca” . . . . .	42
<b>Figura 11</b>	Corroboración de medidas en columnas . . . . .	43
<b>Figura 12</b>	Columna con revestimiento y pintura . . . . .	43
<b>Figura 13</b>	Corroboración de medidas en columnas . . . . .	44
<b>Figura 14</b>	Corroboración de medidas . . . . .	44
<b>Figura 15</b>	Corroboración de medidas . . . . .	45
<b>Figura 16</b>	Vista torre derecha . . . . .	45
<b>Figura 17</b>	Vista de la Cúpula de la Catedral . . . . .	46
<b>Figura 18</b>	Vista del techo de la nave lateral derecha . . . . .	46
<b>Figura 19</b>	Vista del techo de la nave lateral izquierda . . . . .	47
<b>Figura 20</b>	Vista de detalles arquitectónicos en puerta lateral izquierda . . . . .	47
<b>Figura 21</b>	Vista del sillar de Chacco . . . . .	50
<b>Figura 22</b>	Muestras de roca tallada en el taller del maestro Toribio Ccacha, se observa roca andesita . . . . .	51

<b>Figura 23</b>	Muestras de roca tallada en el taller del maestro Toribio Ccacha, se observa roca andesita . . . . .	52
<b>Figura 24</b>	Muestras de roca tallada en el taller del maestro Toribio Ccacha, se observa roca andesita . . . . .	52
<b>Figura 25</b>	Muestras de roca tallada en el taller del maestro Toribio Ccacha, se observa "piedra gris" . . . . .	53
<b>Figura 26</b>	Ubicación geográfica de cantera . . . . .	54
<b>Figura 27</b>	Ubicación geográfica de cantera . . . . .	54
<b>Figura 28</b>	Cantera de extracción de muestra de roca "Brecha Volcánica Basáltica" en el distrito de San Juan Baustista . . . . .	55
<b>Figura 29</b>	Cantera de extracción de muestra de roca "Brecha Volcánica Basáltica" en el distrito de San Juan Baustista . . . . .	55
<b>Figura 30</b>	Cantera de extracción de muestra de roca "Brecha Volcánica Basáltica" en el distrito de San Juan Baustista . . . . .	56
<b>Figura 31</b>	Imágenes de ensayos de laboratorio en fuente bibliográfica 01 . . . . .	64
<b>Figura 32</b>	Imágenes de ensayos de laboratorio en fuente bibliográfica 02 . . . . .	65
<b>Figura 33</b>	Diagrama "Ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería" de fuente bibliográfica 03 . . . . .	67
<b>Figura 34</b>	Imágenes de ensayos de laboratorio en fuente bibliográfica 03 . . . . .	67
<b>Figura 35</b>	Imágenes de ensayos de laboratorio en fuente bibliográfica 04 . . . . .	69
<b>Figura 36</b>	Mapa de Zonificación Sísmica . . . . .	72
<b>Figura 37</b>	Ubicación de calicatas . . . . .	74
<b>Figura 38</b>	Parámetros Geotécnicos . . . . .	75
<b>Figura 39</b>	Capacidad Portante . . . . .	76
<b>Figura 40</b>	Capacidad de Carga . . . . .	77
<b>Figura 41</b>	Espectro de diseño de sismo - Dirección X . . . . .	83
<b>Figura 42</b>	Espectro de diseño de sismo - Dirección Y . . . . .	85
<b>Figura 43</b>	Importación de modelo 3D . . . . .	88
<b>Figura 44</b>	Asignación de propiedades de material . . . . .	89
<b>Figura 45</b>	Enmallado de modelo 3D . . . . .	90
<b>Figura 46</b>	Análisis Estructural Estático . . . . .	91

<b>Figura 47</b>	Peso Propio . . . . .	92
<b>Figura 48</b>	Ubicación de soportes . . . . .	93
<b>Figura 49</b>	Cargas CM + CV sobre cobertura de techo . . . . .	94
<b>Figura 50</b>	Resultados de cálculo estático . . . . .	95
<b>Figura 51</b>	Configuración de los modos de vibración . . . . .	96
<b>Figura 52</b>	Resultados de modos de vibración . . . . .	97
<b>Figura 53</b>	Relación entre masa efectiva y masa total . . . . .	99
<b>Figura 54</b>	Método de combinación modal . . . . .	100
<b>Figura 55</b>	Aceleraciones espectrales – Dirección X . . . . .	101
<b>Figura 56</b>	Aceleraciones espectrales – Dirección Y . . . . .	102
<b>Figura 57</b>	Esfuerzo cortante plano XY . . . . .	103
<b>Figura 58</b>	Esfuerzo cortante plano YZ . . . . .	104
<b>Figura 59</b>	Esfuerzo cortante plano XZ . . . . .	105
<b>Figura 60</b>	Esfuerzo normal en eje Z . . . . .	106
<b>Figura 61</b>	Esfuerzo normal en eje X . . . . .	107
<b>Figura 62</b>	Esfuerzo normal en eje Y . . . . .	108
<b>Figura 63</b>	Planta esquemática de una Iglesia . . . . .	109
<b>Figura 64</b>	Esfuerzo cortante en plano XY (plano horizontal) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería . . . . .	110
<b>Figura 65</b>	Esfuerzo cortante en plano XY (plano horizontal) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería . . . . .	111
<b>Figura 66</b>	Esfuerzo cortante en plano XY (plano horizontal) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería . . . . .	111
<b>Figura 67</b>	Esfuerzo cortante en plano XZ (plano vertical) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería . . . . .	113
<b>Figura 68</b>	Esfuerzo cortante en plano XZ (plano vertical) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería . . . . .	113
<b>Figura 69</b>	Esfuerzo cortante en plano XZ (plano vertical) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería . . . . .	114
<b>Figura 70</b>	Esfuerzo cortante en plano YZ (plano vertical) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería . . . . .	114

<b>Figura 71</b>	Esfuerzo cortante en plano YZ (plano vertical) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería . . . . .	116
<b>Figura 72</b>	Esfuerzo cortante en plano YZ (plano vertical) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería . . . . .	116
<b>Figura 73</b>	Esfuerzo de compresión en dirección de eje Z (vertical) que sobrepasa la resistencia la resistencia a la compresión de la roca . . . . .	117
<b>Figura 74</b>	Esfuerzo de compresión en dirección de eje X (horizontal) que sobrepasa la resistencia la resistencia a la compresión de la roca . . . . .	118
<b>Figura 75</b>	Esfuerzo de compresión en dirección de eje Y (horizontal) que sobrepasa la resistencia la resistencia a la compresión de la roca . . . . .	119
<b>Figura 76</b>	Deformación total de la estructura en los 3 ejes de coordenadas . . . . .	120
<b>Figura 77</b>	Componente de la deformación total en la dirección X . . . . .	121
<b>Figura 78</b>	Componente de la deformación total en la dirección Y . . . . .	122
<b>Figura 79</b>	Componente de la deformación total en la dirección Z . . . . .	123
<b>Figura 80</b>	Proceso de rehabilitación según FEMA 356 . . . . .	125
<b>Figura 81</b>	Engrosamiento de losa o muro de corte con concreto reforzado y conectores con anclajes químicos . . . . .	129
<b>Figura 82</b>	Adición de muros laterales o alas a columnas existentes . . . . .	131
<b>Figura 83</b>	Encamisado en concreto reforzado de una columna . . . . .	132
<b>Figura 84</b>	Enchaquetado con ángulos y platinas metálicas . . . . .	133
<b>Figura 85</b>	Instalación de platinas o láminas FRP ancladas en el reforzamiento de una viga a cortante . . . . .	135
<b>Figura 86</b>	Instalación de platinas o láminas FRP en el reforzamiento de un muro a cortante . . . . .	135
<b>Figura 87</b>	Enchaquetado o zunchado con mallas de acero y concreto o mortero de protección . . . . .	136
<b>Figura 88</b>	Columna reforzado mediante camisa de acero y pernos de anclaje o pasadores adheridos y con concreto o mortero de relleno . . . . .	137
<b>Figura 89</b>	Encamisado de acero en columnas con láminas pegadas . . . . .	137

# ACRÓNIMOS

<b>API</b>	Application Programming Interface
<b>ATC</b>	Consejo de Tecnología Aplicada
<b>BSE</b>	Sismo Básico de Seguridad
<b>DDBD</b>	Diseño Basado en Desplazamiento Directo
<b>FBD</b>	Diseño Basado en Fuerzas
<b>FEMA</b>	Agencia Federal para el Manejo de Emergencias
<b>PBSD</b>	Diseño Sísmico Basado en el Desempeño
<b>UGL</b>	Un Grado de Libertad

# SÍMBOLOS

$E_c$	Módulo de elasticidad del concreto
$F_i$	Fuerza cortante sísmica por planta
$g$	Aceleración de la gravedad
$\phi_s$	Factor de reducción de resistencia

# Planteamiento del problema

## 1.1 Descripción del problema (mundial, país, región)

Para iniciar con el planteamiento del problema es importante poner de relieve la actualidad de la construcción en el Perú. Es de conocimiento público que las construcciones de edificaciones de gran importancia como hospitales, colegios, edificios públicos y toda construcción que albergue un gran número de personas debe cumplir normas sísmicas que acuerdo a su importancia. En nuestro caso podemos considerar la Catedral con la categoría de Edificación Importante, edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, etc.

Estas construcciones deben de cumplir con la norma E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, que especifica ciertos parámetros para considerarse sísmicamente seguro como los límites para la distorsión del entrepiso. Para analizar el comportamiento sísmico se emplea el análisis dinámico modal espectral mediante el uso de espectros de diseño y aceleraciones espectrales.

Es conocido históricamente que le Perú ha sufrido fuertes movimientos sísmicos a través de su historia, estos eventos han sido altamente destructivos con las edificaciones coloniales como las partes altas de templos, conventos, mansiones y diversas construcciones, así como acabando con la vida de cientos de personas. Es importante estudiar algunos de los eventos sísmicos o terremotos más potentes ocurridos en el país y analizar los efectos que provocaron en las edificaciones semejantes, para conocer los posibles resultados de un terremoto reciente.

En los días 19 y 28 febrero de 1600 el volcán Huaynaputina, al sur del Perú, entro en erupción. Se estima que fue mayor explosión registrada en la historia del continente americano. La ciudades de Arequipa y Moquegua fueron cubiertas de ceniza durante casi un mes. Se piensa que la erupción pudo haber cambiado el clima de todo el mundo.

El terremoto más potente ocurrido en territorio nacional ocurrió en Arica (actual Chile), un 13 de agosto de 1868 con una magnitud estima de 9.0 Mw (magnitud de momento sísmico). El evento telúrico asoló gran parte del sur del Perú, especialmente las ciudades de

Arequipa, Moquegua, Tacna, Islay, Arica e Iquique (estas dos últimas actualmente en Chile). En Arequipa el terremoto de 1868 fue uno de los más fuertes y destructores que han abatido a la ciudad en toda su historia. En la ciudad, no había edificación que no tuviera grietas o destrozos.

El segundo terremoto más devastador registrado en la historia de Perú tuvo lugar en Lima y Callao en 1746, específicamente el 28 de octubre. Este evento sísmico se estima que tuvo una magnitud de 9.0 en la escala de Richter y estuvo acompañado por un maremoto. La duración del temblor, según los registros históricos, osciló entre tres y cuatro minutos, lo que resultó más que suficiente para causar una destrucción total en la ciudad de Lima. En ese momento, Lima tenía una población de 60,000 habitantes y albergaba alrededor de 3,000 casas distribuidas en 150 manzanas.

El terremoto causó la caída de las partes superiores de numerosos templos, conventos, mansiones y otras construcciones. Después del sismo, una densa nube de polvo cubrió la visión de la población. Las torres de la Catedral se derrumbaron y cayeron sobre las bóvedas, destruyéndolas por completo. Igual suerte corrieron las torres de iglesias como San Agustín, La Merced y San Pablo de la Compañía. Prácticamente todas las iglesias, conventos, monasterios, capillas y hospitales sufrieron daños más o menos graves.

En la región de Lucanas, un volcán de agua caliente entró en erupción, inundando toda la quebrada. Las intensidades máximas se registraron en el área conocida como el norte chico, con un nivel de XI en Huacho y X en Chancay. En la zona de Lima y Callao, las intensidades variaron de IX a X, mientras que en Canta y Matucana también se evaluaron intensidades de IX. En Cañete se registró un nivel de intensidad VIII, y se informaron niveles de VI en Trujillo, VI-VII en Cerro de Pasco, Santa y Huaraz, VI en Huamanga y Huancayo, y V en Arequipa y Cuzco.

Además, la Catedral de Huamanga sufrió graves daños en un terremoto que sacudió la zona en el siglo XVIII. Los daños ocurridos en el edificio llevaron a su posterior reconstrucción, que tuvo lugar después del evento sísmico. La fecha del movimiento sísmico en esa ocasión fue el 17 de junio de 1719, y los temblores continuaron afectando a Ayacucho y sus alrededores hasta el 6 de julio de 1719.

## **1.2 Delimitación del problema**

### **1.2.1 Espacial (geográfica)**

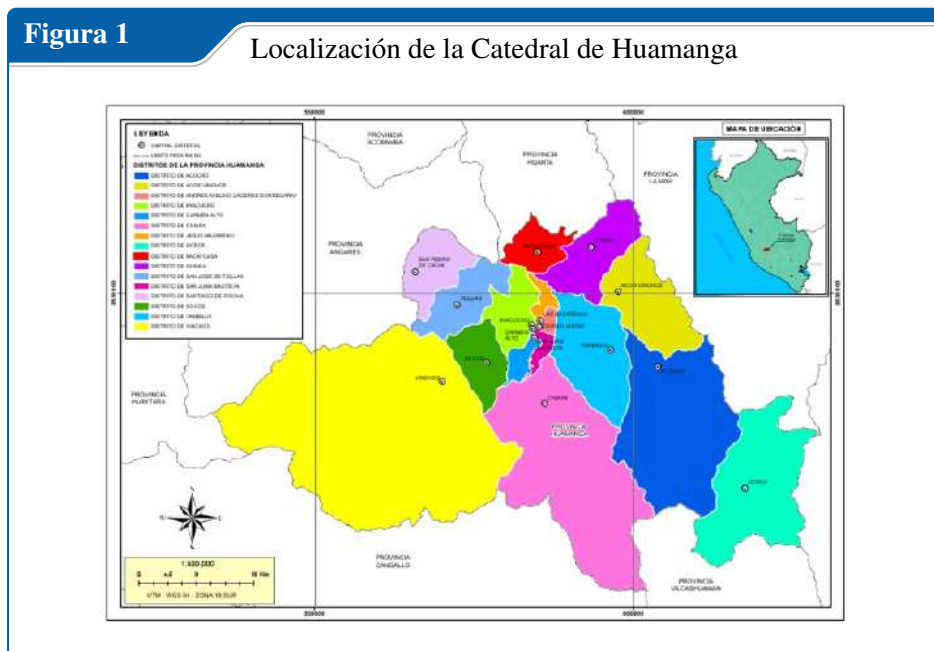
Para empezar el estudio es necesario delimitar espacialmente el problema, en este caso tenemos dos tipos niveles de delimitación:

Delimitación nacional de la zona sísmica a la que pertenece la Catedral de Huamanga, esta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia desde el epicentro. Coincide a su vez con la franja de cordillera de los Andes Centrales que se extiende de sur a norte a través del territorio nacional, lo que coloquialmente se conoce como “La Sierra”.

Es importante mencionar que la mayoría de las ciudades coloniales de “la sierra” tienen características sísmicas similares, y más importante sus edificios coloniales como catedrales tienen construcciones con métodos, tecnología y materiales similares.

El uso de bloques de piedra labrada es común, así como de juntas puzolánicas, tarrajeo con yeso, techos de quincha y teja andino tradicional. Por todo lo anterior se puede extrapolar y aplicar el estudio sismo-resistente de la Catedral de Huamanga a otros edificios similares en ciudades de origen colonial de la sierra peruana dentro de la delimitación nacional de la zona sísmica a la que pertenece.

El segundo nivel de delimitación se encuentra definido por el espacio que ocupa la misma infraestructura de la catedral. El estudio se enfocará en el comportamiento sismo-resistente de toda la edificación por lo que la investigación estará delimitado por la misma, esto comprende todas las áreas y secciones que la componen como: nave central, nave lateral, torre, girola, absidiolo, crucero, etc. Esto incluye obviamente las partes estructurales y arquitectónicas de la construcción.



Fuente: Internet

### **1.2.2 Temporal**

La delimitación temporal del estudio se basa principalmente en el periodo temporal en el que se desarrolla el estudio. El estudio se realizará durante los años 2022 y 2023, esto significa que se empleará normas y procedimientos modernos actualizados hasta estas fechas. Sin embargo, estudios posteriores deben de ajustarse a los requisitos que exijan el avance de la ciencia y tecnología. Según el tiempo que demanden las pruebas y ensayos necesarios para la recopilación de datos y procesamiento de la información, entre la sucesión de los años 2022-2023.

Esta delimitación temporal tiene como objetivo conocer el desempeño sismo-resistente de la edificación durante ese lapso de tiempo en concreto. Este comportamiento sísmico ha ido cambiando a través del tiempo obviamente debido al deterioro que han sufrido los materiales estructurales debido a las condiciones ambientales propias, sin embargo, nos enfocaremos en el desempeño actual del mismo. Por todo lo anterior el estudio se considera concurrente debido a que la investigación ocurre al mismo tiempo que se va desarrollando el comportamiento sísmico de la infraestructura de la edificación.

### **1.2.3 Temática y unidad de análisis**

La temática está enfocada en la investigación del comportamiento sísmico de edificaciones coloniales y las posibles consecuencias o daños que podrían sufrir frente a terremotos de gran intensidad. En específico el estudio está enfocado en la Catedral de Huamanga, que en su conjunto como edificación sería nuestra unidad de análisis, especialmente enfocado en la parte estructural de la edificación, pero también tomando en cuenta la arquitectura.

Sin embargo, esta temática puede ser generalizada para el análisis de otras construcciones coloniales similares localizadas en la “sierra” peruana como las Catedrales de Arequipa, Cusco, Apurímac, Huancavelica, etc. Que sufren movimientos sísmicos similares en intensidad y frecuencia en el tiempo, y que en el pasado ya han sido gravemente afectados e incluso destruidos por terremotos de gran intensidad.

## **1.3 Formulación del problema**

### **1.3.1 Problema general**

El problema que se plantea es conocer el comportamiento sísmico que presenta la edificación colonial, los efectos producidos por el espectro de diseño sísmico y la resistencia de la estructura a las esfuerzos mediante el análisis dinámico modal espectral de la Catedral de Huamanga.

### 1.3.2 Problemas específicos

- ① No existe conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de los materiales de construcción y tampoco se sabe si son adecuados para las necesidades de resistencia estructurales frente a movimientos sísmicos. Es necesario conocer las propiedades y características de estos materiales realizando estudios de laboratorio y buscando información bibliográfica.
- ② No existe procedimientos en la norma peruana para realizar análisis o estudios sísmicos en este tipo de edificaciones. Por lo cual no es posible determinar la resistencia o no de las estructura frente a sismos. El procedimiento de construcción de la edificación empleado en época colonial está desfasado y es ineficientes actualmente.
- ③ Se observa que ciertas zonas de la Catedral de Huamanga podrían necesitar reforzamientos o reconstrucción debido a su grado de deterioro. No se conocen las zonas que podrían verse más afectadas durante un movimiento sísmico. Pero la falta de información para realizar cálculos estructurales impide la adecuada implementación de estos métodos.

## 1.4 Justificación e importancia

Este estudio se realiza como parte de la tesis que he de presentar por mi parte a la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga como requisito indispensable para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil que otorga la mencionada universidad.

La importancia de la tesis radica en la ampliar o profundizar en el conocimiento en el área ya mencionada, aportando una novedad o una revisión crítica de un problema planteado, aplicando lo aprendido en la carrera y utilizando métodos científicos. Se presentan los resultados obtenidos en la investigación. Los resultados de la investigación conducirán de forma sistemática, lógica y objetiva, para la posible búsqueda de soluciones al problema de estudio planteado anteriormente.

La importancia de esta investigación es amplio, debido principalmente a que este estudio busca definir un modelo, parámetros y una guía para el análisis sísmico estructural de edificaciones coloniales principalmente catedrales que abundan en la sierra peruana. Este estudio puede servir de ejemplo a otros para analizar la respuesta sísmica dinámica de las ya mencionadas construcciones y el grado de seguridad que proporcionan a la población en un posible evento sísmico dada su importancia como edificación.

## 1.5 Limitaciones o restricciones

Una de las limitaciones de la investigación está dada principalmente por la imprecisión en el estudio, el cual no se ajusta a la conceptualización moderna de los sistemas y elementos estructurales. Existirá mucha inexactitud en el modelo estructural debido a la naturaleza heterogénea de los materiales, así como la diferencia de propiedades entre los elementos estructurales que pertenecen a un mismo material.

Se realizarán simplificaciones en el modelamiento estructural de algunos elementos teniendo en cuenta que posean una complejidad excesiva y sobreestimada dado que aporta poco al desempeño sísmica estructural de la edificación como cúpulas, bóvedas, etc.

Los ensayos y pruebas que se realizaran, así como la búsqueda de fuentes bibliográficas, para la recopilación de información técnica de la infraestructura tales como resistencia a la compresión, resistencia al corte, módulo de elasticidad, módulo de corte, etc deberán realizarse “in situ” y en laboratorios según sea necesario. Así mismo estos ensayos deberán ser lo menos invasivos posibles y los resultados deberán generalizarse para facilitar el modelamiento.

No se realizarán ensayos y/o pruebas de mecánica de suelos debido a la imposibilidad de acceder físicamente a las muestras de suelos y subsuelos de la edificación debido a denegación de permisos para estas actividades por parte del párroco de la catedral. Para el modelamiento y el análisis estructural se obviarán todos los elementos y materiales arquitectónicos como tarrajes, tejas, ornamentas, pintura, accesorios de madera, etc. considerando únicamente su peso para el análisis.

## 1.6 Objetivos

### 1.6.1 Objetivo general

Conocer el comportamiento sísmico de la estructura de la Catedral de Huamanga con su estructura colonial, así como los materiales usados en la construcción, y comprobar si es capaz de resistir los esfuerzos y deformaciones producidos por las aceleraciones sísmicas del espectro de diseño modal espectral del R.N.E. E.030

### 1.6.2 Objetivos específicos

- ① Realizar ensayos y buscar la información bibliográfica del origen y las propiedades físico-mecánicas de los materiales usados en la construcción de la Catedral de Huamanga, debido a que son elementos constructivos poco usados en la actualidad, así también la información sobre materiales es escasa para realizar cálculos estructurales.

- ② Realizar el procesamiento de los resultados de los esfuerzos y deformación obtenidos del estudio mediante software de elementos finitos, para luego realizar un análisis comparativo con las propiedades de resistencia a la compresión y cortante de los materiales usados en la construcción de la catedral de Huamanga.
- ③ Ubicar las zonas que se vean más afectadas por los esfuerzos y deformaciones producidos por el espectro de diseño de un sismo raro. Esto para proponer en el futuro se realicen procedimientos estructurales para el reforzamiento de elementos tales como columnas, arcos y muros en dichas zonas.



# Marco teórico conceptual

## 2.1 Antecedentes

### 2.1.1 Investigaciones internacionales

1. “BASES PARA LA EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE MONUMENTOS HISTÓRICOS” [Serrano Pinzan \(2003\)](#)

**Objetivo principal** Evaluar el estado actual de la intervención en el patrimonio arquitectónico nacional, considerando antecedentes, información disponible y políticas gubernamentales. Clasificar las diversas tipologías de edificios patrimoniales para identificar enfoques comunes de intervención. Analizar un edificio específico para extraer conclusiones sobre su comportamiento sísmico y opciones de intervención en monumentos históricos. Establecer pautas para la intervención estructural en monumentos basadas en los resultados de la investigación.

**Procedimiento** Se creó un modelo de elementos finitos en SAP2000 para analizar el comportamiento sísmico del templo colonial, utilizando dimensiones extraídas de los planos del Ministerio de Cultura. El modelo es adecuado para un análisis cualitativo, pero no refleja con precisión la estructura debido a suposiciones sobre las propiedades de los materiales, ya que no se disponía de datos reales.

**Instrumentos de medición** Realizar el modelamiento en el programa de análisis estructural SAP 2000.

**Muestra** Se desarrolló un modelo analítico utilizando medidas de planos y datos sobre la sismicidad local para estudiar la estructura de la iglesia seleccionada.

**Resultados** El análisis matemático de la estructura proporciona una descripción cualitativa de los efectos de las cargas sísmicas, pero se requiere información detallada sobre las propiedades de los materiales y su disposición en los elementos estructurales para un estudio más preciso. Debido a la falta de datos precisos, se observan valores equívocos en los esfuerzos cortantes, principalmente en los arcos centrales, lo que puede deberse a suposiciones sobre el material y su disposición. A pesar de

estas incertidumbres, el modelo matemático permite analizar el comportamiento sísmico de la edificación. Los materiales de la estructura no son adecuados para resistir sismos debido a su peso y baja ductilidad. Sin embargo, la presencia de muros transversales densos y contrafuertes de material rígido proporciona cierta capacidad para absorber la energía sísmica en los muros longitudinales. La estructura está diseñada para soportar cargas de gravedad de manera adecuada mediante muros de carga longitudinales y transversales. Incluso en caso de sismo, los esfuerzos máximos de compresión y tracción debidos a la gravedad se mantienen dentro de los límites admisibles.

2. “VULNERABILIDAD SÍSMICA DE CONSTRUCCIONES PATRIMONIALES HISTÓRICAS DE MAMPOSTERÍA EN CHILE: APLICACIÓN A LOS TORREONES ESPAÑOLES DE VALDIVIA” [Sánchez Cárdenas \(2013\)](#)

**Objetivo principal** Analizar y evaluar la vulnerabilidad sísmica de una construcción patrimonial histórica de mampostería, usando el caso del Torreón Los Canelos.

**Procedimiento** El diseño sísmico se centra en proyectar elementos estructurales y no estructurales de un sistema constructivo para lograr un nivel de desempeño predeterminado ante la peligrosidad sísmica. Este enfoque se denomina diseño por desempeño y puede evaluarse mediante análisis lineales o no lineales. Una técnica común es el análisis estático no lineal, también conocido como Método del Espectro de Capacidad, que compara la capacidad de la estructura para resistir fuerzas laterales con la demanda de resistencia para un nivel específico de peligrosidad sísmica. (Martínez, 2007).

**Instrumentos de medición** Huincha, sismómetro, geófono.

**Muestra** Se llevaron a cabo estudios de campo para recopilar datos esenciales sobre la estructura, que incluyeron información sobre la geometría, daños estructurales, propiedades dinámicas de la estructura y el suelo, así como propiedades mecánicas del material. Para obtener estas medidas, se utilizó una escalera y una cinta métrica para determinar la altura máxima de la estructura, las dimensiones de las ventanas y puertas, el espesor de los muros y el nivel del suelo construido. Además, se registraron vibraciones ambientales utilizando un sismómetro ubicado en una gárgola del torreón, en una ventana y a nivel del suelo. También se realizaron mediciones con un geófono en varios puntos del suelo para evaluar la posible resonancia entre el suelo y el torreón. El propósito de estas mediciones con el sismómetro y el geófono fue calcular el período natural de la estructura y el

período del suelo. El período natural de la estructura, obtenido en el sitio, se utilizará para calibrar el modelo numérico.

**Resultados** No se encontraron estudios previos en Chile sobre estructuras patrimoniales de mampostería, incluyendo los Torreones Españoles de Valdivia. La falta de información sobre la vulnerabilidad sísmica de estas estructuras patrimoniales es evidente. Se optó por el Método del Espectro de Capacidad debido a su fiabilidad, ya que utiliza las propiedades dinámicas de la estructura y el suelo, reduciendo la incertidumbre, como se demostró en este estudio. Las campañas de campo fueron fundamentales para obtener datos empíricos, especialmente en construcciones históricas antiguas. Todas las mediciones proporcionaron información valiosa para validar y ajustar el modelo numérico, reduciendo la incertidumbre en el estudio de estas estructuras. La calibración del modelo numérico fue esencial para obtener resultados confiables y permitió ajustar parámetros de las propiedades mecánicas del material de manera experimental. Durante la calibración, se probaron tres estrategias para alcanzar el período natural deseado en la modelización numérica, y solo la tercera resultó efectiva. Se logró calibrar el modelo utilizando un apoyo fijo y un coeficiente de balastos adecuado al tipo de suelo existente.

### 2.1.2 Investigaciones nacionales

1. “EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD SÍSMICA DE LAS FACHADAS DE LA CATEDRAL DE LIMA BAJO EL ENFOQUE DE MECANISMOS DE COLAPSO”  
Castro Aroni (2019)

**Objetivo principal** Esta investigación se centra en evaluar la metodología adecuada para analizar la seguridad sísmica de estructuras históricas en Perú, con un enfoque específico en realizar una evaluación preliminar de las fachadas de la Catedral de Lima.

**Procedimiento** Revisión bibliográfica y de antecedentes: Se realizará un análisis exhaustivo del estado del arte sobre mecanismos de colapso y metodologías para evaluar estructuras históricas. Selección de la metodología: Se considerarán tres metodologías propuestas por otros autores y se elegirá la más adecuada en función de la disponibilidad de información, el alcance de los objetivos, la comprensión teórica necesaria y los costos asociados. Aplicación a la fachada de la Catedral de Lima: La metodología seleccionada se aplicará a las fachadas laterales de la catedral. Evaluación de resultados: Se determinará la seguridad sísmica de la catedral de Lima, destacando los mecanismos más probables y su impacto en la respuesta sísmica del edificio en caso de activarse.

**Instrumentos de medición** Se realiza el análisis mediante procedimientos analíticos y cálculos matemáticos por medio de fórmulas y procesamiento de la información recogida in situ.

**Muestra** Se llevó a cabo un análisis cualitativo de tres fachadas: la fachada principal, la fachada Los Judíos y la fachada Santa Apolonia.

**Resultados** Utilizamos la metodología propuesta por la NTC 2008 de Italia para realizar un análisis preliminar de la seguridad sísmica de edificaciones históricas. Aunque los resultados no son precisos, esta metodología rápida nos permitió comparar el estado estructural de varias construcciones históricas y priorizar aquellas que requieren una intervención más urgente. Nuestra revisión bibliográfica indicó que los mecanismos fuera del plano son los más probables en estructuras de mampostería no reforzada. Identificamos varios elementos en la Catedral de Lima, incluyendo la fachada Principal, la fachada Los Judíos, la fachada Santa Apolonia y dos torres. Calculamos un índice de vulnerabilidad para cada fachada en comparación con el índice de vulnerabilidad de toda la catedral, considerando su contribución a la vulnerabilidad sísmica. Los resultados revelaron que la fachada Principal es la más vulnerable debido a la falta de contrafuertes para resistir el volteo, la carga directa de las bóvedas y la presencia de numerosas aberturas en su estructura. La fachada Santa Apolonia se clasificó como la segunda más vulnerable, ya que, al igual que la fachada Principal, presenta restricciones menos eficientes para resistir el volteo en comparación con la fachada Los Judíos, que cuenta con contrafuertes que limitan el desplazamiento en una dirección.

2. “EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE CONSTRUCCIONES HISTÓRICAS EN LA COSTA PERUANA UTILIZANDO TECNOLOGÍAS MODERNAS: EL CASO DEL HOTEL “EL COMERCIO EN LIMA” [Chacara Espinoza \(2013\)](#)

**Objetivo principal** El objetivo principal de este trabajo es identificar las propiedades dinámicas de una construcción histórica a través de ensayos experimentales y llevar a cabo una calibración preliminar del modelo numérico.

**Procedimiento** Los ensayos experimentales implican la medición de parámetros que varían en el tiempo, como aceleración, velocidad o desplazamiento en puntos específicos de la estructura. Estos se realizan utilizando sistemas de medición que constan de una unidad de adquisición, una estación central y un transductor de medida. En ocasiones, se emplean conexiones remotas para supervisar y visualizar los resultados (Aguilar, 2010). Para transformar los parámetros de desplazamiento,

velocidad o aceleración en señales eléctricas, se utilizan equipos llamados acelerómetros debido a su alta sensibilidad y costo reducido (Weng et al., 2008). Estos operan como osciladores viscoelásticos de un grado de libertad, donde una masa inercial ( $m$ ) se mueve proporcionalmente ( $k_a$ ) a la amplitud de la aceleración del cuerpo en movimiento. La amplitud del movimiento se convierte en una señal eléctrica de voltaje (He y Fu, 2001). Un sistema de adquisición de datos registra las señales detectadas por los transductores en intervalos de tiempo discretos. Este sistema convierte las señales analógicas en señales digitales y las transmite a la unidad central (computadora).

**Instrumentos de medición** Para excitar el sistema estructural en evaluación, se utilizaron martillos de impacto o vibradores electrodinámicos en estructuras pequeñas. Para estructuras más grandes, se emplearon vibradores de masa excéntrica, así como vibradores servo-hidráulicos y electrohidráulicos. La procesamiento de las señales se llevó a cabo utilizando el software ARTEMIS (SVS 2013), y se ingresaron las coordenadas de los puntos de medición al programa antes de procesar los datos.

**Muestra** Las muestras en los ensayos experimentales son puntos críticos designados en la estructura que registran parámetros dinámicos como aceleración, velocidad o desplazamiento.

**Resultados** El análisis de estructuras mediante vibraciones se divide en vibraciones forzadas y vibraciones ambientales. Los ensayos de vibraciones forzadas en estructuras de ingeniería civil requieren de mucha energía, equipos pesados y personal capacitado. En contraste, los ensayos de vibraciones ambientales son más versátiles y aplicables a cualquier tipo de estructura, aprovechando el ruido existente para excitarla en todas sus frecuencias de interés.

En la época del virreinato en la costa del Perú, los materiales predominantes fueron tierra, madera y caña, debido a su abundancia y accesibilidad, así como a la falta de mano de obra especializada. Los sistemas estructurales característicos eran de adobe y quincha. El adobe, siendo pesado y frágil, sufría daños severos en movimientos sísmicos, mientras que la quincha, más flexible, se utilizaba en pisos superiores por su mejor comportamiento ante sismos.

La identificación experimental de las propiedades dinámicas del hotel fue desafiante debido a la complejidad y al severo daño de la estructura. Se lograron identificar nueve modos de vibración, destacando un comportamiento anómalo en la fachada cercana al Jr. Ancash, indicativo de daño en esa área.

Para el modelo numérico, se requiere documentar detalladamente el estado actual y los componentes estructurales, además de definir las condiciones de frontera y caracterizar las propiedades mecánicas de los materiales. En cuanto a la calibración, se deben implementar rutinas automáticas considerando conceptos de optimización.

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Antecedentes de la investigación o marco referencial

Mendoza (2005) narra que, en medio del proceso colonizador, los estilos arquitectónicos Gótico y Barroco de las catedrales europeas cruzaron el Atlántico hacia América. Esas expresiones artísticas ancestrales fueron fusionadas con creatividad local y tradiciones autóctonas en la edificación de capillas, catedrales y templos cristianos en territorios conquistados. La influencia mantuvo los patrones originales, con ornamentos de la arquitectura Gótica y Churrigueresca de los siglos XVI y XVII. Los arquitectos españoles, el esfuerzo de la mano de obra indígena y los recursos nativos posibilitaron la construcción de numerosas iglesias para difundir y establecer la religión que trajeron consigo.

A causa de este proceso de colonización, muchas naciones en el mundo albergan un inmenso legado histórico compuesto por una variedad de materiales, estilos y estructuras. Sin embargo, este patrimonio se encuentra amenazado por fenómenos naturales, ya que el planeta es un escenario donde la actividad sísmica es notable, especialmente en el Cinturón de Fuego del Pacífico, donde la mayoría de los sismos impactantes ha causado daños considerables en estructuras históricas. Por esta razón, diversos países se preocupan por investigar y preservar su herencia histórica.

A nivel global, se han llevado a cabo múltiples investigaciones sobre la vulnerabilidad sísmica en construcciones históricas con diversa configuración, materiales y métodos de construcción. Estas investigaciones buscan comprender el comportamiento sísmico y ofrecer soluciones para la conservación, restauración y mantenimiento. A continuación, se describen las investigaciones en países altamente sísmicos que poseen un vasto patrimonio histórico:

#### 2.2.1.1 Experiencia Latinoamericana

América fungió como cuna y epicentro de civilizaciones mucho antes de que los europeos la descubrieran. En estas tierras se erigen monumentos, estatuas, templos y pirámides de culturas mayas, olmecas, aztecas e incas. Tras el siglo XVI y la conquista española, se sumaron al legado iglesias, catedrales, plazas, palacios y fortalezas. A pesar de terremotos y otros desafíos, muchos de estos sobrevivieron.

Un caso de influencia española en la conquista es la Catedral del Cusco, en Perú. Esta se erigió en 1560, sobre un recinto incaico del Palacio del Inca Wiracocha. La catedral, con tres templos unidos construidos en etapas diversas, emplea muros de mampostería, pilares y cúpulas pétreas. Sufrió daños por sismos y se reconstruyó al menos cinco veces [Proaño, Olarte et al. \(2003\)](#).

Para evaluar su comportamiento sísmico, [Proaño, Olarte et al. \(2003\)](#) realizó tres modelos numéricos de elementos finitos. Las probetas de la estructura sirvieron para caracterizar los materiales. El análisis de la mecánica del suelo demostró adecuación del terreno y que los asentamientos se originaron en la construcción, no relacionados con los daños. El análisis mostró que, aunque resiste sismos, no soportaría uno mayor debido a su sobrepeso y poca ductilidad, contrapuesto al comportamiento sísmico ideal.

México posee gran cantidad de edificios históricos de mampostería, parte del patrimonio por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Mayoritariamente de los siglos XVI y XIX, muchos sufrieron daños de diversas magnitudes y tipos [De la torre et al. \(2004\)](#).

En Colima, Jalisco, Puebla, Tlaxcala y Oaxaca se usaron variadas técnicas de reforzamiento estructural, desde tradicionales hasta modernas, en estos edificios. Los daños varían desde fisuras y agrietamientos hasta colapsos parciales de cúpulas y torres, algunos requirieron apuntalamiento interior y exterior.

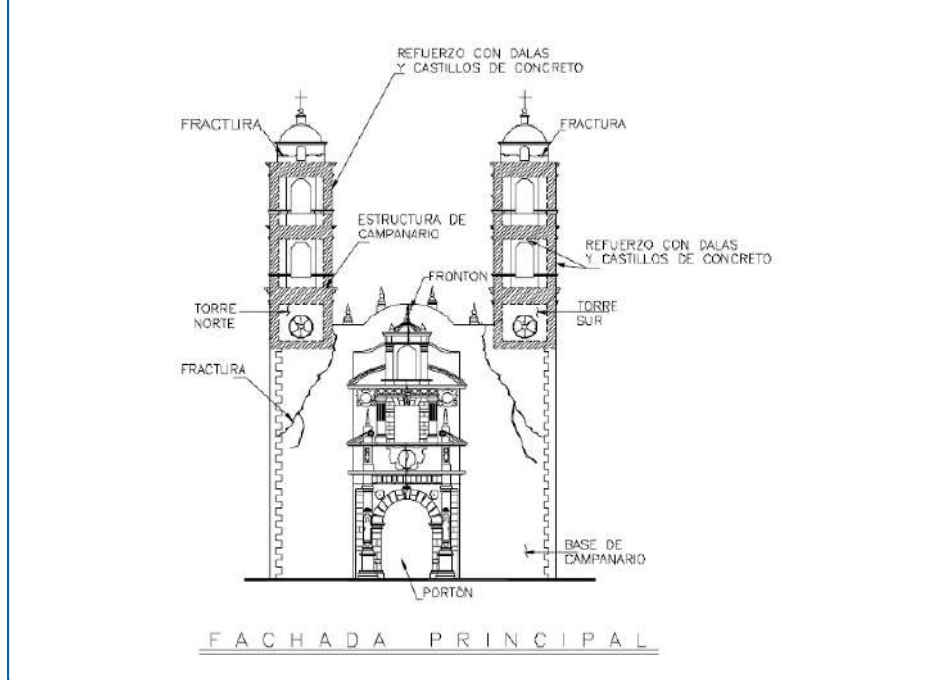
**Figura 2**

Refuerzos en hormigón armado, frecuentemente usados para campanarios



**Fuente:** De la torre et al. (2004)

**Figura 3** Refuerzos en hormigón armado, frecuentemente usados para campanarios



Fuente: De la torre et al. (2004)

De la torre et al. (2004) llevaron a cabo un estudio que evaluó las reparaciones realizadas en edificios históricos de México durante los últimos 50 años. Los resultados obtenidos en las estructuras intervenidas mostraron una amplia variabilidad: en ciertos casos, las soluciones implementadas resultaron efectivas, mientras que en otros casos modificaron el comportamiento local, exacerbando las fallas. La información recolectada también puso en evidencia que la cercanía entre los periodos asociados a la vibración fundamental de este tipo de edificios y las características del suelo amplifican la respuesta dinámica de las estructuras, lo que provoca un deterioro mayor en los elementos que las conforman.

La conclusión principal fue que las soluciones tradicionalmente empleadas y que han demostrado ser más efectivas son aquellas que incorporan elementos de refuerzo locales, distribuidos de manera uniforme a lo largo de las naves. Por otro lado, se resalta la necesidad de realizar análisis más rigurosos para confirmar o descartar las hipótesis relacionadas con los parámetros de diseño sísmico en los edificios donde las soluciones no resultaron apropiadas.

### 2.2.1.2 Investigaciones realizadas en Perú

Perú ostenta un pasado cultural de gran antigüedad, destacando templos y ruinas incas, así como también iglesias y mansiones de influencia española. Un estudio significativo tuvo lugar en la Catedral de Cusco, con 457 años de antigüedad, cuya construcción abarcó un

extenso proceso de aproximadamente 108 años. Su diseño refleja inequívocamente influencias españolas. Esta estructura ha enfrentado sismos relevantes que han inducido colapsos parciales. Comprende tres templos unidos, construidos en etapas distintas, con una estructura constituida por muros de adobe, pilares y bloques de piedra Proaño, Olarte et al. (2003).

Proaño, Olarte et al. (2003) analizó tres modelos numéricos basados en el método de elementos finitos en la Basílica Catedral y la Iglesia de la Sagrada Familia. Simuló propiedades materiales mediante pruebas en probetas extraídas. Además, analizó la mecánica de suelos en cuatro calicatas internas y realizó ocho ensayos de penetración dinámica (DPL), concluyendo una base sólida. En síntesis, el análisis indica que, aunque la estructura puede afrontar acciones sísmicas, su resistencia a sismos de gran magnitud es limitada por su exceso de peso en relación a su capacidad y falta de ductilidad.

### **2.2.2 La Vulnerabilidad Sísmica en las Estructuras Históricas**

El tiempo y factores ambientales vulneran el patrimonio cultural ante cargas dinámicas y su amenaza central, los terremotos, lo que torna imprevisible el colapso total o parcial de estructuras, pues muchas de estas construcciones carecen de mantenimiento continuo y apropiado. Gran parte presenta problemas estructurales que ponen en riesgo a edificaciones y personas.

La experiencia adquirida por países en el estudio de esta rama de la ingeniería civil y las actuales pautas para la conservación han fomentado la formulación de soluciones reparadoras apropiadas, seguras y económicas. El análisis sísmico y la vulnerabilidad de estructuras históricas son aspectos esenciales para su conservación, la seguridad poblacional y los intereses económicos ligados, especialmente en una era en que el turismo es una industria clave. Desafortunadamente, las edificaciones históricas han sufrido daños graves, parciales o totales. Estas pérdidas no son solo económicas, así como las vidas perdidas en colapsos sísmicos. Además, el patrimonio histórico no es recuperable tras un terremoto.

El estudio de construcciones históricas requiere tecnología moderna y enfoque científico. Es tarea de especialistas dirigir medios técnicos para comprender morfología y comportamiento estructural y caracterizar necesidades de reparación. Exigencias modernas incluyen reversibilidad, discreción, reparación mínima, respeto a lo original, además de necesidades funcionales y estructurales.

## **2.3 Marco conceptual**

Los conceptos teóricos más importantes de los que haremos uso para la comprobación final de las hipótesis de la presente investigación son los siguientes:

### 2.3.1 Elementos Finitos

Los elementos finitos son una técnica utilizada en ingeniería y ciencia para resolver problemas matemáticos complejos. Esta técnica se basa en la subdivisión de un problema continuo en elementos finitos discretos que son más fáciles de analizar. El método de elementos finitos se utiliza comúnmente en el análisis de estructuras, dinámica de fluidos, transferencia de calor y otros campos.

El marco teórico de los elementos finitos se basa en la formulación matemática de un problema continuo y su discretización en elementos finitos. Esta discretización se logra mediante la subdivisión del dominio del problema en pequeñas regiones finitas, llamadas elementos finitos. Cada elemento finito tiene un conjunto de ecuaciones que lo describen y se acoplan con otros elementos finitos adyacentes para formar un sistema global de ecuaciones que describe todo el problema.

La formulación matemática de los elementos finitos se basa en la ley de conservación de la energía, la cual se expresa en términos de ecuaciones diferenciales parciales. Estas ecuaciones pueden ser lineales o no lineales, y su solución puede requerir el uso de métodos numéricos.

El proceso de discretización implica la selección de una función de interpolación para aproximar la solución dentro de cada elemento finito. Estas funciones de interpolación pueden ser lineales o polinómicas de orden superior, y su elección afecta la precisión y la eficiencia del método.

El sistema global de ecuaciones resultante se resuelve mediante técnicas numéricas, como el método de Gauss-Seidel, el método de Jacobi o el método de eliminación de Gauss. La solución obtenida proporciona información sobre el comportamiento del sistema en todo el dominio del problema.

En resumen, el marco teórico de los elementos finitos implica la formulación matemática de un problema continuo, la discretización del dominio en elementos finitos, la selección de funciones de interpolación y la resolución del sistema global de ecuaciones. El método de elementos finitos es una herramienta poderosa para resolver problemas complejos en ingeniería y ciencia, y su aplicación se extiende a una amplia variedad de campos.

### 2.3.2 Que es Ansys Workbench

ANSYS Workbench es una plataforma de software de simulación de ingeniería que se utiliza para modelar, analizar y optimizar una variedad de productos y sistemas mecánicos. Está diseñado para permitir a los ingenieros realizar simulaciones de alta fidelidad de sus diseños de forma rápida y sencilla, lo que permite ahorrar tiempo y costes en el proceso de desarrollo de

productos. El software se puede utilizar para simular una amplia gama de fenómenos físicos, desde el flujo de fluidos hasta el comportamiento sólido, la vibración y la termodinámica. Además, el software incorpora herramientas de análisis como el análisis estructural, el análisis de flujo multidimensional y el análisis de elementos finitos. Esto hace que ANSYS Workbench sea una herramienta útil para una variedad de aplicaciones de ingeniería, desde el diseño de automóviles hasta el diseño de sistemas de energía.

### 2.3.3 Diferencia entre modelos finitos 2d y 3d

La principal diferencia entre modelos finitos 2D y 3D es que los modelos 2D representan el problema en dos dimensiones, mientras que los modelos 3D representan el problema en tres dimensiones. En otras palabras, los modelos 2D sólo tienen dos dimensiones de libertad, mientras que los modelos 3D tienen tres dimensiones de libertad.

En un modelo 2D, el problema se define en un plano bidimensional, y las propiedades del material, las cargas y las condiciones de contorno se aplican en dos dimensiones. Los elementos finitos utilizados en el modelo 2D tienen sólo dos grados de libertad (generalmente la deformación en dos direcciones perpendiculares), lo que simplifica el análisis y reduce la complejidad del problema. Los modelos 2D se utilizan comúnmente para analizar problemas de deformación plana o axilsimétricos, donde la geometría del problema es simétrica en torno a un eje.

Por otro lado, en un modelo 3D, el problema se define en un espacio tridimensional, y las propiedades del material, las cargas y las condiciones de contorno se aplican en tres dimensiones. Los elementos finitos utilizados en el modelo 3D tienen tres grados de libertad (generalmente la deformación en tres direcciones ortogonales), lo que permite una representación más precisa del problema y una mayor capacidad de análisis. Los modelos 3D se utilizan comúnmente para analizar problemas que involucran componentes complejos y no simétricos, como piezas de maquinaria, edificios, puentes, etc.

En resumen, los modelos finitos 2D son más simples y eficientes, pero también menos precisos que los modelos 3D. Los modelos 3D son más complejos y requieren más recursos de cálculo, pero permiten una representación más precisa y detallada del problema. La elección entre modelos 2D y 3D depende del tipo de problema a analizar, la precisión requerida y los recursos disponibles para llevar a cabo el análisis.

### 2.3.4 Diferencia entre ETABS y ANSYS

ETABS y ANSYS son dos programas de análisis estructural ampliamente utilizados en ingeniería civil y mecánica. Aunque ambos programas se utilizan para el análisis estructural, tienen diferencias significativas en términos de sus características y aplicaciones.

ETABS es un programa especializado en el análisis de edificios y estructuras de concreto y acero. Se utiliza comúnmente para el análisis y diseño de edificios de varios pisos y estructuras industriales. ETABS cuenta con una interfaz de usuario intuitiva que permite a los ingenieros modelar, analizar y diseñar edificios de manera rápida y eficiente. La mayoría de las características de ETABS están diseñadas específicamente para el análisis y diseño de edificios y estructuras de concreto y acero, y el programa incluye herramientas especializadas para el análisis sísmico y la determinación de las cargas laterales en los edificios.

ANSYS, por otro lado, es un programa de análisis estructural más generalizado que se utiliza para una amplia variedad de aplicaciones en ingeniería mecánica, aeroespacial, automotriz y civil. ANSYS es una herramienta completa de simulación por elementos finitos que se utiliza para el análisis y diseño de estructuras mecánicas, componentes de maquinaria, sistemas dinámicos, sistemas térmicos y fluidos, y una amplia gama de problemas de ingeniería. ANSYS tiene una interfaz de usuario avanzada y cuenta con una gran cantidad de herramientas y opciones de modelado que permiten a los ingenieros personalizar su análisis de acuerdo a sus necesidades específicas.

### 2.3.5 Importación modelos 3d a ANSYS

Importar modelos 3D a ANSYS tiene varias ventajas, entre las que se incluyen:

- ① Mayor precisión y eficiencia en el análisis: Al importar modelos 3D a ANSYS, se puede utilizar una geometría más precisa que en un modelo 2D, lo que resulta en un análisis más preciso y eficiente. Esto es especialmente importante en aplicaciones donde la geometría es compleja o la deformación es significativa.
- ② Mayor flexibilidad y capacidad de análisis: Al tener una representación más precisa de la geometría de la estructura en un modelo 3D, se puede realizar un análisis más completo y detallado de la estructura. Además, el análisis de un modelo 3D permite analizar diferentes secciones de la estructura en diferentes planos, lo que no es posible en un modelo 2D.
- ③ Mayor capacidad para simular el comportamiento real de la estructura: Al tener una representación más precisa de la geometría en un modelo 3D, se pueden simular mejor

las condiciones reales de la estructura, incluyendo cargas no simétricas y condiciones de borde irregulares.

- ④ Mayor capacidad para visualizar los resultados: Al tener una representación más precisa de la geometría en un modelo 3D, se pueden visualizar mejor los resultados del análisis, lo que facilita la interpretación y el diagnóstico de los resultados.

La importación de modelos 3D a ANSYS tiene varias ventajas, incluyendo una mayor precisión y eficiencia en el análisis, una mayor flexibilidad y capacidad de análisis, una mayor capacidad para simular el comportamiento real de la estructura y una mayor capacidad para visualizar los resultados del análisis.



# Método de la Investigación

## 3.1 Enfoque

Para evaluar la vulnerabilidad sísmica, los investigadores han desarrollado técnicas y procedimientos en diversos tipos de estructuras, como edificios, componentes críticos de infraestructura, instalaciones esenciales, centrales nucleares y estructuras históricas, entre otros. Estos esfuerzos han generado una amplia gama de enfoques importantes para evaluar la vulnerabilidad en diferentes niveles de detalle, permitiendo su aplicación en múltiples países.

Por otro lado, se encuentran las naciones en desarrollo con control normativo insuficiente, donde no se ha logrado reducir adecuadamente la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes. Esta circunstancia resulta en la posibilidad de que movimientos sísmicos moderados a intensos generen pérdidas humanas y ocasionen daños físicos, sociales y económicos de magnitudes considerables, dando lugar a auténticas catástrofes. [Bonett \(2003\)](#)

Dada la crucial importancia de evaluar la vulnerabilidad sísmica en diversas estructuras, han surgido diversas metodologías de evaluación que pueden dividirse en técnicas cualitativas y cuantitativas.

## 3.2 Alcance (exploratorio, descriptivo, correlacional, explicativo)

### 3.2.1 Propósito de la investigación:

#### 3.2.1.1 Investigación aplicada

En este contexto, el objetivo es desarrollar estrategias para abordar un problema específico. La investigación aplicada utiliza la teoría como base para generar conocimiento práctico y es ampliamente utilizada en campos como la ingeniería.

#### 3.2.1.2 Investigación aplicada científica

La investigación de este tipo tiene un enfoque predictivo. A través de ella, se pueden medir variables con el propósito de predecir comportamientos que son beneficiosos para el sector de bienes y servicios, como patrones de consumo o la viabilidad de proyectos comerciales.

### **3.2.2 Profundidad de la investigación:**

#### **3.2.2.1 Investigación explicativa**

Este tipo de investigación es el más común y se enfoca en establecer relaciones de causa y efecto, lo que posibilita hacer generalizaciones aplicables a situaciones similares. Es especialmente útil para verificar teorías y entender cómo ciertas variables influyen en otras.

### **3.2.3 Duración del tiempo de investigación:**

#### **3.2.3.1 Investigación longitudinal**

Esta forma de investigación involucra el seguimiento de un evento, individuo o grupo durante un período específico claramente definido. Su objetivo principal es observar y registrar cambios en las variables analizadas a lo largo de ese periodo.

### **3.2.4 Tipo de Inferencia en Metodología:**

#### **3.2.4.1 Investigación inductiva**

Este tipo de investigación se caracteriza por generar conocimiento a partir de casos o situaciones particulares para luego llegar a generalizaciones. Se basa en la recolección de datos específicos con el propósito de desarrollar nuevas teorías o entender patrones más amplios.

### **3.2.5 Grado de control:**

#### **3.2.5.1 Diseño propiamente comparativo**

En este tipo de investigación, la variable independiente se selecciona previamente, como por ejemplo la raza o el género del sujeto. A través del diseño comparativo, es posible establecer relaciones de cuasi-causalidad. En ambos tipos de diseños comparativos, el nivel de control por parte del experimentador es intermedio.

### **3.2.6 Tipo de manipulación:**

#### **3.2.6.1 Investigación cuasi-experimental**

En este segundo tipo de diseño, la manipulación es de selección y no es intencional, lo que significa que se utilizan variables o valores que ya posee el sujeto, como por ejemplo, el sexo. En este contexto, no se realiza una aleatorización de las variables, lo que constituye la principal diferencia entre un diseño de investigación experimental y un diseño cuasi-experimental.

## **3.3 Diseño de investigación (tipos: experimental y/o no experimental)**

Para el diseño de investigación elegiremos el método de diseño cuantitativo que se ajusta mejor a nuestras necesidades.

### **3.3.1 Diseño cuantitativo**

En el enfoque cuantitativo, los fenómenos son eventos influenciados por causas independientes de la voluntad humana, lo que los hace objetivos. Este tipo de investigación se lleva a cabo cuando es crucial para el investigador obtener conclusiones estadísticas que le asistan en la recopilación de información. En este método, se pone énfasis en el cálculo y los números.

Dentro del diseño cuantitativo elegimos el Diseño de Investigación Experimental

#### **3.3.1.1 Diseño de Investigación Experimental**

El diseño de investigación experimental se emplea para establecer una relación causal entre una causa y un efecto en una situación. En este diseño, se observa el efecto provocado por la variable independiente sobre la variable dependiente. Las variables independientes son manipuladas para observar el cambio que generan en la variable dependiente. Esto permite examinar de manera controlada cómo las variaciones en una variable afectan a otra.

## **3.4 Población y muestra**

### **3.4.1 Población**

Es el conjunto de todas las construcciones y edificaciones religiosas coloniales, semejantes entre sí, tradicionalmente relacionadas con la fe católica y la arquitectura de herencia española construidas en la sierra peruana. En todo el país se encuentran grandes Catedrales e Iglesias de este tipo, principalmente en las capitales regionales de pasado colonial como Arequipa, Cusco, Puno, etc. La población es finita.

### **3.4.2 Muestra**

Es el subconjunto de la población que es una muestra representativa de la población. En nuestro caso la muestra estaría representada por la Catedral de Huamanga, que forma parte de todas esas edificaciones coloniales y presenta en su construcción todas las características, métodos de construcción y estilos arquitectónicos de una gran construcción religioso tradicional en la sierra peruana.

## **3.5 Hipótesis**

### **3.5.1 Hipótesis general**

Si realizamos un análisis sísmico dinámico de acuerdo al espectro de diseño presente en la normativa E.030, aplicado a la estructura de la Catedral de Huamanga, usando software de elementos finitos (más adecuado para construcciones con sistema estructural no convencional) con los datos obtenidos de estudios podremos obtener resultados que nos permitan determinar

si la Catedral es capaz de resistir los esfuerzos y deformaciones ocasionados por un sismo raro.

### 3.5.2 Hipótesis específicas

- ① Si se realizan ensayos técnicos de los materiales estructurales que conforman la estructura de la Catedral, así como investigaciones bibliográficas, se pueden conocer sus propiedades físicas, así como las resistencias a la compresión, corte, tracción, módulo de elasticidad, etc. Con esta información procederemos a realizar los cálculos estructurales y buscar posibles reemplazos técnicos para estos con nuevos materiales si es necesario.
- ② Si realizamos un cálculo estructural mediante un software de elementos finitos, aplicado a la Catedral que posee un tipo de construcción no convencional, buscaremos los criterios de admisibilidad más prácticos para determinar si la estructura de la edificación es capaz de resistir los efectos de un sismo según el espectro de diseño de la norma peruana.
- ③ Si realizamos cálculos estructurales y determinamos que zonas o partes de la estructura de la Catedral que sufren más como producto de las fuerzas sísmicas, podemos proponer procedimientos de intervención estructural mediante reforzamientos de elementos o rehabilitaciones estructurales con metodologías modernas a la infraestructura de la Catedral.

## 3.6 Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional

Nivel de Investigación:

### 3.6.1 Investigación Predictiva

1. El estudio tiene como finalidad la estimación del comportamiento sísmico de la edificación colonial, este comportamiento es generalmente adverso, y para conocer si dicho comportamiento es admisible según los esfuerzos y deformaciones de los materiales.
2. Las técnicas usadas serán software de análisis estructural que nos permiten predecir el desempeño estructural frente a eventos sísmicos que aplican técnicas estadísticas específicas.
3. La investigación pretende anticipar mediante reforzamiento estructural las consecuencias dañinas de la ocurrencia de eventos sísmicos.

## 3.6.2 Variables e indicadores

### 3.6.2.1 Variables

**Variables Independientes.** Aquellas que se consideran las causas. Se identifica siempre una variable cuya magnitud o característica se relaciona con otra a la cual afecta. Estas variables deben ser analizadas en función del comportamiento estructural de la Catedral de Huamanga, para comprobar si que cumplan los requisitos de sismorresistencia.

Las variables independientes para la presente tesis son:

- ① Propiedades de Materiales estructurales.
- ② Sistema estructural no convencional.
- ③ Estado de conservación de infraestructura actual.
- ④ Vulnerabilidad focalizada en zonas estructurales.

**Variables Dependientes.** Son aquellas que dependen de la acción (intensidad o característica) de las variables independientes. Las variables dependientes objeto de estudio en la tesis son: el comportamiento estructural de la Catedral de Huamanga según las aceleraciones del espectro de diseño. Este comportamiento es el que determinará como se relaciona el estudio sísmorresistente con las variables independientes así como estas últimas deben ser modificadas para cumplir con los requisitos técnicos de la norma peruana.

### 3.6.2.2 Indicadores

Los conceptos, al no ser directamente observables, requieren de procedimientos que posibiliten su medición indirecta a través de manifestaciones externas, empíricas y observables. Estas manifestaciones o expresiones se denominan indicadores. Los indicadores proporcionan una forma de cuantificar o evaluar conceptos abstractos o no directamente observables en una investigación.

Indicador asociada a cada una de las indicadores Independientes.

- ① Resistencia a la comprensión, Modulo de elasticidad, Coeficiente de Poisson, Cohesión, Angulo de fricción, etc.
- ② Estructuras de Albañilería, Estructuras de Madera, Estructuras de Tierra.
- ③ Esfuerzos que superan el capacidad admisible según la resistencia de los materiales.

Indicador asociada a la indicadores Dependiente.

- ① Esfuerzo normal de compresión
- ② Esfuerzo normal de tracción
- ③ Esfuerzo cortante

La Tabla siguiente muestra en resumen, la relación entre las variables e indicadores identificados en la presente investigación.

**Tabla 1:** Variables e Indicadores.

Variable	Indicador	Dimensión	Valor final	Instrumentos	Tipo de variable
<b>Independiente</b>					
Propiedades de Materiales estructurales.	Densidad, Resistencia a la compresión, Modulo de elasticidad, Coeficiente de Poisson, Resistencia cortante, etc.	$\sigma = \frac{P}{A}$ (Kg-f/cm <sup>2</sup> ), $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ (Kg-f/cm <sup>2</sup> ), $\nu = \frac{\Delta l_y / l_y}{\Delta l_x / l_x}$ (adimensional), etc	-	Martillo Schmidt o esclerometro	Numerica, continua y medida en una escala de razón.
Sistema estructural en desuso no convencional.	Estructuras de Albañilería, Estructuras de Madera, Estructuras de Tierra.	Ro (adimensional)	-	-	
Estado de conservación de infraestructura actual.	Evaluación técnica de estado de conservación.	-	-	Wincha, Flexometro, Escuadra, etc.	
Vulnerabilidad focalizada en zonas estructurales.	Esfuerzos y deformaciones que superan los valores admisible según la resistencia de los materiales.	F (Kg-f), V(Kg-f), M(Kgf.m)	-	Software ANSYS	
<b>Dependiente</b>					
Comportamiento estructural según nomas actuales.	Esfuerzo normal de compresión	Mpa	Resistencia a la compresión	Software ANSYS, Software Excel, Software Revit	Numerica, continua y medida en una escala de razón.
	Esfuerzo normal de tracción	Mpa	Resistencia a la tracción		
	Esfuerzo cortante	Mpa	Resistencia a la fuerza cortante		

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.7 Técnicas e instrumentos

Las técnicas de recolección de datos de las variables de investigación serán in situ. Dado que el ámbito de estudio es una edificación ya construida todo el acopio de información técnica y de ingeniería será mediante mediciones, ensayos y pruebas técnicas actuales para conocer las propiedades, dimensiones así como resistencias a la compresión, corte, tracción, módulo de elasticidad, etc. de los elementos estructurales. Una de los ensayos usados será: Martillo Schmidt o esclerómetro así como el posterior envío de muestras a los laboratorios correspondientes.

El procesamiento de datos se realizará mediante software, estos datos (dimensiones físicas: medidas, formas, materiales, etc.) serán procesados a manera de modelo digital por el software REVIT el cual nos permitirá diseñar una edificación en 3D que luego podremos exportar. Finalmente se exportará esta información al software ANSYS para su análisis sísmico por el método de elementos finitos. Con este resultado se conocerá el desempeño sísmico de la estructura y se podrá definir la conclusión final.

### 3.8 Desarrollo del trabajo de tesis

Para realizar un desarrollo de trabajo de tesis que consiste en el cálculo estructural en ANSYS, es necesario seguir los siguientes pasos:

- ① Definir el problema: Lo primero que se debe hacer es definir el problema que se va a resolver con ANSYS. Esto puede ser un análisis de esfuerzos, deformaciones o vibraciones en una estructura. Además, es importante tener en cuenta los objetivos y limitaciones del proyecto.
- ② Modelado de la estructura: El siguiente paso es crear un modelo en ANSYS de la estructura que se va a analizar. Esto puede ser un modelo 3D de la estructura completa o una sección representativa de la misma.
- ③ Definir las variables: se deben definir las variables que se van a medir en el estudio. Estas variables deben ser claras y operacionalmente definidas, es decir, definidas de manera que puedan ser medidas y comparadas.
- ④ Diseñar el experimento: se debe diseñar el experimento de tal manera que permita medir las variables de manera objetiva y precisa. Es importante controlar las variables que no son objeto de estudio para evitar que afecten los resultados.

- ⑤ Seleccionar la muestra: se debe seleccionar la muestra o grupo de participantes que serán parte del estudio. La muestra debe ser representativa de la población que se desea estudiar y debe ser lo suficientemente grande para obtener resultados significativos.
- ⑥ Analizar los datos en laboratorio: se deben analizar y realizar los ensayos de laboratorio pertinentes para obtener los datos utilizando los experimentos adecuadas. Esto incluye ensayos para determinar la resistencia a la compresión, tracción, cortante, etc.
- ⑦ Interpretar los resultados de laboratorio: se deben interpretar los resultados de manera objetiva y enfocada en la pregunta de investigación. Es importante identificar cualquier limitación del estudio y discutir las implicaciones de los resultados.
- ⑧ Aplicar las cargas y restricciones: Una vez que se tiene el modelo, se deben aplicar las cargas y restricciones adecuadas. Las cargas pueden ser fuerzas externas, presiones o gravedad, y las restricciones pueden ser fijaciones o limitaciones de movimiento.
- ⑨ Ejecutar el análisis: Con las cargas y restricciones aplicadas, se debe ejecutar el análisis en ANSYS para obtener los resultados. Esto puede ser un análisis estático o dinámico, dependiendo del problema que se esté resolviendo.

Siguiendo estos pasos, se realizó el desarrollo del trabajo de tesis de manera eficiente y efectiva. A continuación se detallan cada etapa de dicho trabajo:

### **3.8.1 Definir el problema**

El problema a resolver en esta investigación es determinar si los esfuerzos y deformaciones producidos por los movimientos sísmicos superan la capacidad de resistencia de la estructura de la Catedral. Para lo cual haremos uso del software *Ansys Workbench 2023 R1*, que nos permite conocer estos valores en toda la edificación y en todas sus dimensiones. Para ellos necesitamos generar modelo 3D, así como alimentarlo con datos reales y empíricos, obtenidos de ensayos en laboratorio y referencias bibliográficas, que nos permitan generar un espectro de diseño según el análisis modal espectral del R.N.E. E.030. Con dicho espectro calcularemos los esfuerzos y deformaciones producidos y compararlos con la resistencia de los materiales para conocer si la estructura es capaz de soportar los efectos del sismo.

El desarrollo de la investigación se detalla a continuación:

### 3.8.2 Modelado de la estructura

El modelado 3D de la estructura se realizó a partir de los planos proporcionados por la *DIRECCIÓN DESCONCENTRADA DE CULTURA AYACUCHO*, de la cual solicitamos esta información y amablemente nos fue proporcionada.

**Figura 4**

Vista de escalera interior de acceso hacia la torre izquierda, tejado y portada de la catedral, se observa una estructura interior irregular, estrecha y mal planificada con zonas deterioradas



**Fuente:** Elaboración propia

Los planos CAD proporcionados se encuentran en el **ANEXO B “PLANOS”** - B.1.1 y son: Vista Frontal, Sección Longitudinal, Sección Transversal, Plano de planta.

El modelo se realizó en el Software Revit, basandome en los planos CAD, de donde se obtuvieron las medidas y formas de las plantas, cortes y perfiles usando el método de geometría descriptiva para representar en el modelo de 3 dimensiones los planos CAD en 2 dimensiones.

Cabe mencionar que el modelado en tres dimensiones a partir de los planos CAD se realizó homogeneizando algunas medidas y longitudes sobretodo en lo referente a las distancias entre ejes, muros y las secciones de columnas, esto se debe principalmente a que estos elementos poseen muchas irregularidades en sus dimensiones. Estas irregularidades son perceptibles a simple vista cuando se examina visualmente ciertas partes de la edificación, sobretodo las partes más antiguas y sin remodelar como las torres y las columnas cercanas al ingreso, donde se observa además el deterioro por el paso del tiempo. Obviamente las partes mejor cuidadas

y que han recibido mantenimiento y reparación lucen secciones mas regulares sobretodo en las columnas posteriores y los arcos de la cúpula.

Sin embargo se observa que el proceso constructivo antiguo con el que originalmente se edificó la catedral no poseía los estándares actuales de construcción. La tolerancia de las irregularidades en las distancias de los ejes, dimensiones de los muros y secciones de las columnas es algo que no se admitiría hoy en día. Precisamente esto se plasmó claramente en los planos realizados por el Ministerio de Cultura. En estos planos se visualiza una gran heterogeneidad de dimensiones en los elementos estructurales.

Todas estas irregularidades convierten el modelado exacto se casi imposible y con un esfuerzo desmedido, por lo tanto, la manera más eficaz de realizar un modelado ahorrando tiempo y evitando gastar esfuerzo en detalles que no cambian demasiado el resultado final es homogeneizando las dimensiones y medidas.

Después de un trabajo arduo se logró representar la Basílica Catedral de Huamanga en un modelo 3D coherente que se muestra en **ANEXO B “PLANOS” - B.1.2.**

Finalmente este modelo 3D se exportó en un nuevo archivo compatible con el software ANSYS WORKBENCH, es decir paso del formato .rvt al formato .sat todo realizado dentro del mismo software Revit.

### **3.8.3 Definir las variables del proceso de estudio**

En un estudio de mecánica de rocas, algunas de las variables que se podrían definir incluyen:

- ① **Características geológicas:** Esto podría incluir la composición de la roca, la estructura geológica, la porosidad y permeabilidad, la densidad, la resistencia a la compresión, entre otros.
- ② **Cargas y tensiones:** Se podrían definir las cargas y tensiones a las que está sometida la roca, incluyendo la carga de peso propio, la carga de sobrecarga, la carga dinámica, la carga hidrostática, entre otras.
- ③ **Propiedades físicas y mecánicas:** Estas variables podrían incluir la deformación, la elasticidad, la resistencia, la fracturación, la permeabilidad, entre otras.
- ④ **Condiciones ambientales:** Las condiciones ambientales que podrían tener un impacto en la mecánica de las rocas incluyen la temperatura, la humedad, la presión, entre otras.
- ⑤ **Características de la fractura:** Las características de la fractura podrían incluir la orientación, la densidad, la longitud, la apertura, entre otras.

- ⑥ Condiciones de contorno: Se podrían definir las condiciones de contorno, como la geometría del área de estudio, las condiciones de carga, las condiciones de apoyo, entre otras.
- ⑦ Métodos de análisis: Finalmente, se podrían definir los métodos de análisis que se utilizarán para evaluar la mecánica de las rocas, como el análisis de elementos finitos, la simulación numérica, los ensayos en laboratorio, entre otros.

Entre todas estas la variable que más nos interesa es la de las propiedades físicas y mecánicas, con estas variables realizaremos la comparación entre los resultados del cálculo estructural y la capacidad de resistencia de los materiales antes de una falla. Con lo cual podremos determinar si se sobrepasan los esfuerzos y deformaciones admisibles y si el edificio analizado tiene capacidades de sismorresistencia.

A continuación detallamos dichos conceptos:

### **3.8.3.1 Propiedades físicas y mecánicas**

Las rocas son materiales naturales que tienen diversas propiedades físicas y mecánicas que las diferencian entre sí. Algunas de estas propiedades son:

#### **Densidad:**

La densidad de una roca se refiere a la cantidad de masa que tiene por unidad de volumen. La densidad de las rocas puede variar ampliamente dependiendo de su composición y estructura geológica.

#### **Resistencia a la compresión:**

La resistencia a la compresión de una roca se refiere a su capacidad para soportar una carga axial sin romperse. Esta propiedad puede ser importante para la construcción de estructuras, como puentes y edificios.

#### **Resistencia a la tracción:**

La resistencia a la tracción de una roca se refiere a su capacidad para soportar una carga en tensión sin romperse. Esta propiedad puede ser importante para la construcción de estructuras, como presas y muros de contención.

#### **Elasticidad:**

La elasticidad de una roca se refiere a su capacidad para deformarse y luego volver a su forma original cuando se retira la carga. Esta propiedad puede ser importante para la construcción de túneles y excavaciones subterráneas.

Estas son solo algunas de las propiedades físicas y mecánicas que se pueden medir y evaluar en las rocas. Cada propiedad es importante para entender cómo una roca se comporta bajo diferentes condiciones y cómo se utilizaron para obtener los resultados del presente documento.

### **3.8.4 Diseñar el experimento**

Para poder determinar el valor de las propiedades físicas y mecánicas de las rocas que forman parte del presente estudio, debemos realizar ensayos de laboratorio con muestras de materiales semejantes que nos proporcionen la información ya señalada. Es importante señalar que las muestras que se trabajan no proceden de la misma edificación ya que es imposible extraerlas por ser una edificación histórica e intangible. Los únicos ensayos posibles son aquellos que no son destructivos y que se realizan "*in situ*", en este caso el ensayo del Martillo de SCHMIDT o Esclerómetro es el más adecuado para determinar la resistencia a la compresión simple. Este ensayo se realizó en las rocas que fueron usadas en la construcción de la Catedral. Sin embargo este ensayo no es suficiente para determinar todas las propiedades de las rocas que se requiere por lo que se tomaron muestras auxiliares de roca que pertenezcan a la misma formación geológica y se compararon ambas muestras la obtener un resultado lo más preciso posible.

Por lo anterior se decidió realizar el estudio de mecánica de rocas de manera indirecta extrayendo muestras de roca que pertenecen a la misma formación geológica y que poseen propiedades físicas y mecánicas semejantes. Se realizó una investigación bibliográfica para determinar las canteras de procedencia de las rocas usadas en los elementos estructurales como columnas, muros portantes y vigas en arco. Existen rocas ornamentales como las piedras rojizas usadas en la fachada pero estas no están incluidas en este estudio debido a que no cumplen una función estructural.

Los ensayos que emplearemos para determinar las propiedades geotécnicas de las rocas son las siguientes:

#### **3.8.4.1 Determinación de la Densidad de Roca**

Para determinar la densidad emplearemos el ensayo de densidad de rocas. Este ensayo es un procedimiento estándar utilizado en la geología y otras disciplinas relacionadas para determinar la densidad de diferentes tipos de rocas. El ensayo se basa en la medición del volumen y la masa de la muestra de la roca para calcular su densidad.

Para calcular la densidad de las rocas, es necesario seguir ciertos procedimientos y utilizar herramientas específicas para obtener una medición precisa. En este ensayo, se describirá el proceso general para calcular la densidad de las rocas.

El primer paso para calcular la densidad de una roca es obtener una muestra representativa. La muestra debe ser lo suficientemente grande para obtener una medición precisa, pero no tan grande como para dificultar su manejo. Además, la muestra debe ser limpia y libre de cualquier material extraño que pueda afectar la medición de la densidad.

Una vez que se tiene la muestra, se debe secar por completo antes de realizar cualquier medición. Para esto, se puede utilizar un horno a una temperatura controlada para eliminar cualquier rastro de humedad que pueda alterar el resultado final. Es importante recordar que la roca debe estar completamente seca antes de continuar con el proceso de medición.

El siguiente paso es medir el volumen de la muestra. Para esto, se puede utilizar un recipiente graduado lleno de agua y colocar la muestra dentro del agua. La cantidad de agua desplazada por la muestra será igual al volumen de la muestra. Esta medición se puede repetir varias veces para obtener una medición promedio y reducir los errores de medición.

Finalmente, se debe medir la masa de la muestra utilizando una balanza. Es importante recordar que la balanza debe estar calibrada correctamente para obtener una medición precisa. Una vez que se tiene la masa de la muestra, se puede calcular la densidad dividiendo la masa por el volumen de la muestra.

Es importante tener en cuenta que la densidad de las rocas puede variar dependiendo de la composición y las características específicas de la muestra. Por lo tanto, se tomó varias mediciones de diferentes muestras y promediarlas para obtener una medición más precisa.

#### **3.8.4.2 Determinación del Módulo de Elasticidad**

El módulo de elasticidad es una propiedad importante de las rocas que se utiliza para medir su resistencia a la deformación bajo carga. La medición del módulo de elasticidad de las rocas se realiza a través de un ensayo conocido como ensayo de compresión uniaxial. En este ensayo, se aplica una carga uniaxial en una muestra de roca para medir su respuesta elástica.

El ensayo de compresión uniaxial se realiza siguiendo los siguientes pasos:

- **Obtención de una muestra representativa de la roca:** Al igual que en el ensayo de densidad, es importante obtener una muestra representativa de la roca para realizar el ensayo de compresión uniaxial. La muestra debe ser lo suficientemente grande para que se puedan realizar mediciones precisas, pero no tan grande como para ser difícil de manejar. Además, la muestra debe ser libre de cualquier defecto o irregularidad que pueda afectar la medición del módulo de elasticidad.
- **Preparación de la muestra:** La muestra de roca se corta en una forma cilíndrica o prismática y se pule cuidadosamente para eliminar cualquier irregularidad. Se deben

tener en cuenta las dimensiones de la muestra, como la relación entre el diámetro y la altura, ya que pueden afectar la medición del módulo de elasticidad.

- **Montaje de la muestra en la máquina de ensayo:** La muestra se coloca en la máquina de ensayo de compresión uniaxial y se aplica una carga uniaxial a una velocidad constante. La máquina de ensayo mide la carga aplicada y la deformación resultante de la muestra.
- **Registro de los datos de la prueba:** Durante el ensayo, se registran los datos de carga y deformación. Estos datos se utilizan para trazar la curva de esfuerzo-deformación y calcular el módulo de elasticidad.
- **Cálculo del módulo de elasticidad:** El módulo de elasticidad se calcula dividiendo la carga aplicada por la deformación resultante. Es importante tener en cuenta que el cálculo del módulo de elasticidad se basa en la sección transversal original de la muestra, antes de la aplicación de la carga.

#### 3.8.4.3 Determinación del Coeficiente de Poisson

El coeficiente de Poisson se define como la relación entre la deformación transversal y la deformación axial de una muestra de roca bajo carga.

El ensayo utilizado para medir el coeficiente de Poisson de las rocas se llama ensayo de compresión diametral. En este ensayo, se aplica una carga a una muestra cilíndrica de roca en una dirección perpendicular a su eje longitudinal, lo que resulta en una deformación transversal y axial. La relación entre estas deformaciones se utiliza para calcular el coeficiente de Poisson.

El ensayo de compresión diametral se realiza siguiendo los siguientes pasos:

- **Obtención de una muestra representativa de la roca:** Al igual que en los ensayos anteriores, es importante obtener una muestra representativa de la roca para realizar el ensayo de compresión diametral. La muestra debe ser lo suficientemente grande para que se puedan realizar mediciones precisas, pero no tan grande como para ser difícil de manejar. Además, la muestra debe ser libre de cualquier defecto o irregularidad que pueda afectar la medición del coeficiente de Poisson.
- **Preparación de la muestra:** La muestra de roca se corta en una forma cilíndrica y se pule cuidadosamente para eliminar cualquier irregularidad. Se deben tener en cuenta las dimensiones de la muestra, como la relación entre el diámetro y la altura, ya que pueden afectar la medición del coeficiente de Poisson.

- **Montaje de la muestra en la máquina de ensayo:** La muestra se coloca en la máquina de ensayo de compresión diametral y se aplica una carga a través de dos cilindros paralelos. La máquina de ensayo mide la carga aplicada y la deformación resultante de la muestra.
- **Registro de los datos de la prueba:** Durante el ensayo, se registran los datos de carga y deformación. Estos datos se utilizan para trazar la curva de carga-deformación y calcular el coeficiente de Poisson.
- **Cálculo del coeficiente de Poisson:** El coeficiente de Poisson se calcula dividiendo la deformación transversal por la deformación axial. Es importante tener en cuenta que el cálculo del coeficiente de Poisson se basa en la sección transversal original de la muestra, antes de la aplicación de la carga.

#### 3.8.4.4 Determinación de la Resistencia a la Compresión

El ensayo utilizado para medir la resistencia a la compresión de las rocas se llama ensayo de compresión uniaxial.

En este ensayo, se aplica una carga axial a una muestra de roca cilíndrica hasta que la muestra se rompe. La carga máxima soportada por la muestra se registra y se utiliza para calcular la resistencia a la compresión de la roca.

El ensayo de compresión uniaxial se realiza siguiendo los siguientes pasos:

- **Obtención de una muestra representativa de la roca:** Es importante obtener una muestra representativa de la roca para realizar el ensayo de compresión uniaxial. La muestra debe ser lo suficientemente grande para que se puedan realizar mediciones precisas, pero no tan grande como para ser difícil de manejar. Además, la muestra debe ser libre de cualquier defecto o irregularidad que pueda afectar la medición de la resistencia a la compresión.
- **Preparación de la muestra:** La muestra de roca se corta en una forma cilíndrica y se pule cuidadosamente para eliminar cualquier irregularidad. Se deben tener en cuenta las dimensiones de la muestra, como el diámetro y la altura, ya que pueden afectar la medición de la resistencia a la compresión.
- **Montaje de la muestra en la máquina de ensayo:** La muestra se coloca en la máquina de ensayo de compresión uniaxial y se aplica una carga axial a través de dos placas planas. La máquina de ensayo mide la carga aplicada y la deformación resultante de la muestra.

- **Registro de los datos de la prueba:** Durante el ensayo, se registran los datos de carga y deformación. Estos datos se utilizan para trazar la curva de carga-deformación y calcular la resistencia a la compresión.
- **Cálculo de la resistencia a la compresión:** La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima soportada por la muestra por el área transversal original de la muestra. Es importante tener en cuenta que el cálculo de la resistencia a la compresión se basa en la sección transversal original de la muestra, antes de la aplicación de la carga.

#### 3.8.4.5 Determinación de la Resistencia a la tracción

El ensayo utilizado para medir la resistencia a la tracción de las rocas se llama ensayo de tracción indirecta o ensayo brasileño. En este ensayo, se aplica una fuerza de tracción diametral a una muestra de roca cilíndrica. La muestra se coloca entre dos placas planas y se aplica una carga en la dirección perpendicular al eje longitudinal de la muestra.

El ensayo de tracción indirecta se realiza siguiendo los siguientes pasos:

- **Obtención de una muestra representativa de la roca:** Es importante obtener una muestra representativa de la roca para realizar el ensayo de tracción indirecta. La muestra debe ser lo suficientemente grande para que se puedan realizar mediciones precisas, pero no tan grande como para ser difícil de manejar. Además, la muestra debe ser libre de cualquier defecto o irregularidad que pueda afectar la medición de la resistencia a la tracción.
- **Preparación de la muestra:** La muestra de roca se corta en una forma cilíndrica y se pule cuidadosamente para eliminar cualquier irregularidad. Se deben tener en cuenta las dimensiones de la muestra, como el diámetro y la altura, ya que pueden afectar la medición de la resistencia a la tracción.
- **Montaje de la muestra en la máquina de ensayo:** La muestra se coloca en la máquina de ensayo de tracción indirecta y se aplica una carga axial a través de dos placas planas. La máquina de ensayo mide la carga aplicada y la deformación resultante de la muestra.
- **Registro de los datos de la prueba:** Durante el ensayo, se registran los datos de carga y deformación. Estos datos se utilizan para trazar la curva de carga-deformación y calcular la resistencia a la tracción.
- **Cálculo de la resistencia a la tracción:** La resistencia a la tracción se calcula dividiendo la carga máxima soportada por la muestra por la sección transversal original de la muestra. Es importante tener en cuenta que el cálculo de la resistencia a la tracción se basa en la sección transversal original de la muestra, antes de la aplicación de la carga.

#### 3.8.4.6 Determinación de la Resistencia al esfuerzo Cortante

El ensayo utilizado para medir la resistencia al esfuerzo cortante de las rocas se llama ensayo de corte directo. En este ensayo, se aplica una carga tangencial a una muestra de roca rectangular. La muestra se coloca en una máquina de ensayo que tiene dos mitades, una superior y otra inferior. Las dos mitades se desplazan en direcciones opuestas, lo que resulta en una fuerza cortante en la muestra de roca.

El ensayo de corte directo se realiza siguiendo los siguientes pasos:

- **Obtención de una muestra representativa de la roca:** Es importante obtener una muestra representativa de la roca para realizar el ensayo de corte directo. La muestra debe ser lo suficientemente grande para que se puedan realizar mediciones precisas, pero no tan grande como para ser difícil de manejar. Además, la muestra debe ser libre de cualquier defecto o irregularidad que pueda afectar la medición de la resistencia al esfuerzo cortante.
- **Preparación de la muestra:** La muestra de roca se corta en una forma rectangular y se pule cuidadosamente para eliminar cualquier irregularidad. Las dimensiones de la muestra, como la altura y la longitud, se miden cuidadosamente, ya que pueden afectar la medición de la resistencia al esfuerzo cortante.
- **Montaje de la muestra en la máquina de ensayo:** La muestra se coloca en la máquina de ensayo de corte directo. Se aplican dos cargas normales a la muestra para asegurar que esté bien fijada en su lugar. Luego, las dos mitades de la máquina se mueven en direcciones opuestas para aplicar una carga cortante a la muestra de roca.
- **Registro de los datos de la prueba:** Durante el ensayo, se registran los datos de carga y deformación. Estos datos se utilizan para trazar la curva de carga-deformación y calcular la resistencia al esfuerzo cortante.
- **Cálculo de la resistencia al esfuerzo cortante:** La resistencia al esfuerzo cortante se calcula dividiendo la carga máxima soportada por la muestra por la superficie transversal de la muestra. La superficie transversal se calcula multiplicando la altura por la longitud de la muestra.

#### 3.8.5 Seleccionar la muestra

Como se menciono anteriormente, aparte del ensayo "*in situ*" de esclerómetro que se realizó en la catedral de Huamanga, se tomaron muestras semejantes al material original usado en la construcción de la Catedral, estas muestras proceden de la misma formación geológica

y poseen propiedades semejantes por tener el mismo origen. Para comprobar dicho grado de semejanza se hará un análisis en referencias y fuentes documentales sobre el origen y procedencia de las muestras.

### 3.8.5.1 DETERMINACIÓN DEL ORIGEN DE PROCEDENCIA DE LAS ROCAS USADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA CATEDRAL

**Figura 5**

Vista frontal de la Catedral de Huamanga



**Fuente:** Internet

En la inspección que se realizó en la Catedral de Huamanga, se observó que los elementos estructurales poseen dos tipo de roca usados: una roca “gris” y otra roca “blanca”, ambas usadas como sillar en la mampostería unidas con mortero. Ambas rocas son de origen volcánico pertenientes a la Formación Geológica de Huari.

**Figura 6**

Vista de roca “gris” de columna de Catedral



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 7**

Vista de roca “gris” de columna de Catedral



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 8**

Vista de roca “blanca” de columna de Catedral



**Fuente:** Elaboración propia

Estas rocas no son homogéneas por el contrario muestran diferencias dentro de cada tipo, el color varia a si como los patrones y las características visuales que las conforman. Lo que podemos concluir es que estas rocas “grises” ó “blancas” proceden de varias canteras cercanas entre si que forman parte de la misma formación geológica.

Así mismo es importante recalcar que el edificio tampoco posee en su construcción todos los elementos estructurales homogéneos. Existen diferencias entre las columnas de roca “gris” y otras columnas de roca “blanca”. Existen también muros de roca gris y secciones de muro de roca blanca. Sin embargo en su mayor parte estas diferencias se deben a reconstrucciones modernas que usaron rocas blancas mejor labradas y estéticamente mejores. En las partes más antiguas si se observa el uso de rocas “grises” más común. Por lo que podemos concluir que la construcción original se realizó en rocas “grises” en su mayor parte con tarrajeo y que las rocas “blancas” son posteriormente adicionadas en reparaciones o reconstrucciones en zonas específicas.

A continuación se presentan fotos de la inspección técnica realizada en la edificación.

**Figura 9**

Ubicación de roca “gris”



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 10**

Mediciones sobre roca “blanca”



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 11**

Corroboración de medidas en columnas



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 12**

Columna con revestimiento y pintura



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 13**

Corroboración de medidas en columnas



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 14**

Corroboración de medidas



**Fuente:** Elaboración propia

Figura 15

Corroboración de medidas



Fuente: Elaboración propia

Figura 16

Vista torre derecha



Fuente: Elaboración propia

**Figura 17**

Vista de la Cúpula de la Catedral



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 18**

Vista del techo de la nave lateral derecha



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 19**

Vista del techo de la nave lateral izquierda



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 20**

Vista de detalles arquitectónicos en puerta lateral izquierda



**Fuente:** Elaboración propia

Para determinar ubicación geográfica de la procedencia de las rocas usadas en la construcción de la Catedral de Huamanga, que a su vez es el lugar o cantera de donde se extrajeron las

muestras semejantes, se realizó una investigación bibliográfica a fin de encontrar información histórica acerca del origen de los materiales usados en la edificación.

Se identificaron una “cantera” o zona de procedencia para cada tipo de rocas. A continuación hacemos referencia literaria con extractos de texto de los documentos bibliográficos donde se menciona dichas canteras o la zona de procedencia de los materiales de construcción.

De lo anterior tenemos que en [Morche, De la Cruz y Cerrón \(1995\)](#), página 53 en la FOTO N°27 se menciona que: “*Volcánicos de la Formación Huari como importante material de construcción para edificaciones sacrales en la ciudad de Ayacucho*”. De lo cual se reconoce la Formación Huari como lugar de procedencia de los materiales usados para los edificios religiosos.

Luego tenemos en [Gonzales, Urrutia y Levano \(s.f.\)](#), página 166 el siguiente párrafo: “*La piedra, material importante de la época, se usa en empedrado y lajas para pisos, en mampostería de muros con base de adobe, en dovelas para las bóvedas y portadas. La piedra gris se extrae de una cantera en el barrio de Carmen Alto; la piedra blanca, hay que transportarla desde la cantera de Chago, en las afueras de la ciudad. De igual manera el ladrillo es usado en pisos y en algunos casos en muros. Los troncos de maguey, la caña, el ichu y la teja son fundamentales para el techo.*”

Asimismo encontramos en [Bach. Gil Sicha \(2012\)](#), página 26 lo siguiente: “*El material importante de la época es la piedra, que se usa para el empedrado y las lajas de pisos, en las mamposterías de los muros de adobe, en cuñas para las bóvedas y portadas; la piedra gris era extraída de una cantera del barrio de Carmen Alto, la piedra blanca desde la cantera de Chago en las afueras de la ciudad, el ladrillo pastelero es usado en los pisos y muros, los troncos de maguey, la caña, el ichu y la teja son elementos principales para la elaboración del techo.*”

Es importante notar que la ubicación mas o menos exacta de las canteras usadas es desconocida, ya que se mencionan zonas grandes en general, sin embargo, se menciona una cantera que podría haber sido usada para la construcción de varias iglesias, en este caso específico para la construcción del Convento de la Merced, que podríamos suponer también fuese usada para la construcción de la Catedral.

La mención es la siguiente: “*Claramente se percibe las características de las piedras ha utilizarse en la fábrica del claustro, evitando utilizar las de mala calidad como las areniscas por su fácil desgaste con el transcurso del tiempo. Es muy probable que la cantera explotada para la fábrica del claustro se encuentre en las veras del río Alameda, primero; por su cercanía y segundo; por presentar las mismas características tanto de la cantera como el de*

las piedras labradas del claustro mercedario, cabe indicar que estas piedras son de origen volcánico” y se encuentra en Mancilla Mantilla (1990), página 31.

De todo lo anterior podemos concluir que las canteras empleadas para la extracción de las rocas usadas como materiales de construcción se ubican en zonas o canteras ubicadas en los actuales **Carmen Alto** y **Chago**. La ubicación exacta de estas canteras es ya desconocida puesto que son los maestros canteros los que se procuraban los lugares con mejores materiales constructivos de acuerdo a su experiencia, y el conocimiento de la ubicación que se ha perdido hasta la actualidad.

La “piedra gris” a la que se hace mención se trata de la llamada “Brecha Volcánica Basáltica”, perteneciente a la Formación Huari y ubicados en los distritos de **Carmen Alto** y **San Juan Baustista**, existen aún “canteras” explotadas de manera particular y en pequeña escala, sobretodo en lotes donde se realizaron cortes de roca para la construcción de viviendas. Estas canteras estas dispersas por todo la formación geológica.

Las “piedra blanca” como se menciona en las referencias se le denomina como “sillar”, y se define de la siguiente manera “*Se denomina sillar a tobas de cenizas con contenidos de lapilli (fragmentos entre 2.64 mm) minoritarios, la composición es variable (andesita, dacita, riolita) y presenta diversos grados de cohesión.*” Ingemmet (2017), página 65.

Continua: “*El término sillar significa piedra labrada por varias de sus caras, generalmente en forma de paralelepípedo, que se usa como material de construcción y ornamentación. Son de color blanco, gris, amarillento y rojizo, con diferentes tonalidades, de textura uniforme, generalmente fina y con fragmentos de rocas dispersas. EL grado de cohesión es otro aspecto importante en la calidad de sillares y esto se debe a la compactación y cementación de las cenizas y piroclastos.*” Ingemmet (2017), página 65.

En cuanto a **Chago** o **Chacco** se conoce la ubicación de la zona de extracción, la cual se menciona en Ingemmet (2017), página 65 y menciona: “*Esta ocurrencia se ubica 10.1 km al sureste del poblado de Totorilla, distrito de Quinua, provincia de Huamanga. Sus coordenadas UTM son: 8 553 1234 N y 584 212 E, a 2462 m.s.n.m. En el área aflora una toba riolítica compacta conocida como sillar de coloración blanquecina que se presenta coherente y esta constituida por algunos fragmentos de cuarzo, feldespatos y biotitas con inclusiones de fragmentos líticos angulares y subredondeados (Fotografía 21). Estratigráficamente, pertenece a la Formación Ayacucho, Miembro inferior (Nm-ayi/tb1), cuadrángulo de Ayacucho (hoja 27-ñ-I), tiene un frente de 50 metros aproximados de grosor y 100 metros aproximados de longitud.*”

**Figura 21**

Vista del sillar de Chacco


**Fuente:** Ingemmet (2017)

Se debe mencionar que se siguen explotando los materiales de Carmen Alto y Chago para la construcción de portadas en los nuevos edificios así como para piezas arquitectónicas y ornamentales. Debido a toda la información obtenida por las fuentes bibliográficas antes mencionadas, podemos concluir que: *“MUESTRAS EXTRAIDAS EN CANTERAS UBICADAS EN LOS DISTRITOS DE CARMEN ALTO Y SAN JUAN BAUTISTA SON SEMEJANTES A LAS ROCAS USADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA CATEDRAL Y POSEEN PROPIEDADES PARECIDAS, YA QUE FORMAN PARTE DE LA MISMA FORMACIÓN GEOLÓGICA DE LA QUE EXTRAJERON ESOS MATERIALES COMO DEMUESTRAN LOS REGISTROS BIBLIOGRÁFICOS”*. En nuestro caso nos enfocaremos en el material llamado "**pedra gris**" procedente de Carmen Alto y San Juan Bautista, que no viene a ser otra cosa que "*Brecha Volcánica Basáltica*", ya que esta es el componente principal en la construcción de la Catedral.

Para ubicar una cantera activa donde extraer muestras de la formación Huari se realizó una investigación consultando diferentes personas conocedoras, preguntando en la secretaría del mercado artesanal Shosaku Nagase de la *Asociación de Artesanos de Ayacucho* ubicado en la ex-carcel junto al parque Maria Parado de Bellido, se nos facilito el contacto con el maestro cantero y tallador de roca **Sr. Toribio CCacha** quien trabaja hace 20 años con la extracción y

tallado de rocas para la construcción, conocedor empírico de las propiedades de diferentes rocas en la ciudad de Ayacucho y sus alrededores, así como sus diferentes usos.

El maestro Toribio Ccacha nos indicó una cantera adecuada para la extracción de muestras que rocas que en su experiencia compartieran origen y características comunes con las rocas usadas en la construcción de la Catedral de Huamanga. Es así que nos guió hasta el lugar mismo de donde él extrae estas rocas para su trabajo.

**Figura 22**

Muestras de roca tallada en el taller del maestro Toribio Ccacha, se observa roca andesita



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 23**

Muestras de roca tallada en el taller del maestro Toribio Ccacha, se observa roca andesita



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 24**

Muestras de roca tallada en el taller del maestro Toribio Ccacha, se observa roca andesita



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 25**

Muestras de roca tallada en el taller del maestro Toribio Ccacha, se observa “piedra gris”

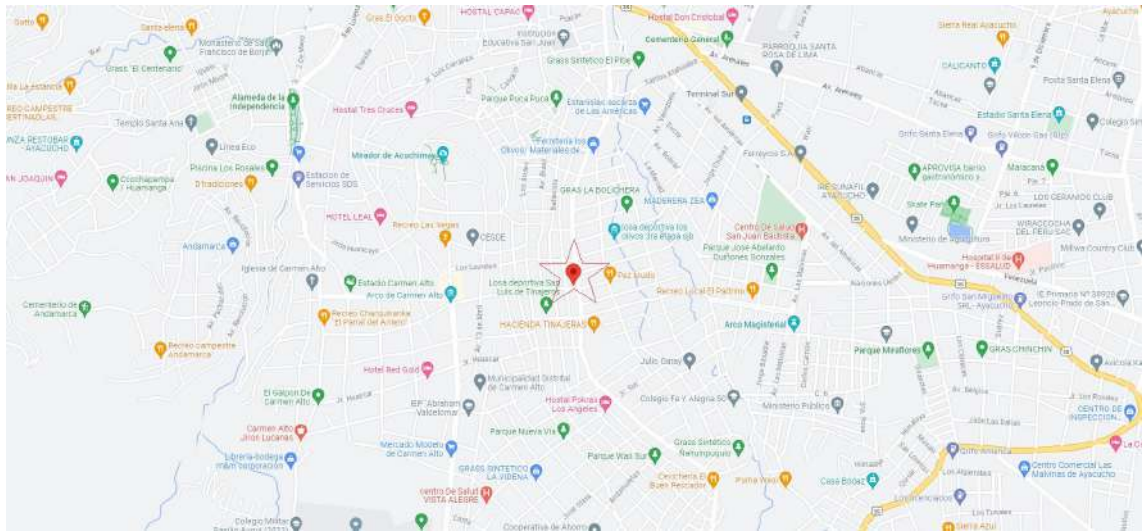


**Fuente:** Elaboración propia

La ubicación de la cantera usada para los ensayos en laboratorio de esta investigación se encuentra en el distrito de *San Juan Baustista*, en un lote de vivienda recién excavado para construcción. Obviamente al pertenecer toda esa zona a la *formación Huari* el suelo es de roca ígnea, donde se realizaron cortes de terreno para la cimentación. Se encuentra en la intersección de las calles **Av. Melendez Lopez y Jr. Huancavelica**, en las coordenadas **UTM son E: 58,4842.80, N: 854,3290.30 Zona 18 S**.

A continuación se muestra la cantera de roca de donde se extrajo la muestra para la realización de ensayos de laboratorio.

**Figura 26** Ubicación geográfica de cantera



**Fuente:** Google Maps

**Figura 27** Ubicación geográfica de cantera



**Fuente:** Google Maps

**Figura 28**

Cantera de extracción de muestra de roca “Brecha Volcánica Basáltica” en el distrito de San Juan Baustista



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 29**

Cantera de extracción de muestra de roca “Brecha Volcánica Basáltica” en el distrito de San Juan Baustista



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 30**

Cantera de extracción de muestra de roca “Brecha Volcánica Basáltica” en el distrito de San Juan Baustista



**Fuente:** Elaboración propia

### 3.8.5.2 UBICACIÓN Y CARTOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO DE LAS MUESTRAS

El área de estudio de donde proceden las muestras se ubica en los Distrito de Carmen Alto y San Juan Bautista, Provincia de Huamanga, Región Ayacucho.

La información cartográfica existente para el área de estudio que ha sido colectada procede del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Entre esta información se encuentra la Carta Nacional del Cuadrángulo de Ayacucho (hoja 27-ñ) a escala 1 :100,000. Así mismo haremos uso de planos del Instituto Nacional de Defensa Civil pertenecientes al PLANO DE PELIGROS DE LA CIUDAD DE AYACUCHO. Todo esto nos permite conocer la geología, geomorfología, sismicidad, etc. del área de estudio.

### 3.8.5.3 GEOMORFOLOGÍA

El desarrollo geomorfológico del área estudiada se ha formado como resultado de la interacción de procesos tectónicos y geodinámicos que han dado forma al paisaje actual de la región.

Los procesos tectónicos, como el fallamiento, han desempeñado un papel importante en la formación de la cuenca de Ayacucho y en la creación de diversos pliegues en la zona. Además, la región ha experimentado una intensa erosión causada por ríos y quebradas, lo que ha contribuido significativamente a la configuración actual del relieve. También es

importante considerar la influencia de la litología de las diferentes unidades estratigráficas en la morfología del área. En conjunto, estos procesos han moldeado el paisaje geomorfológico que observamos en la región.

#### **3.8.5.4 ESTRATIGRAFÍA**

En la provincia de Ayacucho afloran rocas sedimentarias, volcánicas y vulcano-sedimentarias con edades correspondientes al Pérmico superior, Triásico superior-Liásico, Paleógeno, Neógeno y Cuaternario.

Sin embargo, el área de estudio que nos compete está delimitado a la ciudad de Ayacucho y sus alrededores, esto incluye principalmente el Distrito de Carmen Alto y San Juan Bautista. Estas localidades pertenecen a las unidades estratigráficas que se mencionan a continuación:

##### **Formación Huari**

En los alrededores de la ciudad de Ayacucho (cerro Acuchimay), en los cerros Bellavista, así como en los alrededores de la histórica de "Huari" (localidades de Atumpampa y Campanayoc), afloran derrames de lavas oscuras que sobreyacen a las diatomitas, es decir, a los últimos unidades de la Formación Ayacucho. Forman un campo volcánico en la zona de la ciudad de Ayacucho y constituyen centros monogénicos (conos de tufos y escorias, con efusiones de lavas) en ambientes lagunares. [Morche, De la Cruz y Cerrón \(1995\)](#)

Se puede asegurar que hay varios ciclos de erupciones empezando con explosiones freato-magmáticas (ondas basales) que resultan en depósitos de cenizas y lapilli, que se presentan con buena estratificación paralela o cruzada, con abundancia de lapilli acrecionarios, alternando con depósitos de caídas de cenizas, e impactos balísticos de lapilli y bombas volcánicas. Como testigos del ambiente lagunar de las erupciones se encuentra facies subacuáticas como hialoclásticas y lavas tipo almohada en la Quebrada Alameda. [Morche, De la Cruz y Cerrón \(1995\)](#)

En esta zona y en los alrededores de Carmen Alto, se puede apreciar la presencia de una toba excepcional, constituida por pómez negro y líticos lávicos de 5 cm de composición latítica. [Morche, De la Cruz y Cerrón \(1995\)](#)

La disposición inicial de los piroclásticos generalmente está seguida por un régimen de erupciones más tranquilas de lavas depositadas en alternancia con estratos de escorias y bombas negras, así como derrames de lavas muy oscuras con poca inclinación, que indican la poca viscosidad de este tipo de magma. Frecuentemente, las últimas efusiones de las lavas sub-aéreas muestran texturas vesiculates orientadas orientadas causadas por la ex-solución de gases en las lavas ya algo viscosas. [Morche, De la Cruz y Cerrón \(1995\)](#)

Los volcanes de la Formación Huari forman parte del “arco shoshonítico” que comprende también a los volcanes modernos Oropesa, Rumichaca, y San Pedro, y en amplia distribución pequeños volcanes y derrames fisurales del área de Cusco; siguen en la zona del lago Titicaca, hasta Bolivia y el NO de Argentina (Sebrier y Soler, 1991). [Morche, De la Cruz y Cerrón \(1995\)](#)

Los piroclásticos (tobas, sedimentos lagunares, depósitos de erupciones freato-magmáticos) por sus altos grados de compactación y cohesión, han sido utilizados como material principal para la mayoría de los edificios sacrales y profanos de la ciudad de Ayacucho. Las canteras históricas se ubican en las laderas del cerro Acuchimay. [Morche, De la Cruz y Cerrón \(1995\)](#)

**Petrografía y geoquímica** Los estudios petrográficos muestran rocas de composición traquiandesítica (shoshonítica), con: Mg-olivino, clinopiroxenos entre fenos y glomeroblastos, dentro de una matriz de grano fino constituida por vidrio, clinopiroxenos y agujas de plagioclasas.

Como fenocristales, no hay plagioclasa, ni hornblenda, ni hipersteno (Noble et al., 1975).

Los análisis qupimicos muestran bajos contenidos de sílice y elevados valores de potasio típicos para la serie shoshonítica.

**Edad y correlación** Las dos dataciones publicadas coinciden entre 3.7 y  $3.8 \pm 0.4$  m.a. (Noble et al. 1975, Megard et al. 1984).

La actividad volcánica contemporánea se caracteriza en el distrito minero de Huachocolpa por diques y domos dacíticos hasta riódacíticos (Mckee et al., 1975).

Este volcanismo es coetáneo con la actividad "Barroso" en el Sur del país, por lo tanto su edad corresponde al Plioceno superior.

### 3.8.5.5 PLANOS TÉCNICOS

Más adelante se presentan planos procedentes de: [Proyecto INDECI-PNUD PER/ 02/ 051 Ciudades Sostenibles \(s.f.\)](#), esta información nos proporciona datos importantes acerca de la zona de procedencia de las muestras. Entre la información más resaltante tenemos:

#### Geología Local

Podemos observar que las canteras de donde se extrajeron las rocas usadas para el material de construcción se ubican entre los distritos de San Juan Bautista y Carmen Alto. Son de origen volcánico y son los siguientes:

**Qv-Va / Volcánico Acuchimay:** Es una secuencia piroclástica que se ubica por encima de las diatomitas Quicapata y se exponen claramente en la margen derecha del río Alameda cerca de Ayacucho. Se encuentra a manera de costras constituidas por materiales que han sido lanzados al aire para luego consolidarse a manera de bombas de color rojizo, acumulados cerca de la probable chimenea volcánica en el cerro Acuchimay. Litológicamente son de composición andesítica, color oscuro, textura afanítica, pero algo porosa por las pequeñas vacuolas dejadas por el escape de gases durante su enfriamiento. [Proyecto INDECI-PNUD PER/ 02/ 051 Ciudades Sostenibles \(s.f.\)](#)

**Ts-Vm / Volcánico Molinayoc:** Corresponde a eyecciones de lavas de composición andesítica y basáltica del Plioceno superior. Estas emanaciones son de tipo fisural y se exponen en toda la zona de Ayacucho, mayormente como derrames y a veces como sills o diques. [Proyecto INDECI-PNUD PER/ 02/ 051 Ciudades Sostenibles \(s.f.\)](#)

Estratigráficamente se hallan por encima del miembro 3 de la formación Ayacucho. Las lavas son andesíticas gris verdosas en la base y presentan fracturamiento según los sistemas N 70-80°E y N 20-30°W de buzamiento esencialmente vertical. En la parte superior las lavas son de composición basáltica y tonalidad oscura tal como se observa en los cortes de la carretera Ayacucho – Huanta. [Proyecto INDECI-PNUD PER/ 02/ 051 Ciudades Sostenibles \(s.f.\)](#)

En la parte alta de la secuencia se presenta un basalto escoreaceo con abundantes vacuolas, el mismo que aflora como sombrero en las cumbres de los cerros Campanayoc Atunpampa y Buena Vista, mostrando una posición casi horizontal. [Proyecto INDECI-PNUD PER/ 02/ 051 Ciudades Sostenibles \(s.f.\)](#)

Las lavas, debido a su dureza, han protegido de la erosión, en muchos lugares, a las areniscas y limolitas de la formación Ayacucho, jugando un papel importante en el desarrollo geomorfológico. Por encontrarse ubicado por encima del miembro 3 de la formación Ayacucho, se le considera de una edad Terciaria superior. [Proyecto INDECI-PNUD PER/ 02/ 051 Ciudades Sostenibles \(s.f.\)](#)

### **Geomorfología Local**

En el área de estudio se observa las siguientes características:

- Terreno de pendiente suave (5° a 10°)
- Terreno de pendiente media (10° a 15°)

### **Clasificación de Suelos y Rocas**

La clasificación a la que pertenecen las rocas usadas en la construcción de la Catedral son las siguientes:

- Aay / Andesita volcánico Acuchimay
- RA / Aglomerado volcánico

### **Capacidad Portante de los Suelos**

Se observa que el área de estudio posee un tipo de suelo con una capacidad portante importante, que se detalla a continuación.

**Mayor a 4.00 Kg/cm<sup>2</sup>** En aquellas zonas donde se presente predominantemente en forma superficial o a profundidades no mayores a 1.0 m. rocas de origen volcánico como es el basalto envuelto en una matriz limosa, brechas y aglomerados volcánicos envueltos en una matriz areno-limosa en un estado de compacidad desde el muy compacto hasta el rígido los valores de capacidad portante son mayores a 2.50 Kg/cm<sup>2</sup> y en la mayoría de las áreas superan ampliamente los 4.00 Kg/cm<sup>2</sup>. [Proyecto INDECI-PNUD PER/ 02/ 051 Ciudades Sostenibles \(s.f.\)](#)

En el área del Distrito de Carmen Alto se encuentran mayormente suelos cuya capacidad portante está entre 2.5 Kg/cm<sup>2</sup> a 4.0 Kg/cm<sup>2</sup> ; a excepción de aquella zona que comprende el embalse nuevo y antiguo de agua cruda Quicapata y sus alrededores que limitan con el río Alameda, quebrada Chaquihuaycco y parte baja del cerro Campanayocc, en donde los valores se encuentran entre 1.0 Kg/cm<sup>2</sup> a 2.0 Kg/cm<sup>2</sup>. [Proyecto INDECI-PNUD PER/ 02/ 051 Ciudades Sostenibles \(s.f.\)](#)

En el área del Distrito de San Juan Bautista se encuentran mayormente suelos cuya capacidad portante es 4.0 Kg/cm<sup>2</sup> ; a excepción de aquella zona que comprende Cooperativa Ciudad de las Américas, Santa Elena y San Melchor hasta el límite con el río Huatatas y quebrada Chaquihuaycco en donde los valores se encuentran entre 1.0 Kg/cm<sup>2</sup> a 2.0 Kg/cm<sup>2</sup>. En el barrio de Miraflores y sus zonas de expansión urbanística los suelos tienen una capacidad portante entre 2.0 Kg/cm<sup>2</sup> a 2.5 Kg/cm<sup>2</sup>. [Proyecto INDECI-PNUD PER/ 02/ 051 Ciudades Sostenibles \(s.f.\)](#)

### **Zonificación Geotécnica**

Se nos presenta que la zona de estudio posee las siguientes características:

**Suelo Tipo I** Se trata de una roca del tipo aglomerado volcánico, andesita Acuchimay y basalto de estructura vacuolar envuelta en una matriz de limo arenoso de baja plasticidad, ubicada sobre terrenos de pendiente desde muy suave a fuerte ( 0° a 60°) con muy buena capacidad portante (Mayor a 4.0 Kg/cm<sup>2</sup>), estable en laderas muy inclinadas, poco erosionable

por acción hídrica, no agresivo al concreto y de baja amplificación sísmica. Estos suelos se encuentran mayormente en las áreas de los distritos de San Juan Bautista y Carmen Alto. En el distrito de Ayacucho ocupan mayormente la planicie del Aeropuerto antiguo y nuevo, y en menor proporción las escarpas del río Alameda desde el denominado ovalo evitamiento hasta la salida hacía Huanta. [Proyecto INDECI-PNUD PER/ 02/ 051 Ciudades Sostenibles \(s.f.\)](#)

Los todos planos de la información presentada se exponen en **ANEXO B “PLANOS” - B.1.3.**

### 3.8.6 Analizar los datos en laboratorio

Una vez determinados las condiciones físicas para la realización de los ensayos y pruebas sobre las muestras se contrato los servicios de 02 laboratorios para la realización de los estudios de mecánica de rocas requeridos. Para empezar se realizaron ensayos “*in situ*” a las columnas y muros de mampostería de roca tipo “piedra gris” mediante el esclerómetro para determinar la resistencia de las rocas usadas como construcción. El laboratorio encargado fue INGEPARCH S.A.C. bajo la dirección del Ing. Javier Chavez Peralta. Los detalles del informe de laboratorio se presentan en los **ANEXO D “Estudio de Mecánica de Rocas” - D.1.** El resumen de los resultados son los siguientes:

**Tabla 2:** Resistencia a la Compresión Simple de la Roca “*in situ*”

<b>Resistencia Promedio</b>	26.28	Mpa	267.94	Kg/cm <sup>2</sup>
-----------------------------	-------	-----	--------	--------------------

Asimismo, se realizaron los ensayos en muestras procedentes de canteras ubicadas en Carmen Alto y San Juan Bautista para determinar las características mecánicas de la “roca gris”. Estos ensayos se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la FIMGC - UNSCH. Estuvo a cargo del Ing. Grover Rubina Salazar, responsable del área en la Escuela F.P. de Ingeniería de Minas. El informe también se presenta al final, junto con el anterior, en la capítulo de **ANEXO D “Estudio de Mecánica de Rocas” - D.2.** Los resultados se muestran a continuación:

### 3.8.7 Interpretar los resultados de laboratorio

Una vez obtenidos los resultados procedemos a su interpretación y posterior uso de esta información así como de modelos en 3D generados apartir de los planos obtenidos de la catedral de Huamanga.

Es importante recalcar que los datos obtenidos de los informes de laboratorio que nos dan a conocer los datos que ingresaremos en el software *ANSYS WORKBENCH* no son suficientes, puesto que falta un dato importante para representar el comportamiento dinámico de la

**Tabla 3:** Propiedades Mecánicas de Muestra de Roca

Tipo de Roca	Brecha volcánica basáltica			
<b>Resistencia Compresión Uniaxial</b>	256.77	Kg/cm <sup>2</sup>	25.18	MPa
<b>Densidad</b>	2.02	gr/cm <sup>3</sup>		
<b>Absorción</b>	5.54	%		
<b>Porosidad</b>	11.2	%		
<b>Módulo elástico</b>	57636.03	Kg/cm <sup>2</sup>	5650.59	MPa
<b>Coefficiente de Poisson</b>	0.18			
<b>Cohesión (C)</b>	0.98	Kg/cm <sup>2</sup>		
<b>Ángulo de fricción (<math>\phi</math>)</b>	23.6	°		

Catedral de Huamanga. Esto se debe a que la construcción no está constituida por un único material homogéneo que posee todas las características de las rocas, sino por el contrario está constituida por bloques de roca unidos por juntas de mortero tradicional en forma de albañilería. Estas uniones o juntas de mortero poseen características mecánicas diferentes a las rocas debido a su composición química hecha con materiales como cal o cemento, arena y agua.

Por lo tanto, estas juntas de mortero proporcionan un comportamiento heterogéneo a las columnas y muros estructurales con respecto a la “piedra gris” que es la base de su construcción. En este caso el componente estructural que más se ve comprometido es la resistencia al esfuerzo cortante, ya que los esfuerzos dinámicos originados por los sismos afectarán estas juntas de mortero principalmente, debido a que por su naturaleza de argamasa posee una resistencia a la cortante menor que la roca y serán las juntas las primeras en ceder y fracturar la construcción.

Ahora bien, para continuar con nuestra investigación fue necesario obtener la información de las propiedades y comportamiento mecánicos de la albañilería de roca con juntas de mortero tradicional. Sin embargo, es muy difícil llevar a cabo ensayos *in situ* o recolectar muestras para laboratorio de este tipo de conjunto de albañilería, ya que es necesario analizar la interacción junta-piedra como un bloque completo y definir mediante pruebas en comportamiento de todo conjunto ante fuerzas cortantes. Por lo complicado de esta operación, a su vez no es objetivo de esta investigación profundizar respecto a estos estudios de laboratorio, se determinó recurrir a fuentes bibliográficas para obtener dicha información. Se extraerá de estudios y tesis anteriores que hayan trabajado con edificios y construcciones coloniales similares para obtener un aproximado realista y realizar nuestro cálculo estructural.

De las fuentes consultadas tenemos los siguientes datos:

1. La primera fuente bibliográfica consultada es la tesis “**DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA DE ADOBE, LADRILLO Y PIEDRA EN EDIFICACIONES HISTÓRICAS PERUANAS**”, de la PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ (PUCP) del año 2016 realizada por el Ing. Luiggi Vargas Diaz en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas “Cristóbal de Losada y Puga” del Departamento de Ingeniería (LEDI), la cual realiza un estudio del comportamiento de albañilería mediante ensayos en laboratorio conocido como “Ensayo de compresión diagonal” de muestras extraídas directamente de la edificación en estudio. En la sección 6.2.2. *Compresión diagonal en muretes* de Vargas Díaz (2016) presenta los siguientes resultados:

**Tabla 4:** Se muestra la “Tabla 16: Compresión Diagonal - Muretes de ladrillo cocido”

Nro. Especi	Origen	a (mm)	b (mm)	e (mm)	A (cm <sup>2</sup> )	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo Prom (MPa)	Mód. E Corte G (MPa)	Mód. E Corte G Prom (MPa)
Muretes de ladrillo directamente extraído										
01	Hotel Comercio	400	420	280	1624	22.739	0.140	0.157	2.579	18.427
02	Hotel Comercio	480	490	295	2023	35.350	0.175		34.275	
Muretes de ladrillo reconstruido con mortero de cal y arena										
01	Hotel Comercio	405	400	130	740	40.924	0.553	0.554	468.680	403.350
02	Hotel Comercio	410	400	135	773	42.833	0.554		338.020	

**Fuente:** Vargas Díaz (2016)

Y las fotos de los ensayos que se realizaron en dicha tesis:

**Figura 31**

Imagenes de ensayos de laboratorio en fuente bibliográfica 01


**Fig. 79 – Muretes de ladrillo directamente extraídos**
**Fuente:** Vargas Díaz (2016)

2. La primera fuente bibliográfica consultada es la tesis “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL MORTERO DE JUNTA; TRADICIONAL Y ADICIONANDO CAL EN MUROS DE ALBAÑILERÍA DE LADRILLO Y DE BLOQUETA EN LA CIUDAD DEL CUSCO”, de la UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS (UAP) - Filial Cusco del año 2018 realizada por el Ing. Cinthia Gonzales Herrera en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la misma universidad, la cual realiza un estudio del comportamiento de albañilería mediante ensayos en laboratorio conocido como “Ensayo de compresión diagonal”, re-construyendo muretes de albañilería para poder realizar los ensayos. En la sección 4.12.4. *Cálculo de la Resistencia al Corte* de Gonzales Herrera (2018) presenta los siguientes resultados:

**Tabla 5:** Se muestra la “Tabla 31: Resultado de muretes con ladrillo con mortero tradicional (Cemento: Arena fina + conftillo, 1:3)”

MURETES CON MORTERO TRADICIONAL CEMENTO: ARENA FINA+CONFITILLO (1:3)							
MURETES DE LADRILLO	MEDIDAS			Ad (cm <sup>2</sup> )	Pu (kgf)	Vm (kg/cm <sup>2</sup> )	Vm (kg/cm <sup>2</sup> ) CORREGIDO
	L	H	T				
T1	61.50	63.50	12.00	1060.80	11436.82	10.78	11.32
T2	61.05	63.00	12.00	1052.73	10148.17	9.64	10.12
T3	62.00	64.00	12.00	1069.28	12725.48	11.90	12.50
<b>Vm PROMEDIO</b>	=			11.31	kg/cm <sup>2</sup>		
<b>Desviación Estandar</b>	=			1.19	kg/cm <sup>2</sup>		
<b>Coficiente de Variación</b>	=			0.01	%		
<b>V<sup>m</sup> Característica</b>	=			10.13	kg/cm <sup>2</sup>		

**Fuente:** Gonzales Herrera (2018)

Y las fotos de los ensayos que se realizaron en dicha tesis:

**Figura 32**

Imágenes de ensayos de laboratorio en fuente bibliográfica 02

**4.12.6.- Tipos de fallas de los muretes de ladrillo.**

**Figura 21: Falla de muretes T1 de ladrillo con mortero tradicional**



**Figura 23.2: Falla de muretes T2 con mortero tradicional.**



**Figura 23.3: Falla de murete T3 con mortero tradicional.**



**Fuente:** Gonzales Herrera (2018)

- La primera fuente bibliográfica consultada es la tesis **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MORTERO TRADICIONAL Y EL MORTERO NO CONVENCIONAL EN MURETES DE ALBAÑILERÍA”**, de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA (UNI) del año 2017 realizada por el Ing. Luis Xavier Vargas Gordillo en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la misma universidad, la cual realiza un estudio del comportamiento de albañilería mediante ensayos en laboratorio conocido como “Ensayo de compresión diagonal”, re-

construyendo muretes de albañilería para poder realizar los ensayos. En Vargas Gordillo (2017) presenta los siguientes resultados:

**Tabla 6:** Se muestra la tabla “SIMBOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS Y ENSAYOS”

TIPO	SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
Tipo de ladrillo	A	Ladrillo King Kong 18H, 30% de vacíos
	B	Ladrillo King Kong 18H
	C	Ladrillo Pandereta Lisa
Tipo de mortero	MOT	Mortero tradicional, cemento-arena 1:4
	ARM	Mortero NO convencional “Argamasa para bloco”
	MDD	Mortero NO convencional “Massa Dun Dun”
Tipo de ensayo	M	Ensayo de compresión diagonal en Murete de Albañilería
	P	Ensayo de compresión axial en Pilas de Albañilería
	F	Ensayo de tracción por flexión en Pilas de Albañilería

**Fuente:** Vargas Gordillo (2017)

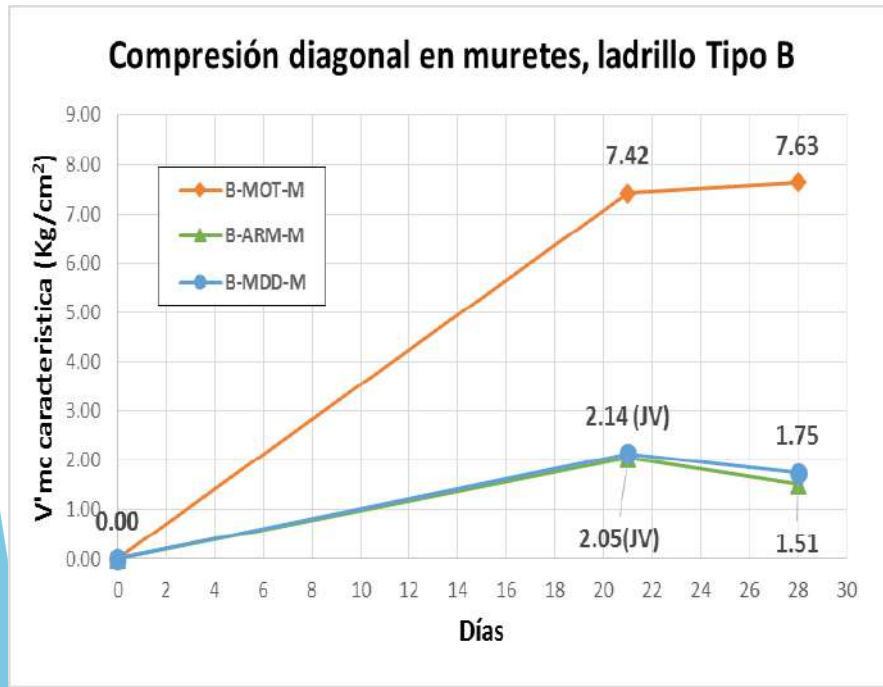
**Tabla 7:** Se muestra la tabla “RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DIAGONAL (CORTE) EN MURETE DE ALBAÑILERÍA”

Ladrillo Tipo B	Ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería			
	21 Dias (Junta Vertical)		28 Dias	
	kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%
B-MOT-M	7.42	100%	7.63	100%
B-ARM-M	2.05	28%	1.51	20%
B-MDD-M	2.14	29%	1.75	23%

**Fuente:** Vargas Gordillo (2017)

Y las fotos de los ensayos que se realizaron en dicha tesis:

**Figura 33** Diagrama “Ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería” de fuente bibliográfica 03



Fuente: Vargas Gordillo (2017)

**Figura 34** Imágenes de ensayos de laboratorio en fuente bibliográfica 03

**RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DIAGONAL (CORTE) EN MURETES DE ALBAÑILERÍA**

(NTE E-0.70 de Albañilería y a la NTP 399.621:2004)



Fuente: Vargas Gordillo (2017)

4. La primera fuente bibliográfica consultada es la tesis “**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE Y FLEXIÓN DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA ARTESANAL CON CARGA DINÁMICA CÍCLICA**”, de la UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA (UNSCH) del año 2018 realizada por el Ing. Gregorio Leguía Damiano en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de Pontificia Universidad Católica del Perú, la cual realiza un estudio del comportamiento de albañilería mediante ensayos en laboratorio conocido como “Ensayo de compresión diagonal”, re-construyendo muretes de albañilería para poder realizar los ensayos. En la sección 3.2.2.4. *Cálculo de la Resistencia al Corte* de Leguía Damiano (2018) presenta los siguientes resultados:

**Tabla 8:** Se muestra la “Tabla 3.14: Cálculo de resistencia característica al corte de la albañilería”

Murete N°	P <sub>máx</sub> (KN)	P <sub>máx</sub> (ton)	P <sub>máx</sub> (Kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	V <sub>m</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
01	72.30	7.37	7374.60	1044.65	7.06
02	80.70	8.23	8231.40	1054.20	7.81
03	56.56	5.77	5769.12	1049.37	5.50
Promedio de las Resistencias al Corte:				<b>Prom (V<sub>m</sub>)</b>	6.79
Desv. Estandar de las Resistencias al Corte:				<b>Desv. (σ)</b>	1.18
Resistencia característica al Corte:				<b>V'm</b>	5.61
Dispersión porcentual de los Resultados:				<b>Error</b>	17 %

**Fuente:** Leguía Damiano (2018)

Y las fotos de los ensayos que se realizaron en dicha tesis:

**Figura 35**

Imágenes de ensayos de laboratorio en fuente bibliográfica 04

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.27:** Falla típica del murete 01.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.28:** Falla típica del murete 02.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.29:** Falla escalonada del murete 03.

Fuente: Leguía Damiano (2018)

Después de analizar los datos de las fuentes bibliográficas antes expuestas sabemos que:

- Los ensayos realizados constan en la construcción de muestras de muretes de albañilería de ladrillo y mortero, los cuales deben ser sometidos al ensayo de “*RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DIAGONAL (CORTE) EN MURETES DE ALBAÑILERÍA*”, de acuerdo a las normas NTE E-0.70 de Albañilería y a la NTP 399.621:2004, mediante el empleo de un equipo mecánico de laboratorio que consiste en: gata hidráulica donde se coloca el murete de albañilería, celdas de carga que se colocan sobre la sección de murete y el marco de acero que sostiene todo el ensayo como se muestran en las fotos.
- Los valores mostrados de los resultados de los ensayos realizados en las investigaciones antes mencionadas nos presentan valores finales como: Esfuerzo de Corte Prom.=0.157 MPa (1.60 Kgf/cm<sup>2</sup>) y Módulo de Corte G=18.427 MPa en Vargas Díaz (2016), (Esfuerzo de Corte) V'm Característica=10.13 Kgf/cm<sup>2</sup> en Gonzales Herrera (2018), (Esfuerzo de Corte) B-MOT-M=7.63 Kgf/cm<sup>2</sup> en Vargas Gordillo (2017) y Resistencia característica al Corte V'm=5.61 Kgf/cm<sup>2</sup> en Leguía Damiano (2018). Observamos que todos los valores de la resistencia al corte están entre el rango de 5-10 Kgf/cm<sup>2</sup> excepto el primero que se aleja hasta 1.60 Kgf/cm<sup>2</sup>.
- La información más precisa que se tiene de las 04 investigaciones mencionadas es la presentada en Vargas Díaz (2016), la cual evalúa en laboratorio muestras extraídas directamente de la edificación en estudio. Las otras investigaciones re-construyen muretes de albañilería para poder realizar los ensayos, con lo que la exactitud y semejanza a las construcciones tradicionales originales se aleja de lo esperado. Por lo que se considera que la investigación 01 es la más cercana al comportamiento real.
- No existe investigaciones con respecto a ensayos de laboratorio sobre albañilería tradicional de roca y mortero con muestras extraídas del edificio en estudio, por lo que nos hemos de confiar de los ensayos de laboratorio realizados sobre albañilería tradicional de ladrillo y mortero, considerando que las uniones o juntas de mortero son las primeras en fallar en ambos casos para esfuerzos de tipo cortante. La composición de materiales usados en los morteros así como el comportamiento estructural de las juntas es empíricamente muy similar.

Por todo lo anterior podemos concluir que usar los valores resultado de los ensayos de laboratorio en la investigación de la primera tesis Vargas Díaz (2016) son los más adecuados para su uso en la presente investigación, y que sirven de buena referencia, salvando las diferencias, para representar las características y el comportamiento estructural de las uniones

y juntas de mortero en edificaciones históricas como la Catedral de Huamanga. Por lo mencionado los valores empleados en esta cálculo son:

**Tabla 9:** Resistencia a la Compresión Diagonal (Corte) en muretes de Albañilería

Esfuerzo Prom (MPa)	Mód. E Corte G Prom (MPa)
0.157	18.427

### 3.8.8 Aplicar las cargas y restricciones

#### 3.8.8.1 CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA

La norma técnica E-020 establece recomendaciones para las cargas que deben ser consideradas en el análisis de una estructura, dependiendo de su uso previsto. Estas cargas se dividen en tres categorías principales:

**Carga Muerta (CM):** La carga muerta se refiere al peso de los materiales de construcción, equipos, tabiques y otros elementos que son parte integral de la estructura, incluyendo el peso propio de la estructura. Estas cargas se consideran permanentes, ya que son siempre parte de la estructura.

**Carga Viva (CV):** La carga viva, también conocida como sobrecarga, representa el peso de los ocupantes, muebles, equipos y otros elementos móviles que puedan estar presentes en la estructura. Estas cargas son variables y pueden cambiar con el tiempo, ya que dependen de la ocupación y el uso de la edificación.

**Cargas de Sismo (S):** Las cargas de sismo se generan debido a la acción sísmica sobre la estructura. Estas cargas son específicas para considerar los efectos de un terremoto en la estructura y son fundamentales para garantizar la seguridad sísmica de la misma.

En el diseño estructural, es esencial asegurarse de que la estructura pueda resistir todas estas cargas, considerando diferentes combinaciones que se especifican en la norma técnica. El objetivo es verificar que los esfuerzos y deformaciones resultantes no superen los límites admisibles de los materiales utilizados en la construcción, garantizando así la seguridad y la integridad de la estructura.

- Carga muerta
  - Peso propio
  - Permanentes (tabiquería, losa aligerada, losa maciza, etc)
- Carga viva

- Sobrecarga (Entrepisos y techos)
- Excepcional
  - Cargas de sismos
  - Cargas de viento

### 3.8.8.2 CARGAS DE SÍSMOS

Entre las principales cargas que afectan el desempeño estructural de la estructura, motivo del presente estudio, es la carga de origen sísmico. Esta carga es la que puede provocar fallas en la infraestructura y por lo tanto peligros reales a las personas y al patrimonio cultural de la ciudad. En este primer apartado nos ocuparemos de determinar el valor numérico de las aceleraciones sísmicas que pueden afectar a la edificación de estudio.

Las cargas sísmicas que se aplicarán estarán sujetas al espectro de diseño de la norma E.030 “DISEÑO SISMORRESISTENTE”. Entre estas cargas primero obtenemos información técnica respecto a las variables que usamos para obtener estos espectros de aceleración. Para empezar tenemos:

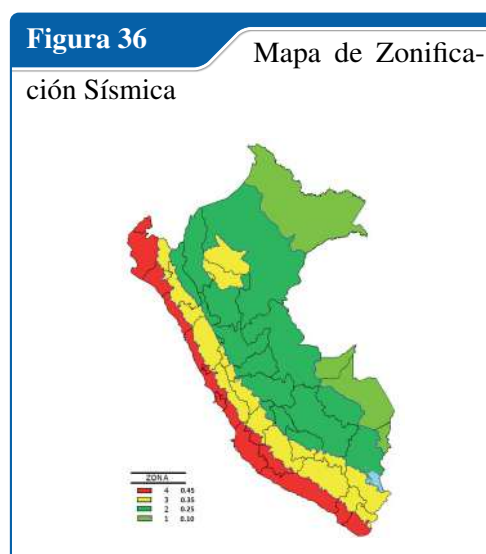
### 3.8.8.3 Zonificación

La edificación estudiada está ubicada en:

Distrito: Ayacucho

Provincia: Huamanga

Departamento: Ayacucho



**Fuente:** NORMA TÉCNICA E.030 “DISEÑO SISMORRESISTENTE”

El factor de zona **Z** se interpreta como la aceleración del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

De acuerdo al mapa de zonificación sísmica del Perú, el proyecto se ubica en la región Ayacucho, Provincia Huamanga y distrito de Ayacucho, que corresponde a la **ZONA 2**. Por lo tanto el factor de zona es  $Z2 = 0.25$ .

#### **3.8.8.4 Parámetros de Sitio**

Para obtener los parámetros de sitio debemos primero determinar el tipo de suelo sobre el que se asienta la edificación en este caso la Catedral de Huamanga. Debido a la imposibilidad de realizar excavaciones y extraer muestras de suelos debajo de la edificación así como en las calles adyacentes debido a que se encuentran pavimentadas y no se poseen los permisos para realizar este tipo de trabajos. Sin embargo ya se realizaron este tipo de estudios en una obra de drenajes ejecutada unos años antes, cuyo nombre fue **“CONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL Y EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE AYACUCHO, TRAMO JR. LIMA, JR. CALLAO Y JR. CUSCO DEL DISTRITO DE AYACUCHO” III ETAPA** del AÑO 2014. Se solicitó dichos estudios de mecánicas de suelos a la Municipalidad Provincial de Huamanga, la cual amablemente accedió y nos brindó dicha información. De los estudios de Mecánica de Suelos se conoce lo siguiente:

#### **Ubicación de Calicatas**

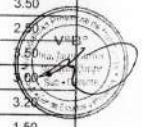
El plano donde se presenta la ubicación de las calicatas se encuentra en **ANEXO B “PLANOS” -B.1.4**.

**Figura 37**

**Ubicación de calicatas**

**UBICACIÓN DE CALICATAS**

N°	DENOMINACIÓN	PROYECTO	SECTOR	UBICACIÓN	PROFUNDIDAD (m)
1	C-1	Red de Agua Potable de Ayacucho	Vía Libertadores	Estación de Bomberos Piscotambo	1.70
2	C-2	Red de Alcantarillado de Ayacucho	Asoc. Andrés A. Cáceres	Mz A Lote 4	1.50
3	C-3	Red de Alcantarillado de Ayacucho	Urb. Basilio Auqui	Mz A Lote 1	2.00
4	C-4	Centro Educativo Corazón de Jesús	Asoc. 16 de Abril	Av. J. A. Sucre s/n	2.00
5	C-5	Centro Educativo N°38018 Maravillas	Cercado	Prolg. Garcilazo N°880	2.70
6	C-6	Red de Alcantarillado de Ayacucho	Urb. Basilio Auqui	Mz I Lote 9	1.50
7	C-7	Centro Educativo Inicial N° 320 Emadi	Urb. María P. Bellido Emadi	Psje. Gregorio s/n	2.60
8	C-8	Complejo Educativo Ex - Penal	Cercado	Av. Maravillas S/N	2.50
9	C-9	Red de Agua Potable de Ayacucho	Barrio Libertad	Jr. 22 de Junio 322	2.00
10	C-10	Drenaje Pluvial de Ayacucho	Quinua	Jr. Quinua N° 341	3.00
11	C-11	Tesis Augusto Choquechanca	Pueblo Libre - Cerro Picota	Pueblo Libre-Cerro Picota	3.50
12	C-12	Tesis Augusto Choquechanca	Pueblo Libre - Cerro Picota	Pueblo Libre-Cerro Picota	2.50
13	C-13	Tesis Augusto Choquechanca	Pueblo Libre - Cerro Picota	Pueblo Libre-Cerro Picota	1.50
14	C-14	Drenaje Pluvial de Ayacucho	Huamanga	Jr. Huamanga N° 455	3.00
15	C-15	Drenaje Pluvial de Ayacucho	Quinua	Jr. Sucre N° 213	3.20
16	C-16	Centro Educativo Luis Carranza	Cercado	Jr. Asamblea N° 325	1.50
17	C-17	Centro Educativo Los Libertadores	Barrio Calvario	Jr. José Olaya s/n	2.80
18	C-18	Centro Educativo 9 de Diciembre	Cercado	Jr. Bellido No 541-561	2.60
19	C-19	Red de Agua Potable de Ayacucho	Barrios Altos	Jr. Córdova s/n	2.00
20	C-20	Pavimentación Jr. Glorieta	Cercado	Jr. Cuzco y Jr. Arequipa	1.60
21	C-21	Centro Educativo Francisco Bolognesi	PP.JJ. Yuracc Yuracc	Jr. Javier Heraud y Jr. Los Andes	2.50
22	C-22	Red de Agua Potable de Ayacucho	Quinua	Prolg. San Martín N°215	1.80
23	C-23	Centro Educativo Mariscal Sucre	Cercado	Jr. Dos de Mayo y Jr. San Martín	3.00
24	C-24	Red de Alcantarillado de Ayacucho	Ayacucho	Jr. Glorieta N° 293	2.20
25	C-25	Drenaje Pluvial de Ayacucho	Barrio Belén	Jr. César Vallejo N° 325	3.00
26	C-26	Pabellones Beneficiencia Pública	Cercado	Jr. C. F. Vivanco y Grau	7.20



APROBADO

PERCY ORDOÑEZ ALVARADO  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP. 56674

INGENIERO CIVIL  
REG. CIP. 78042

Ing. Rubén Cangoza Gutiérrez  
Ingeniero Civil  
CIP. N° 58259

Fuente: MPH

**Parámetros Geotécnicos**
**Figura 38**
**Parámetros Geotécnicos**

**APPROBADO** 330  
7


**PARAMETROS GEOTÉCNICOS OBTENIDOS DE ENSAYOS ESTÁNDAR PARA SUELOS DE LA ZONA DEL PROYECTO**


Estudio : Construcción del Sistema de Drenaje Pluvial del Centro Histórico y la margen izquierda del Río Alameda de la ciudad de Ayacucho


Proyecto : Mejoramiento de Capacidades para la Implementación del Sistema de drenaje Pluvial de Ayacucho


Fecha : Diciembre 2009


EXCAV.	PROF. (m)	CLASIF SUCS	$\gamma_{nat}$ (Tn/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sec}$ (Tn/m <sup>3</sup> )	W nat. (%)	LIMITES DE ATTEBERG				$\gamma_{mín.}$ (Tn/m <sup>3</sup> )	W ópt. (%)	$\gamma_{máx.}$ (Tn/m <sup>3</sup> )	Gs
						LL	LP	IP	Wo				
	1.40-2.80	GP-GM	1.650	1.550	7.07	23.48	N.P.	N.P.	7.07	1.410	10.00	1.920	
C-18	0.00-0.70 0.70-2.60	Cobertura GM	1.830	1.720	12.20	50.30	N.P.	N.P.	12.20	1.205	18.40	1.830	2.62
C-19	0.00-0.30 0.30-2.00	Cobertura GC				41.20	27.80	13.40		1.498			2.57
C-20	0.00-1.60	ML			25.80	33.40	N.P.	N.P.	25.80	1.072	21.10	1.410	2.45
C-21	0.00-0.70 0.70-2.50	Cobertura SM	1.420	1.180	20.10	47.60	N.P.	N.P.	20.10	1.069	26.60	1.410	2.52
C-22	0.00-0.30 0.30-1.80	Cobertura GM				31.40	27.70	3.70		1.413			2.54
C-23	0.00-0.10 0.10-0.73 0.73-1.70 1.70-2.40 2.40-3.00	Losa C <sup>o</sup> S <sup>o</sup> Cobertura SM SM SM				22.00 N.P.	N.P. N.P.	N.P. N.P.					
C-24	0.00-0.30 0.30-2.20	Cobertura GM				34.20	N.P.	N.P.		1.731			2.59
C-25	0.00-0.30	SM	1.650	1.440	20.20	44.10	N.P.	N.P.	20.20	1.212	17.80	1.610	2.48
C-26	0.00-1.30 1.30-2.70 2.70-4.05 4.05-5.50 5.50-7.20	Cobertura ML SM GM ML				20.00 24.60 8.80 20.80	30.40 54.30 30.30 34.40	24.60 N.P. N.P. N.P.	5.80 20.00 8.80 20.80	1.264 1.065 1.832 1.198	12.70 28.30 11.80 20.10	1.950 1.360 2.080 1.670	2.58 2.52 2.60 1.54
C-27	0.00-0.20 0.20-2.70	Cobertura GM	1.490	1.340	12.00	28.30	N.P.	N.P.	12.00	1.250	12.60	1.770	2.38
C-28	0.00-0.30 0.30-1.30 1.30-1.50	Cobertura GM GM				41.30 45.80	N.P. N.P.	N.P. N.P.		1.505 1.278			2.55 2.50
C-29	0.00-0.70 0.70-2.00	Cobertura Aglomerado Volcánico											
C-30	0.00-3.00	SM	1.800	1.730	6.80	24.10	N.P.	N.P.	6.80	1.530	8.99	1.950	2.54
C-31	0.00-0.40 0.40-3.00	Cobertura SM	1.620	1.570	6.00	28.80	N.P.	N.P.	6.00	1.280	15.10	1.700	2.55
C-32	0.00-0.40 0.40-1.55 1.55-1.95 1.95-2.40 2.40-3.00	Cobertura ML GM ML GM				8.00 9.60 8.00 9.60	30.40 25.40 30.40 25.40	N.P. N.P. N.P. N.P.	8.00 9.60 8.00 9.60	1.196 1.624 1.196 1.624			2.48 2.58 2.48 2.58



  
 Ing. Rubén Yvar Contreras Pareja  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP. 56674

  
 Ing. Rubén Cangaña Gutiérrez  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP. 79042

  
 Rubén Cangaña Gutiérrez  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP - Nº 58250

  
 Rubén Cangaña Gutiérrez  
 Ingeniero Civil  
 CIP Nº 58259

Fuente: MPH

**Capacidad Portante**

EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL

Franz Tonny BALDEON VALDEZ

Figura 39 Capacidad Portante

**CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE PARA SUELOS DE AYACUCHO EN EXCAVACIONES  
 (FALLA POR CORTE EN ZAPATAS CUADRADAS - CONDICION ESTATICA)**

Proyecto : Construcción del Sistema de Drenaje Pluvial del Centro Histórico y la margen izquierda del Río Alameda de la ciudad de Ayacucho  
 Obra : Mejoramiento de Capacidades para la Implementación del Sistema de drenaje Pluvial de Ayacucho  
 Fecha : Diciembre 2009

EXCAVACIÓN	$\gamma_{nat.1}$ (Tn/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{nat.2}$ (Tn/m <sup>3</sup> )	C sat. (kg/cm <sup>2</sup> )	D relat diseño	$\phi$ (°) diseño	Df (m) diseño	Tipo de Falla	C sat.* (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi^*$ (°)	B (m)	Nc	Nq	N $\gamma$	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	q adm. (kg/cm <sup>2</sup> )	P (tn)	B calculado (m)
C-1	1.90	1.90	0.000	60.000	35.000	1.000	Intermedia	0.000	35.00°	1.000	75.286	35.557	43.857	10.089	3.363	30.000	0.944
C-2	1.80	1.80	0.000	70.000	30.000	1.000	General	0.000	30.00°	1.000	55.000	24.500	21.500	5.958	1.986	30.000	1.229
C-3	1.70	1.70	0.000	60.000	30.000	1.000	Intermedia	0.000	30.00°	1.000	46.000	20.029	16.574	4.532	1.511	30.000	1.409
C-4	1.70	1.70	0.000	70.000	32.000	1.000	General	0.000	32.00°	1.000	69.800	32.300	36.100	7.946	2.649	30.000	1.064
C-5	1.70	1.70	0.000	60.000	30.000	1.000	Intermedia	0.000	30.00°	1.000	46.000	20.029	16.574	4.532	1.511	30.000	1.409
C-6	1.70	1.70	0.000	70.000	28.000	1.000	General	0.000	28.00°	1.000	46.400	20.480	16.300	4.590	1.530	30.000	1.400
C-7	1.56	1.56	0.000	60.000	30.000	1.000	Intermedia	0.000	30.00°	1.000	46.000	20.029	16.574	4.159	1.386	30.000	1.471
C-8	1.50	1.50	0.000	60.000	30.000	1.000	Intermedia	0.000	30.00°	1.000	46.000	20.029	16.574	3.999	1.333	30.000	1.500
C-9	1.70	1.70	0.000	55.000	32.000	1.000	Intermedia	0.000	32.00°	1.000	51.029	22.850	22.909	5.442	1.814	30.000	1.286
C-10	1.81	1.81	0.000	65.000	35.000	1.000	Intermedia	0.000	35.00°	1.000	83.643	39.779	50.929	10.887	3.629	30.000	0.909
C-11	1.60	1.60	0.000	65.000	30.000	1.000	Intermedia	0.000	30.00°	1.000	50.500	22.264	19.037	4.781	1.594	30.000	1.372
C-12	1.65	1.65	0.000	65.000	32.000	1.000	Intermedia	0.000	32.00°	1.000	63.543	29.150	31.703	6.902	2.301	30.000	1.142
C-13	1.65	1.65	0.000	65.000	32.000	1.000	Intermedia	0.000	32.00°	1.000	63.543	29.150	31.703	6.902	2.301	30.000	1.142
C-14	1.70	1.70	0.000	60.000	30.000	1.000	Intermedia	0.000	30.00°	1.000	46.000	20.029	16.574	4.532	1.511	30.000	1.409
C-15	1.56	1.56	0.000	60.000	30.000	1.000	Intermedia	0.000	30.00°	1.000	46.000	20.029	16.574	4.159	1.386	30.000	1.471
C-16	1.65	1.65	0.000	60.000	32.000	1.000	Intermedia	0.000	32.00°	1.000	57.286	26.000	27.306	6.092	2.031	30.000	1.215
C-17	1.75	1.75	0.000	50.000	35.000	1.000	Intermedia	0.000	35.00°	1.000	58.571	27.114	29.714	6.825	2.275	30.000	1.148
C-18	1.75	1.75	0.000	60.000	32.000	1.000	Intermedia	0.000	32.00°	1.000	57.286	26.000	27.306	6.461	2.154	30.000	1.180
C-19	1.80	1.80	0.000	50.000	32.000	1.000	Intermedia	0.000	32.00°	1.000	44.771	19.700	18.511	4.879	1.626	30.000	1.358
C-20	1.75	1.75	0.000	65.000	30.000	1.000	Intermedia	0.000	30.00°	1.000	50.500	22.264	19.037	5.229	1.743	30.000	1.312
C-21	1.70	1.70	0.000	60.000	30.000	1.000	Intermedia	0.000	30.00°	1.000	46.000	20.029	16.574	4.532	1.511	30.000	1.409
C-22	1.80	1.80	0.000	50.000	32.000	1.000	Intermedia	0.000	32.00°	1.000	44.771	19.700	18.511	4.879	1.626	30.000	1.358
C-23	1.70	1.70	0.000	60.000	30.000	1.000	Intermedia	0.000	30.00°	1.000	46.000	20.029	16.574	4.532	1.511	30.000	1.409
C-24	1.80	1.80	0.000	60.000	30.000	1.000	Intermedia	0.000	30.00°	1.000	46.000	20.029	16.574	4.798	1.599	30.000	1.370
C-25	1.65	1.65	0.000	50.000	35.000	1.000	Intermedia	0.000	35.00°	1.000	58.571	27.114	29.714	6.435	2.145	30.000	1.183
C-26	2.19	2.19	0.000	50.000	35.000	1.000	Intermedia	0.000	35.00°	1.000	58.571	27.114	29.714	8.541	2.847	30.000	1.027
C-27	1.49	1.49	0.000	50.000	30.000	1.000	Intermedia	0.000	30.00°	1.000	37.000	15.557	11.649	3.012	1.004	30.000	1.729
C-28	1.80	1.80	0.000	50.000	32.000	1.000	Intermedia	0.000	32.00°	1.000	44.771	19.700	18.511	4.879	1.626	30.000	1.358
C-29	1.90	1.90	3.000	35.000	20.000	1.000	Local	2.000	14.00°	1.000	12.870	3.700	0.810	31.653	10.551	30.000	0.533
C-30	1.80	1.80	0.000	50.000	33.000	1.000	Intermedia	0.000	33.00°	1.000	49.371	22.171	22.246	5.593	1.864	30.000	1.269
C-31	1.62	1.62	0.000	50.000	35.000	1.000	Intermedia	0.000	35.00°	1.000	58.571	27.114	29.714	6.318	2.106	30.000	1.194
C-32	1.85	1.85	0.000	50.000	30.000	1.000	Intermedia	0.000	30.00°	1.000	37.000	15.557	11.649	3.740	1.247	30.000	1.551

Fuente: MPH

## Capacidad de Carga

Figura 40

Capacidad de Carga

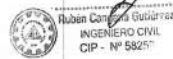
**CUADRO N° 04**

**CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE EN EL SUELO DE CIMENTACION - FALLA POR ASENTAMIENTO EN ZAPATAS CUADRADAS (MATERIAL NO COHESIVO)**

Proyecto : Construcción del Sistema de Drenaje Pluvial del Centro Histórico y la margen izquierda del Río Alameda de la ciudad de Ayacucho  
 Obra : Mejoramiento de Capacidades para la Implementación del Sistema de drenaje Pluvial de Ayacucho  
 Fecha : Diciembre 2009

EXCAVACION N°	D relat. (%)	Estado de Ciment.	N	Nf (m)	Df (m)	d (cm)	B (m)	P (Tn)	CORRECCIONES REALIZADAS					q <sub>a</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	B <sub>o</sub> (m)
									N'	Fe	Fnf	Fdf	Fd		
C-19	50.00	Seco	20.00	50.00	1.00	2.50	1.00	30.00	17.50	1.00	1.00	1.330	1.00	2.23	1.00
C-19	50.00	Seco	20.00	50.00	1.00	2.50	1.18	30.00	17.50	1.00	1.00	1.279	1.00	2.15	1.18
C-20	65.00	Seco	30.00	50.00	1.00	2.50	1.00	30.00	22.50	1.00	1.00	1.330	1.00	2.87	1.00
C-20	65.00	Seco	30.00	50.00	1.00	2.50	1.02	30.00	22.50	1.00	1.00	1.322	1.00	2.86	1.03
C-21	60.00	Seco	26.00	50.00	1.00	2.50	1.00	5.00	20.50	1.00	1.00	1.330	1.00	2.62	1.00
C-21	60.00	Seco	26.00	50.00	1.00	2.50	0.44	5.00	20.50	1.00	1.00	1.330	1.00	2.62	0.44
C-22	50.00	Seco	20.00	50.00	1.00	2.50	1.00	30.00	17.50	1.00	1.00	1.330	1.00	2.23	1.00
C-22	50.00	Seco	20.00	50.00	1.00	2.50	1.18	30.00	17.50	1.00	1.00	1.279	1.00	2.15	1.18
C-23	60.00	Seco	26.00	50.00	1.00	2.50	1.00	30.00	20.50	1.00	1.00	1.330	1.00	2.62	1.00
C-23	60.00	Seco	26.00	50.00	1.00	2.50	1.08	30.00	20.50	1.00	1.00	1.305	1.00	2.57	1.08
C-24	60.00	Seco	26.00	50.00	1.00	2.50	1.00	30.00	20.50	1.00	1.00	1.330	1.00	2.62	1.00
C-24	60.00	Seco	26.00	50.00	1.00	2.50	1.08	30.00	20.50	1.00	1.00	1.305	1.00	2.57	1.08
C-25	50.00	Seco	20.00	50.00	1.00	2.50	1.00	30.00	17.50	1.00	1.00	1.330	1.00	2.23	1.00
C-25	50.00	Seco	20.00	50.00	1.00	2.50	1.18	30.00	17.50	1.00	1.00	1.279	1.00	2.15	1.18
C-26	50.00	Seco	20.00	50.00	1.00	2.50	1.00	30.00	17.50	1.00	1.00	1.330	1.00	2.23	1.00
C-26	50.00	Seco	20.00	50.00	1.00	2.50	1.18	30.00	17.50	1.00	1.00	1.279	1.00	2.15	1.18
C-27	50.00	Seco	20.00	50.00	1.00	2.50	1.00	30.00	17.50	1.00	1.00	1.330	1.00	2.23	1.00
C-27	50.00	Seco	20.00	50.00	1.00	2.50	1.18	30.00	17.50	1.00	1.00	1.279	1.00	2.15	1.18

APROBADO

  
 Ing. Rubén Cangana Gutiérrez  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP - Nº 58257

  
 Ing. Rubén Yari Contreras Ríos  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP 79042



  
 Ing. Rubén Cangana Gutiérrez  
 Ingeniero Civil  
 CIP Nº 58259

532

Fuente: MPH

Por todo lo anterior podemos determinar que: la calicata más cercana a la Catedral de Huamanga es la C-23 con una profundidad de 3.00m, así como la siguiente ubicación en su leyenda: entre Jr. Dos de Mayo y Jr. Los Andes. Así que consideraremos los datos de esta como adecuados para poder determinar los parámetros de sitio debido a que pertenece a la misma formación geológica y ha sido afectada por eventos geológicos e históricos semejantes.

Asimismo sabemos que, el tipo de suelo de la calicata es SM. En la clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), "SM" se refiere a la designación de un suelo como "suelo limo-arcilloso bien graduado con grava". Esta designación indica que el suelo contiene una mezcla de partículas finas (limo y arcilla) y gruesas (grava), y que está bien graduado, lo que significa que no hay un rango de tamaños de partículas dominante.

La designación SM se utiliza para suelos que contienen entre un 15% y un 50% de finos (partículas más pequeñas que la malla No. 200) y que tienen una distribución de tamaños de partículas relativamente uniforme. La presencia de grava en un suelo SM puede aumentar su capacidad de soporte y su resistencia al corte, mientras que la presencia de limo y arcilla puede afectar su permeabilidad y su capacidad de drenaje.

Conociendo esto volvemos a la norma E.060 que nos solicita conocer una de las siguientes opciones: la resistencia al corte en condición no drenada  $\bar{S}_u$  para suelos cohesivos, velocidad de propagación de las ondas de corte  $\bar{V}_S$  o el número de golpes necesarios para que el muestreador penetre la superficie del suelo  $\bar{N}_{60}$  obtenidos de un ensayo SPT.

Optamos por la primera, puesto que ya poseemos información que nos permita determinarla, es posible calcular la resistencia al corte en suelos utilizando solo la cohesión y el ángulo de fricción, pero solo en algunos casos específicos.

Para suelos cohesivos (arcillas, limos y algunos suelos orgánicos) que no tienen una estructura interna claramente definida, la cohesión es la principal contribución a la resistencia al corte, y el ángulo de fricción es menos importante. En estos casos, se puede utilizar la siguiente fórmula para calcular la resistencia al corte no drenada:

$$\bar{S}_u = c + \sigma_n \tan(\phi)$$

Donde:

$\bar{S}_u$  es la resistencia al corte no drenada,  $c$  es la cohesión,  $\sigma_n$  es la tensión normal (o efectiva) en la superficie de falla y  $\phi$  es el ángulo de fricción.

Sin embargo, en suelos granulares (como arena, grava y algunos suelos limosos con una estructura interna bien definida), la fricción es la principal contribución a la resistencia al

corte y la cohesión es menos importante. En estos casos, la fórmula anterior puede no ser aplicable y se requiere un enfoque diferente para el cálculo de la resistencia al corte.

En resumen, es posible calcular la resistencia al corte en suelos utilizando solo la cohesión y el ángulo de fricción, pero solo en suelos cohesivos. Para suelos granulares, se requiere un enfoque diferente para el cálculo de la resistencia al corte.

Para utilizar esta fórmula, siga los siguientes pasos:

- Determine el valor de la cohesión ( $c$ ) y el ángulo de fricción ( $\phi$ ) del suelo. Estos valores se pueden obtener a partir de ensayos de laboratorio, como el ensayo de corte directo o el ensayo de compresión triaxial.
- Determine la tensión normal (o efectiva) ( $\sigma_n$ ) en la superficie de falla. La tensión normal es la fuerza que actúa perpendicularmente a la superficie de falla, y se puede determinar a partir del peso propio del suelo y cualquier carga adicional que se aplique a la superficie de falla.
- Sustituya los valores de  $c$ ,  $\phi$  y  $\sigma_n$  en la fórmula de Mohr-Coulomb.
- Calcule el valor de la resistencia al corte ( $\tau$ ).

La determinación de la tensión normal (o efectiva) en la superficie de falla es un paso importante para calcular la resistencia al corte en suelos utilizando la fórmula de Mohr-Coulomb. La tensión normal es la fuerza que actúa perpendicularmente a la superficie de falla y se puede determinar a partir del peso propio del suelo y cualquier carga adicional que se aplique a la superficie de falla.

Para determinar la tensión normal, se pueden seguir los siguientes pasos:

- Determine el peso propio del suelo por unidad de volumen ( $\gamma$ ) a través de ensayos de laboratorio o utilizando valores típicos de referencia para diferentes tipos de suelo.
- Determine la profundidad ( $h$ ) de la superficie de falla a partir de la geometría del problema. En este caso la calicata tiene una profundidad de 3 metros con una capas de diferente peso propio.
- Calcule la tensión vertical ( $\sigma_v$ ) en la superficie de falla a partir del peso propio del suelo y la profundidad de la superficie de falla. La fórmula para calcular la tensión vertical es la siguiente:  $\sigma_v = \gamma \times h$

- Determine cualquier carga adicional que se aplique a la superficie de falla, como la carga de una estructura o una carga de tierra. Si hay una carga adicional, agregue este valor a la tensión vertical para obtener la tensión normal ( $\sigma_n$ ) en la superficie de falla. La fórmula para calcular la tensión normal es la siguiente:  $\sigma_n = \sigma_V + q$ . Donde  $q$  es la carga adicional.

Procedemos a calcular la resistencia al corte en condición no drenada, para lo cual tenemos del EMS los siguientes datos:

$$\begin{aligned} h_l &= 0,10m \\ h_c &= 0,63m \\ h_{SM} &= 2,27m \\ \gamma_{nat} &= 1,70Tn/m^3 \\ C_{sat} &= 0kg/cm^2 \\ \phi &= 30^\circ \end{aligned}$$

Además sabemos:

$$\begin{aligned} \gamma_{concreto} &= 2,4Tn/m^3 \\ \gamma_{conglomerado} &= 1,80Tn/m^3 (aprox.) \end{aligned}$$

Reemplazamos en la fórmula:

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \sigma_V + q \\ \sigma_n &= \gamma_{nat} \times h_{SM} + q \\ \sigma_n &= \gamma_{nat} \times h_{SM} + (\gamma_{concreto} \times h_l + \gamma_{conglomerado} \times h_c) \\ \sigma_n &= 1,70 \times 2,27 + (2,4 \times 0,10 + 1,80 \times 0,63) \\ \sigma_n &= 5,233Tn/m^2 \\ \bar{S}_u &= c + \sigma_n \tan(\phi) \\ \bar{S}_u &= 0 + 5,233 \times \tan(30) \\ \bar{S}_u &= 3,02Tn/m^2 \end{aligned}$$

Finalmente convirtiendo tenemos:  $\bar{S}_u = 29,61kPa$ . Según la clasificación de los perfiles de suelos es un **Perfil Tipo S3: Suelos Blandos**.

### Parámetros de Sitio

Para suelos blandos tenemos los siguientes parámetros:

- **Factor de suelo** : 1.40
- **Periodo Tp** : 1.00
- **Periodo Tl** : 1.60

### 3.8.8.5 Categoría de Edificio

De acuerdo a la norma técnica E030-2018, cada estructura debe ser clasificada de acuerdo a la categoría de uso de la edificación, es de tipo **Edificaciones Importantes B**, ya que son lugares donde se reúnen gran cantidad de personas o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas.

La norma establece un factor de importancia **U=1.30**, que es el que se tomara para este análisis.

### 3.8.8.6 Coeficiente Básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas

Los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismo-resistente en cada dirección. De acuerdo a la clasificación de una estructura se elige un factor de reducción de la fuerza sísmica ( $R_o$ ). La norma E030-2018 menciona que cuando en la dirección de análisis, la edificación presente más de un sistema estructural, se tomará el menor coeficiente  $R_o$  que corresponda.

Es importante recalcar que esta edificación no usa el concreto o el acero como material principal, tampoco sus elementos estructurales como vigas, muros o arcos usan estos materiales. Tampoco estos elementos estructurales presentar una continuidad u homogeneidad de materiales ya que están formados por unidades o bloques de roca labrada unidos por medio de juntas de mortero.

#### A) En la dirección X

En la dirección de análisis X de la edificación, cuyo principal elementos estructural son los muros portantes, el sistema estructural que le corresponde es: **Estructuras de Albañilería**, que se define como *Edificaciones cuyos elementos sismorresistentes son muros a base de unidades de albañilería de arcilla o concreto*. En este caso la roca labrada reemplaza las unidades de concreto, funcionando de igual forma. Las columnas y arcos también estas formadas por albañilería. Le corresponde:

- $RO_X = 3$

#### B) En la dirección Y

Posee las mismas características que en la dirección X. Le corresponde:

- $RO_Y = 3$

### 3.8.8.7 Factores de Irregularidad

Los valores de los factores de irregularidad tanto en planta  $I_p$  y al altura  $I_a$  se muestran a continuación:

### Factor de irregularidad en altura en la dirección X

Irregularidad Geométrica Vertical.

$$I_{aX} = 0,90$$

### Factor de irregularidad en planta en la dirección X

Discontinuidad del Diafragma.

$$I_{pX} = 0,85$$

### Factor de irregularidad en altura en la dirección Y

Irregularidad Geométrica Vertical.

$$I_{aY} = 0,90$$

### Factor de irregularidad en planta en la dirección Y

Discontinuidad del Diafragma.

$$I_{pY} = 0,85$$

#### 3.8.8.8 Resumen de los parámetros sísmicos

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los parámetros sísmicos.

**Tabla 10:** Resumen de los parámetros sísmicos de la Catedral de Huamanga

Descripción	Símbolo	Tipo	Valor
Factor de zona	Z	Zona 2	0.25
Categoría de la edificación	U	B	1.3
Tipo de suelo	Símbolo	S3	1.4
Periodo, define al factor C	Tp		1
Periodo, define al factor C	Tl		1.6
Sistema Estructural (Dir. X)	Rox	Estructuras de Albañilería	3
Sistema Estructural (Dir. Y)	Roy	Estructuras de Albañilería	3
Factor de Irregularidad en altura (Dir. X)	Iax	Irregularidad Geométrica Vertical	0.9
Factor de Irregularidad en planta (Dir. X)	Ipx	Discontinuidad del Diafragma	0.85
Factor de Irregularidad en altura (Dir. Y)	Iay	Irregularidad Geométrica Vertical	0.9
Factor de Irregularidad en planta (Dir. Y)	Ipy	Discontinuidad del Diafragma	0.85

**Fuente:** Elaboración propia

#### 3.8.8.9 Espectro de diseño

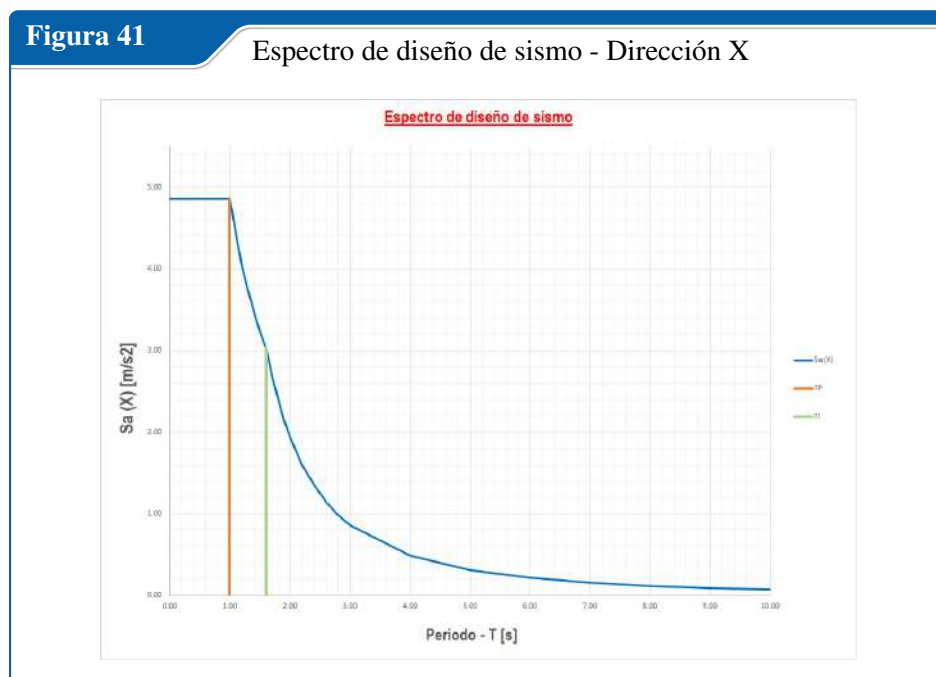
Para obtener la fuerza sísmica que actúa en cada nivel se deberá conocer la masa concentrada en cada nivel y su respectiva posición, también será necesario conocer la aceleración producido por el espectro en cada sentido de la edificación (Sax, Say)

### A) Aceleración espectral

El análisis sísmico se realiza por superposición espectral, generándose el espectro inelástico de respuesta.

Para la determinación del espectro inelástico de respuesta se usan los parámetros según el factor de zona, categoría de edificación, tipo de suelo y sistema estructural determinados en la tabla anterior, los cuales se encuentran especificados en la norma vigente de Diseño Sismorresistente E.030-2018.

$$S_a = \left( \frac{ZUCS}{R_O I_a I_p} \right)$$



**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 11:** Aceleraciones espectrales del distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, Departamento de Ayacucho

N°	T [S]	F [Hz]	Sa/g (X)	Sa (X) [m/s <sup>2</sup> ]	Sa/g (Y)	Sa (Y) [m/s <sup>2</sup> ]
1	0.0200	50.0000	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
2	0.0400	25.0000	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
3	0.0600	16.6667	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
4	0.0800	12.5000	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
5	0.1000	10.0000	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
6	0.1200	8.3333	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
7	0.1400	7.1429	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
8	0.1600	6.2500	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
9	0.1800	5.5556	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
10	0.2000	5.0000	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
11	0.2500	4.0000	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
12	0.3000	3.3333	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
13	0.3500	2.8571	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
14	0.4000	2.5000	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
15	0.4500	2.2222	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
16	0.5000	2.0000	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
17	0.5500	1.8182	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
18	0.6000	1.6667	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
19	0.6500	1.5385	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
20	0.7000	1.4286	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
21	0.7500	1.3333	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
22	0.8000	1.2500	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
23	0.8500	1.1765	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
24	0.9000	1.1111	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
25	0.9500	1.0526	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
26	1.0000	1.0000	0.4956	4.8623	0.4956	4.8623
27	1.1000	0.9091	0.4506	4.4202	0.4506	4.4202
28	1.2000	0.8333	0.4130	4.0519	0.4130	4.0519
29	1.3000	0.7692	0.3813	3.7402	0.3813	3.7402
30	1.4000	0.7143	0.3540	3.4730	0.3540	3.4730
31	1.5000	0.6667	0.3304	3.2415	0.3304	3.2415
32	1.6000	0.6250	0.3098	3.0389	0.3098	3.0389
33	1.7000	0.5882	0.2744	2.6919	0.2744	2.6919
34	1.8000	0.5556	0.2448	2.4011	0.2448	2.4011
35	1.9000	0.5263	0.2197	2.1550	0.2197	2.1550
36	2.0000	0.5000	0.1983	1.9449	0.1983	1.9449
37	2.2000	0.4545	0.1638	1.6074	0.1638	1.6074
38	2.4000	0.4167	0.1377	1.3506	0.1377	1.3506
39	2.6000	0.3846	0.1173	1.1508	0.1173	1.1508
40	2.8000	0.3571	0.1012	0.9923	0.1012	0.9923
41	3.0000	0.3333	0.0881	0.8644	0.0881	0.8644
42	4.0000	0.2500	0.0496	0.4862	0.0496	0.4862
43	5.0000	0.2000	0.0317	0.3112	0.0317	0.3112
44	6.0000	0.1667	0.0220	0.2161	0.0220	0.2161
45	7.0000	0.1429	0.0162	0.1588	0.0162	0.1588
46	8.0000	0.1250	0.0124	0.1216	0.0124	0.1216
47	9.0000	0.1111	0.0098	0.0960	0.0098	0.0960
48	10.0000	0.1000	0.0079	0.0778	0.0079	0.0778

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 42**

Espectro de diseño de sismo - Dirección Y



Fuente: Elaboración Propia

### 3.8.8.10 OTRAS CARGAS

Existen varios tipos de carga que afectan a la estructura además de las cargas sísmicas que acabamos de presentar, entre las otras cargas existentes tenemos las carga estáticas de: cargas muertas (peso propio, cargas permanentes) y cargas vivas. Haremos un breve análisis de cada uno de ellos.

### 3.8.8.11 Cargas muerta

Se ha utilizado el programa Ansys Workbench 2023 R1 en donde las cargas de peso propio de materiales utilizados, ya qse tienen en cuenta internamente, para cada material existe una densidad que el programa reconoce, y aplica en función de la geometría del elemento.

#### Peso propio

Es la carga debida al peso de los elementos resistentes definidos en la estructura de la edificación. Estas cargas presentan una magnitud y posición constante a lo largo del tiempo, salvo el caso de reforma del edificio.

La determinación del peso propio de un cuerpo homogéneo se realizó, en general, multiplicando su volumen por su peso específico aparente. Para el análisis estructural de esta edificación estos cálculos se han realizado con el software Ansys Workbench 2023 R1. Con respecto al peso específico aparente para los materiales de construcción empleados, se han tomado los valores consignados en la seccción 3.8.6 y 3.8.7.

### Cargas permanentes

Son cargas asignadas a la estructura debido a los pesos de todos los elementos constructivos, instalaciones fijas, etc., que soporta el elemento, al igual que el peso propio presentan una magnitud y posición constante a lo largo del tiempo, salvo el caso de reforma del edificio.

**Tabla 12:** Cargas permanentes asignadas

Descripción	Carga [kgf/m <sup>2</sup> ]
<b>Cobertura de techo</b>	
Peso cobertura	160
Peso yeso+carrizo	25
Rollizos	55

**Fuente:** Condori Cañahuaray (2022)

#### 3.8.8.12 Cargas Vivas

Son las cargas cuya magnitud y/o posición son variables a lo largo del tiempo. En la tabla siguiente se muestran las sobrecargas asignadas a la estructura según la normativa vigente.

**Tabla 13:** Sobrecargas asignadas

Descripción	Carga [kPa (Kgf/m <sup>2</sup> )]
<b>Cobertura de techo</b>	
Carga viva techo	100

**Fuente:** Condori Cañahuaray (2022)

#### 3.8.8.13 Carga total

En la tabla siguiente se muestra las cargas de peso propio, permanentes, tabiquerías y sobrecargas en cada nivel calculados con respecto al área que ocupan en la edificación. El área que ocupa la cobertura de techo de la Catedral de Huamanga esta representada en el plano C-05 **NIVEL DE TECHO** y tiene un valor de 1720.85 m<sup>2</sup>.

**Tabla 14:** Carga total calculados

Descripción	Peso propio (P.P) [tnf]	Permanentes [tnf]	CM [tnf]	CV [tnf]	Total [tnf]
Cobertura de techo	*Calculo automático software	413.00	413.00 + P.P.	172.09	585.089 + P.P

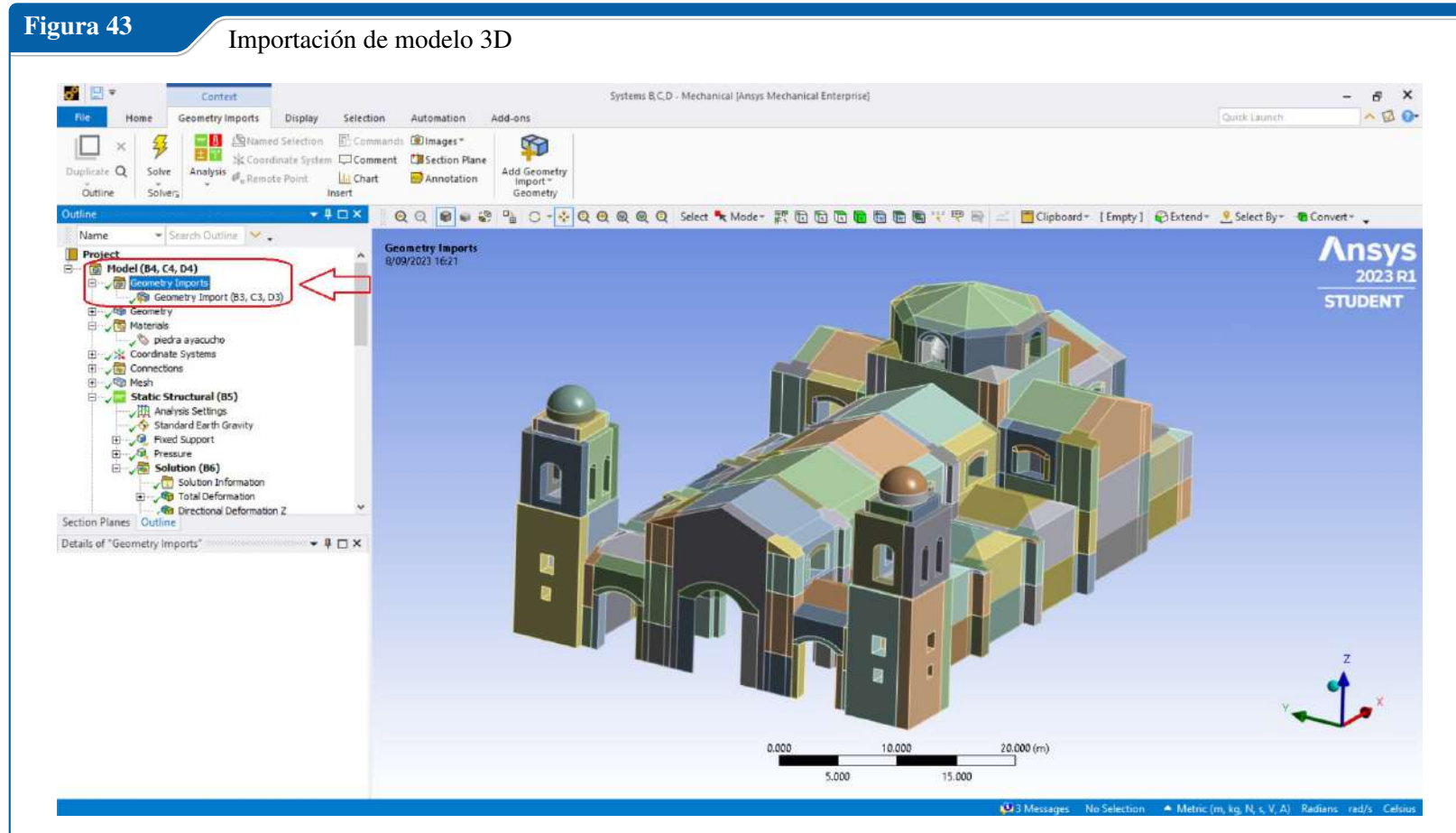
**Fuente:** Elaboración propia

### 3.8.9 Ejecutar el análisis

El cálculo mediante elementos finitos que se realizó con el software *Ansys Workbench 2023 R1* se presenta detalladamente en los anexos con el nombre de **ANEXO E “Memoria de Cálculo Estructural de la Catedral de Huamanga”** - ???. En esta se puede observar todos los procesos y datos numéricos que se usó en el cálculo del desempeño sísmico aplicado a la edificación colonial en un reporte proporcionado por el mismo software. En esta sección nos limitaremos a mostrar a grandes rasgos el proceso que se siguió en el ingreso de datos, importación de modelos, enmallado en 3D, aplicación de cargas, análisis estáticos, modales y dinámicos mediante los espectros de respuesta hasta la obtención y presentación de los resultados en forma de esfuerzos y deformaciones que producen los movimientos sísmicos.

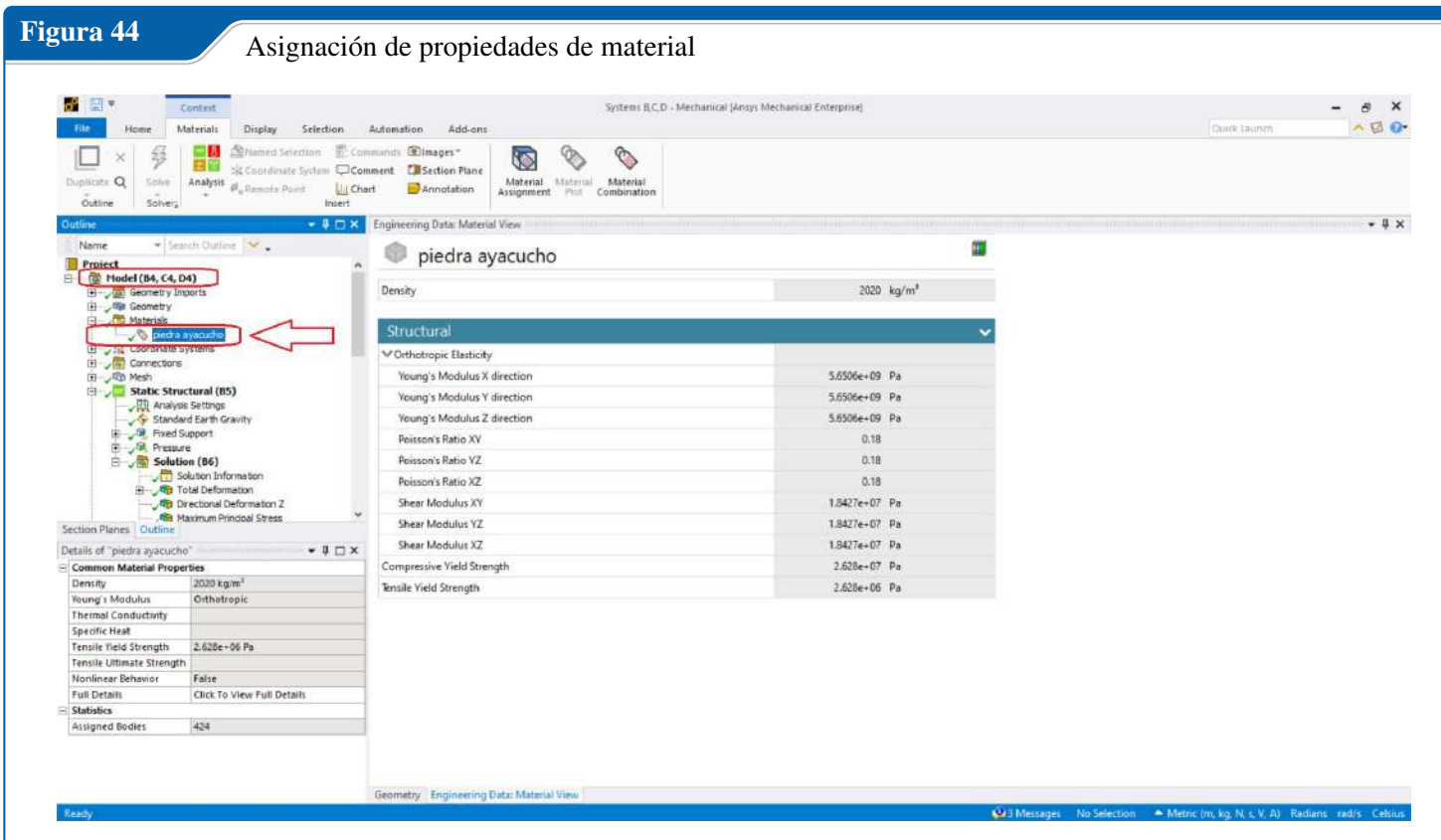
Las etapas para el cálculo mediante software son las siguientes:

1. Para iniciar se debe importar el modelo que diseñamos en *Autodesk Revit 2023*, que previamente exportamos en formato .sat con el nombre de “catedral.sat”. Este archivo es compatible con *Ansys Workbench 2023 R1* en este formato .sat, no así en el formato original .rvt. A partir de este modelo realizamos en cálculo estructural.



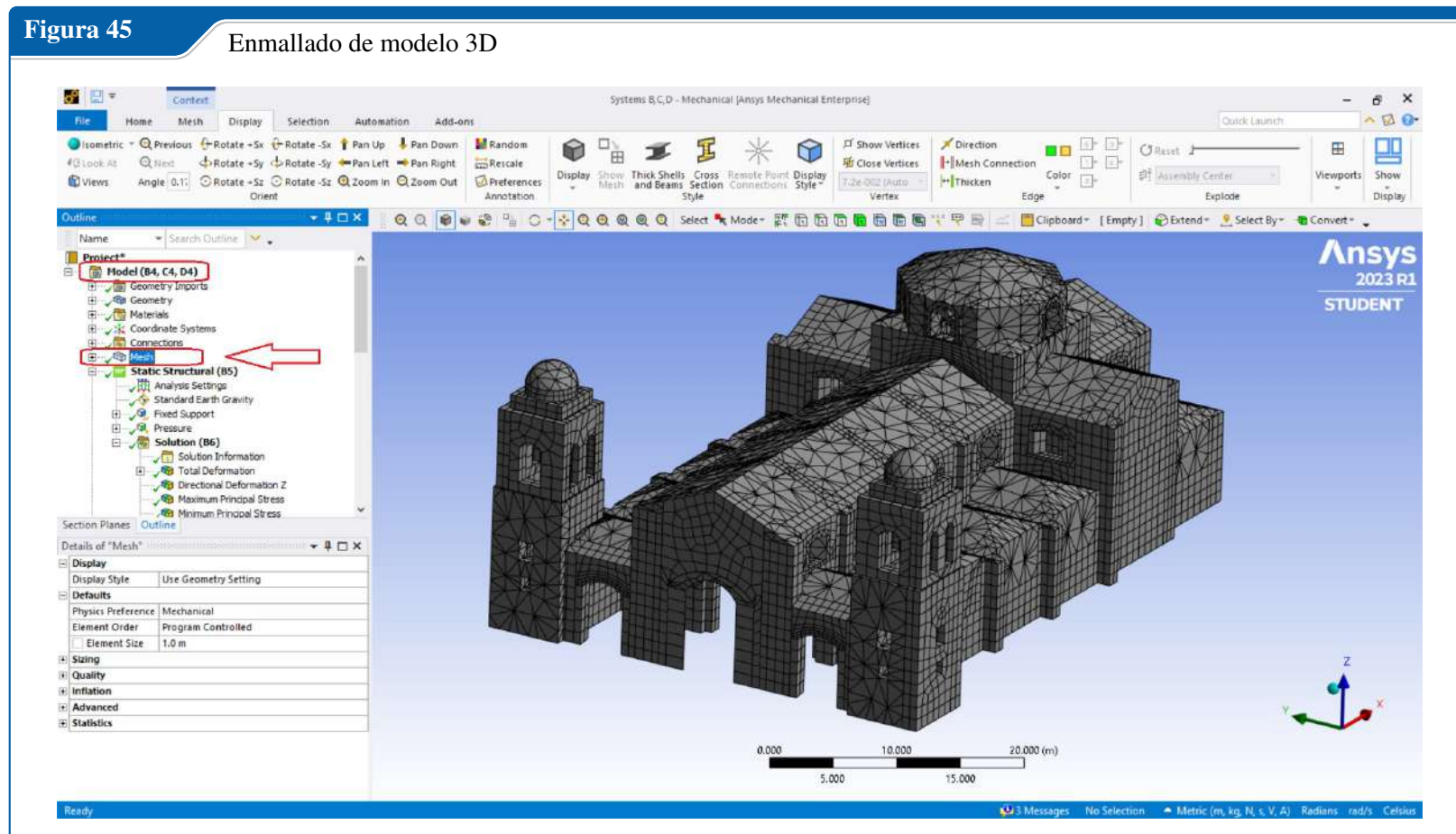
Fuente: Elaboración Propia

2. Luego procedemos a asignar los valores de las propiedades físico-mecánicas a un material designado como “piedra ayacucho” el cual conforma toda la estructura de albañilería de roca y mortero. Estas propiedades se asignan bajo la condición de “material ortotrópico” en la cual las propiedades elásticas difieren de los materiales isotrópicos, debido a que las elasticidades en los módulos de Young y módulo de corte no guardan una proporción a través de coeficiente de Poisson. Esto se debe a que el módulo de Young pertenece a la roca y el módulo de corte a la junta de albañilería con mortero.



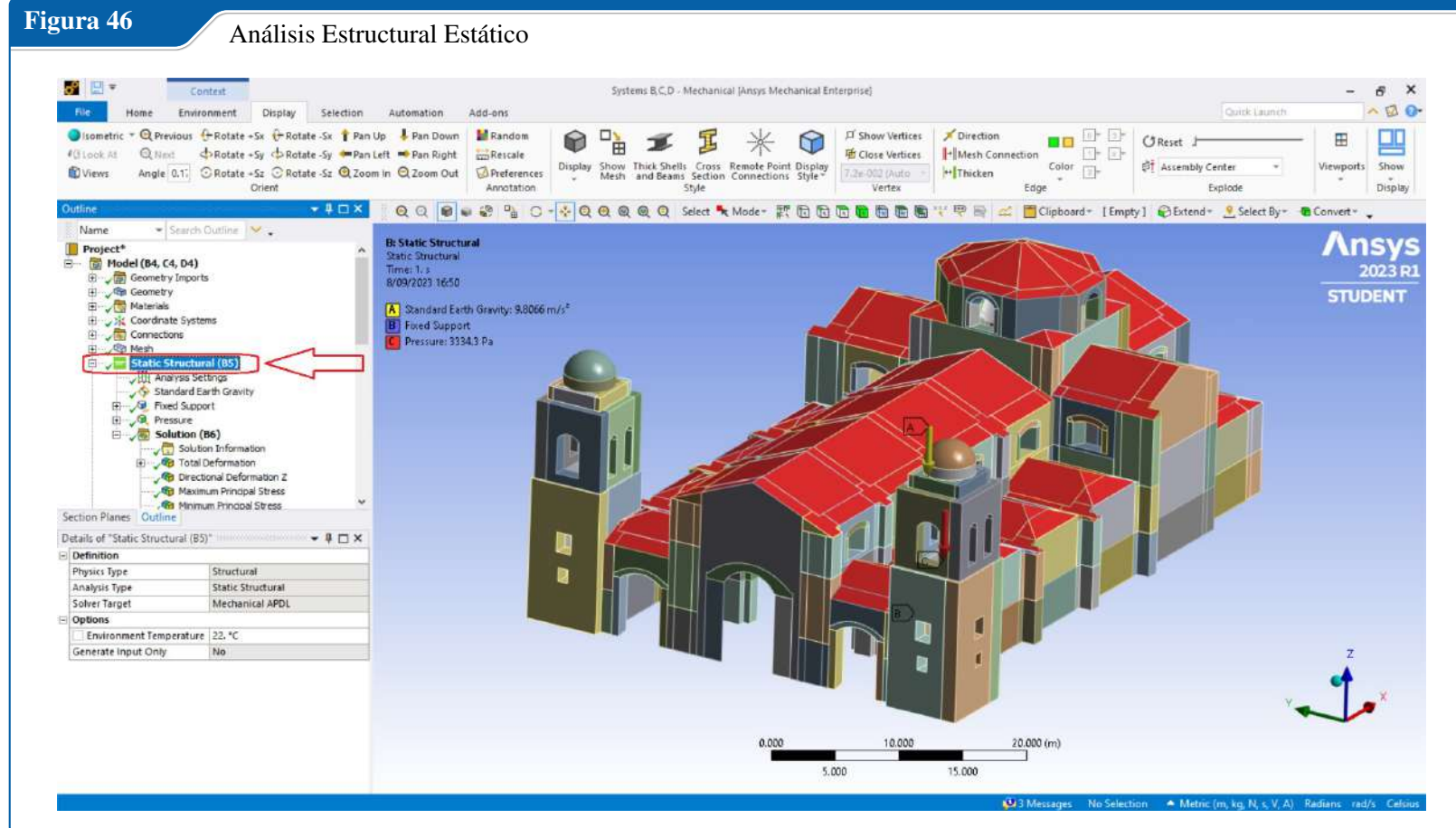
Fuente: Elaboración Propia

3. A continuación se realiza el enmallado o “meshing” el cual consiste en dividir el modelo 3d en cuerpos triangulares en cada uno de los cuales se realizaron los cálculos estructurales. En esto consiste los elementos finitos, por lo cual a mayor cantidad de elementos de enmallado más real el comportamiento. En nuestro caso se realizó el enmallado con un criterio de 0.1 m de tamaño para los elementos.



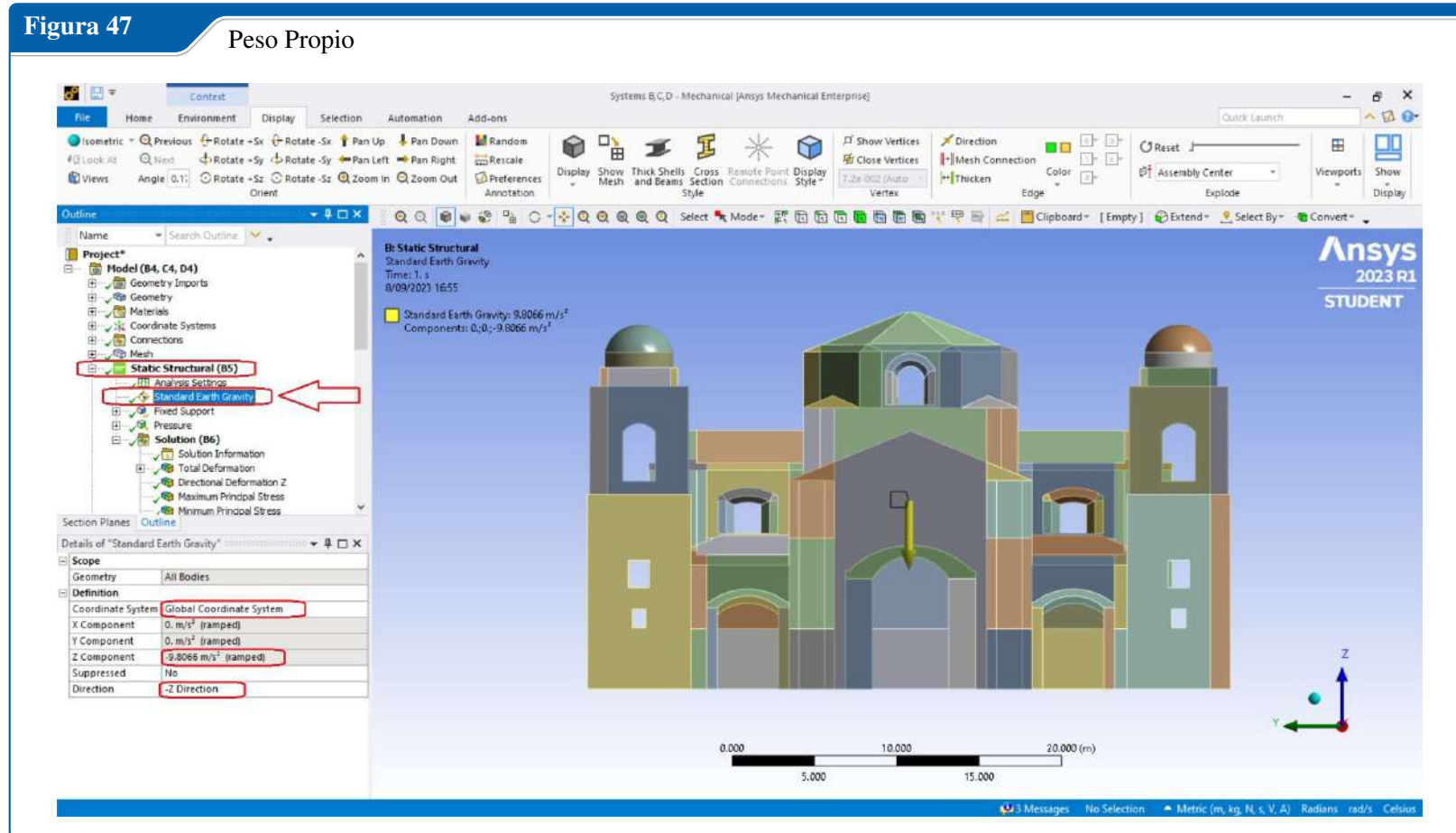
Fuente: Elaboración Propia

- Después de colocar la información de ingreso o inputs se procede a la configuración de la sección de análisis estructural estático que se encuentra bajo el nombre de “Static structural”.



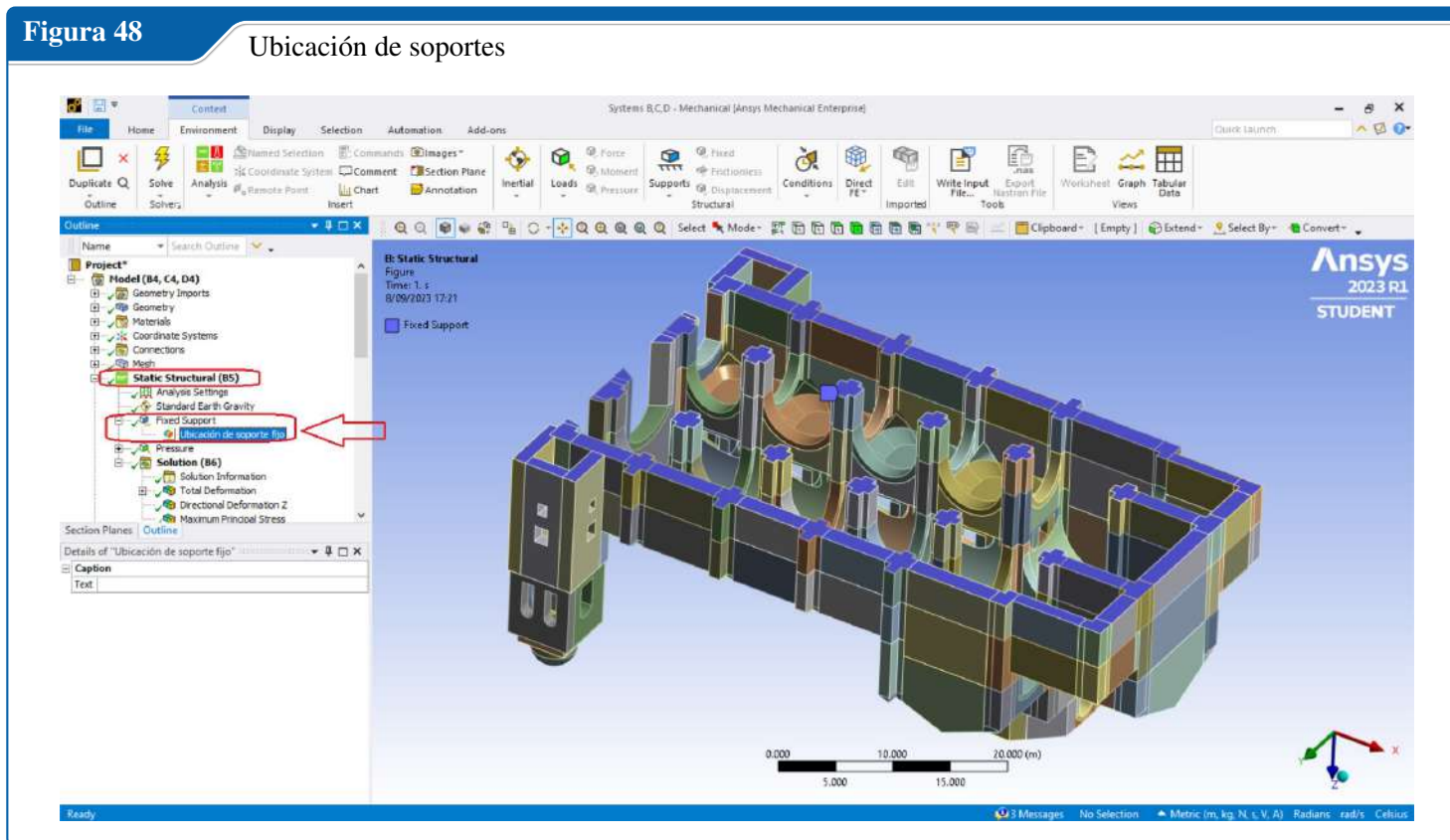
Fuente: Elaboración Propia

- En “static structural” se aplican las cargas gravitacionales que están relacionadas al gravedad y la densidad del material, que originaran las cargas por peso propio de la edificación existente. La vertical del sistema de coordenadas se encuentra en el eje Z y la gravedad esta en dirección -Z.



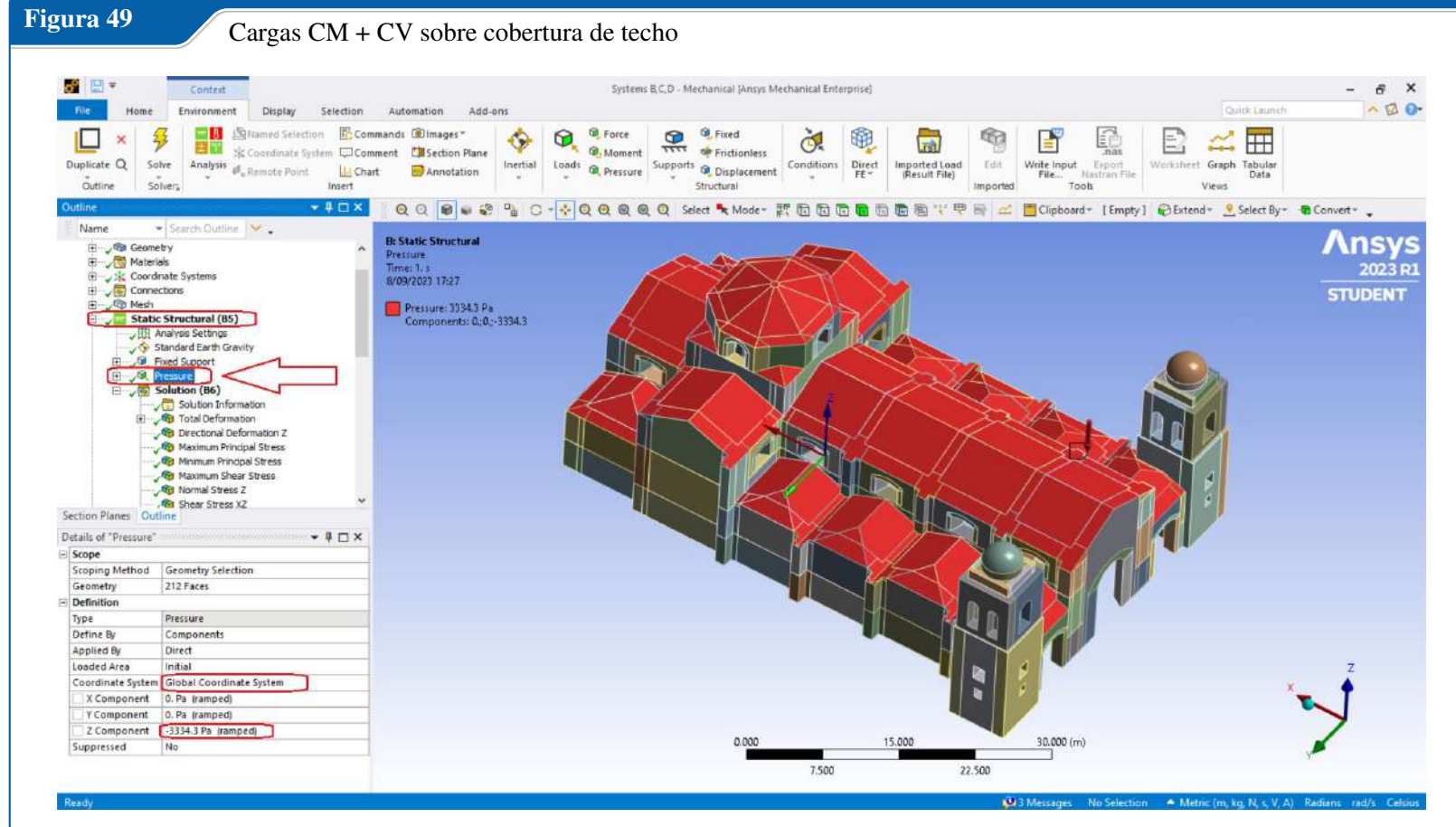
Fuente: Elaboración Propia

6. Seguidamente, en el mismo apartado, ubicamos las bases de los soportes fijos (empotrados) de las columnas así como los muros estructurales de albañilería. Por lo que los apoyos donde se asientan estos elementos cubren áreas de piso de grandes dimensiones representados por largos y anchos espacios de soporte fijo (empotrado). Los apoyos se consideran a nivel de piso terminado, debido a que no existen zapatas ni losas de cimentación debido a que la estructura se asienta sobre “cimientos corridos” coloniales excavados inmediatamente bajo la profundidad de los muros y columnas.



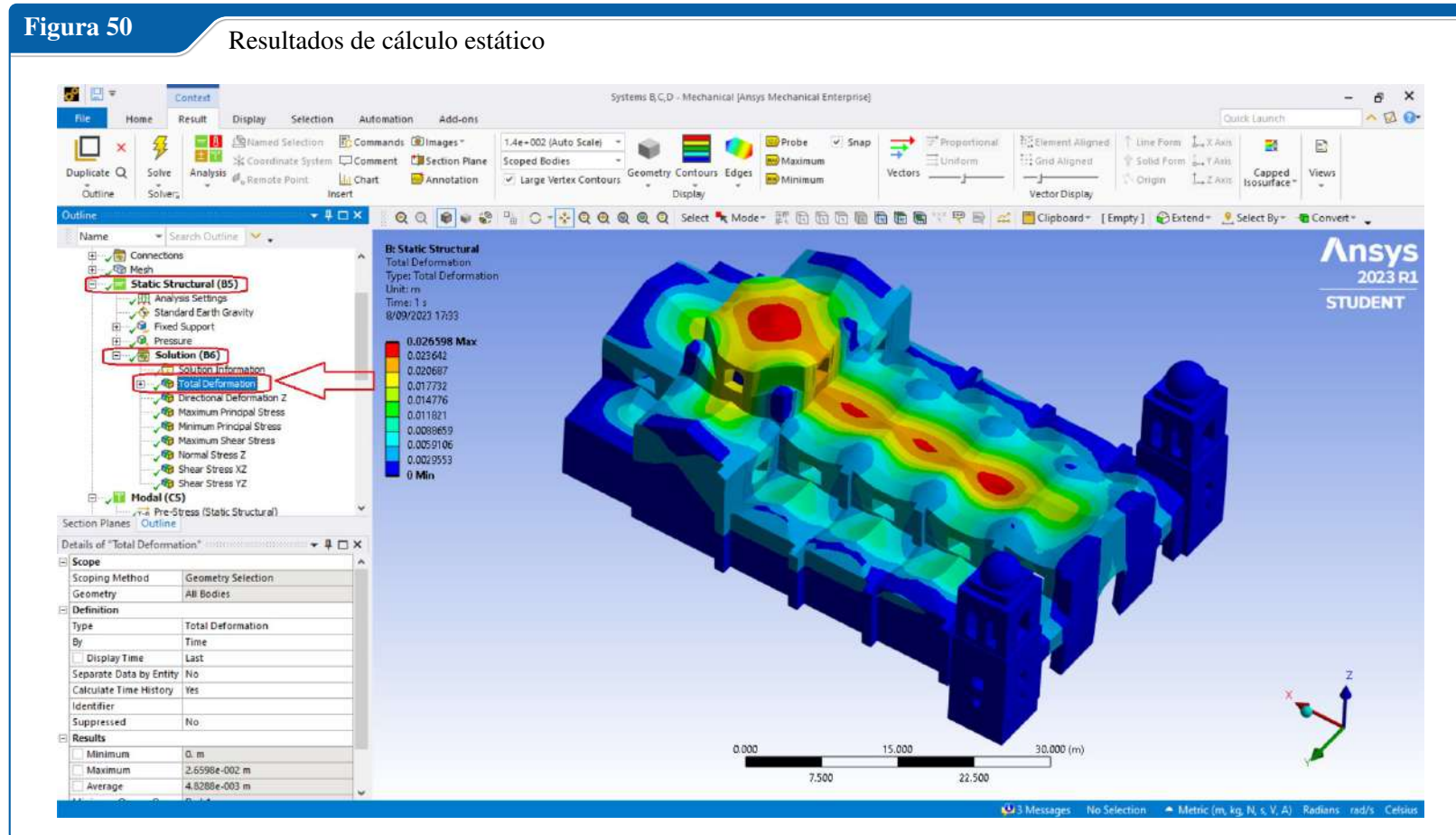
**Fuente:** Elaboración Propia

- Se asignan las cargas distribuidas por área (Kgf/cm<sup>2</sup>) provenientes de las sobrecargas (C.V.) y las cargas permanentes (C.M.) sobre la cobertura de techo de la catedral. Esta se representa como una carga tipo presión que es aplicada en dirección -Z (gravedad) de la vertical.



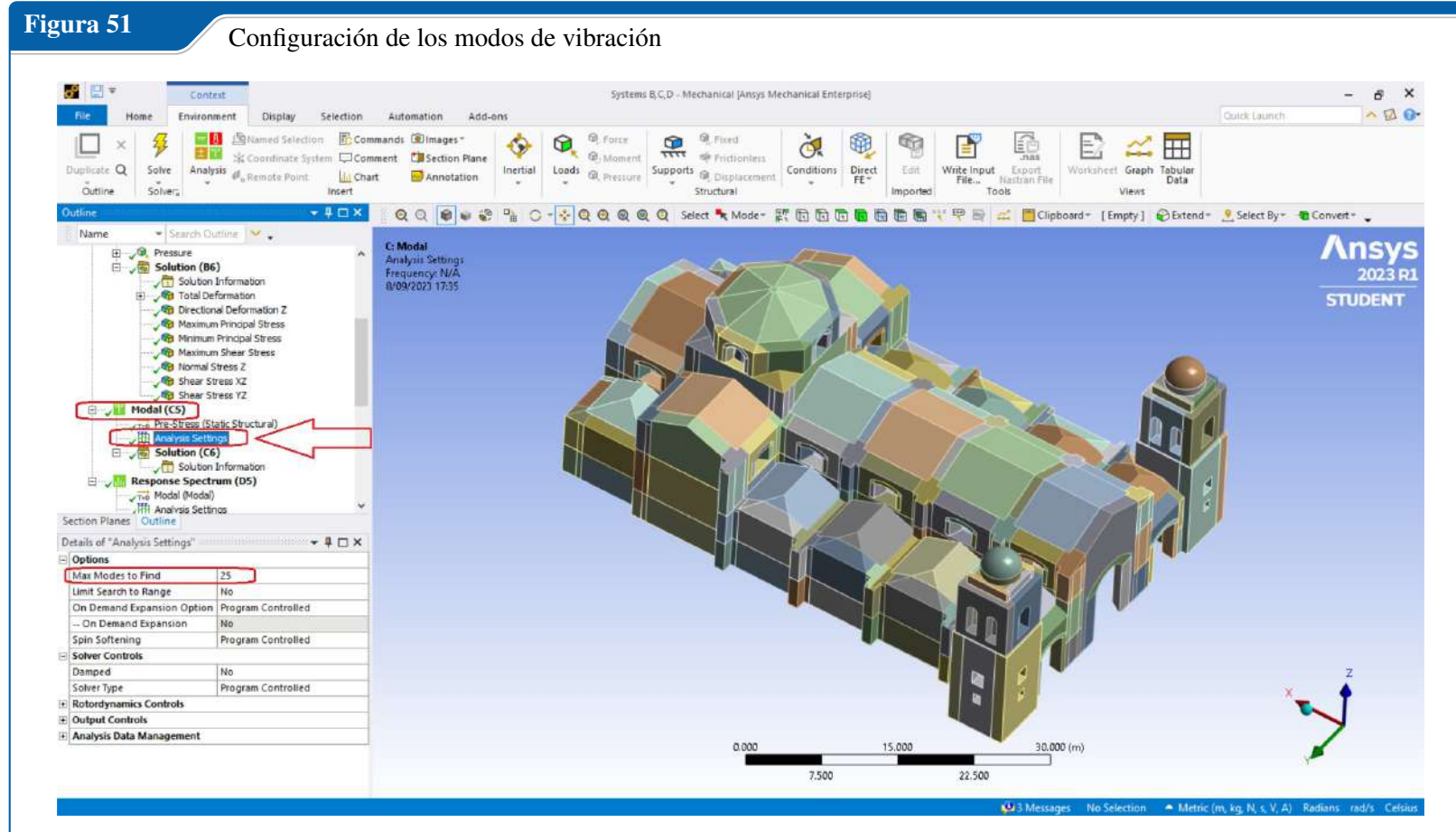
Fuente: Elaboración Propia

8. Visualización de los resultados en deformaciones en el eje Z del cálculo estático estructural producidos por las cargas de Peso propio, cargas permanentes (C.M.) y sobrecargas (C.V.).



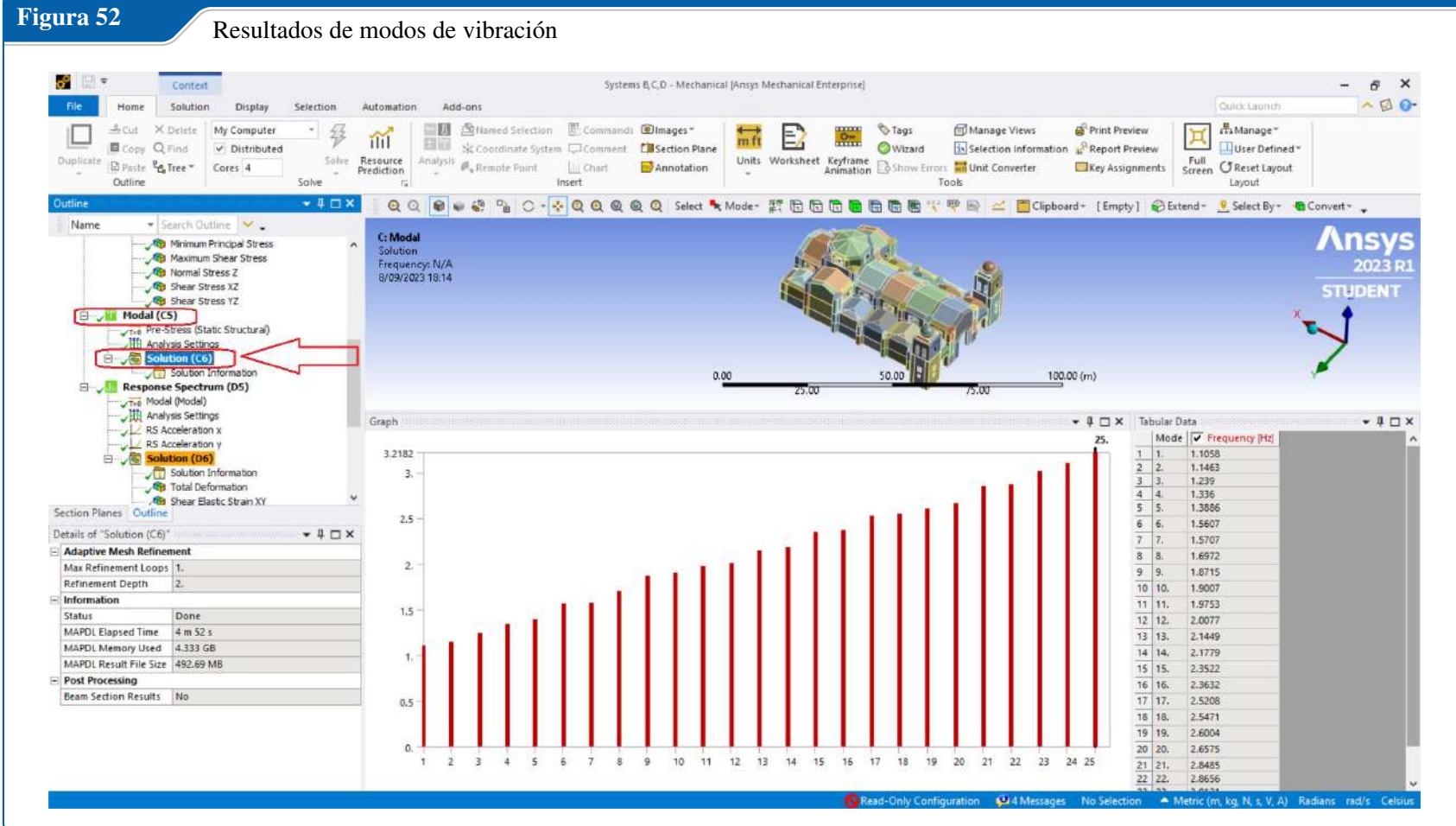
Fuente: Elaboración Propia

9. Cálculo de los modos de vibración de la estructura mediante el método de elementos finitos, en la sección denominada “Modal”, consideramos una cantidad de 50 modos de vibración como muestra representativa suficiente del desempeño de la forma característica en el que vibrará la edificación.



Fuente: Elaboración Propia

10. Resultados de los cálculos de los modos de vibración representados en Hertz (Hz).

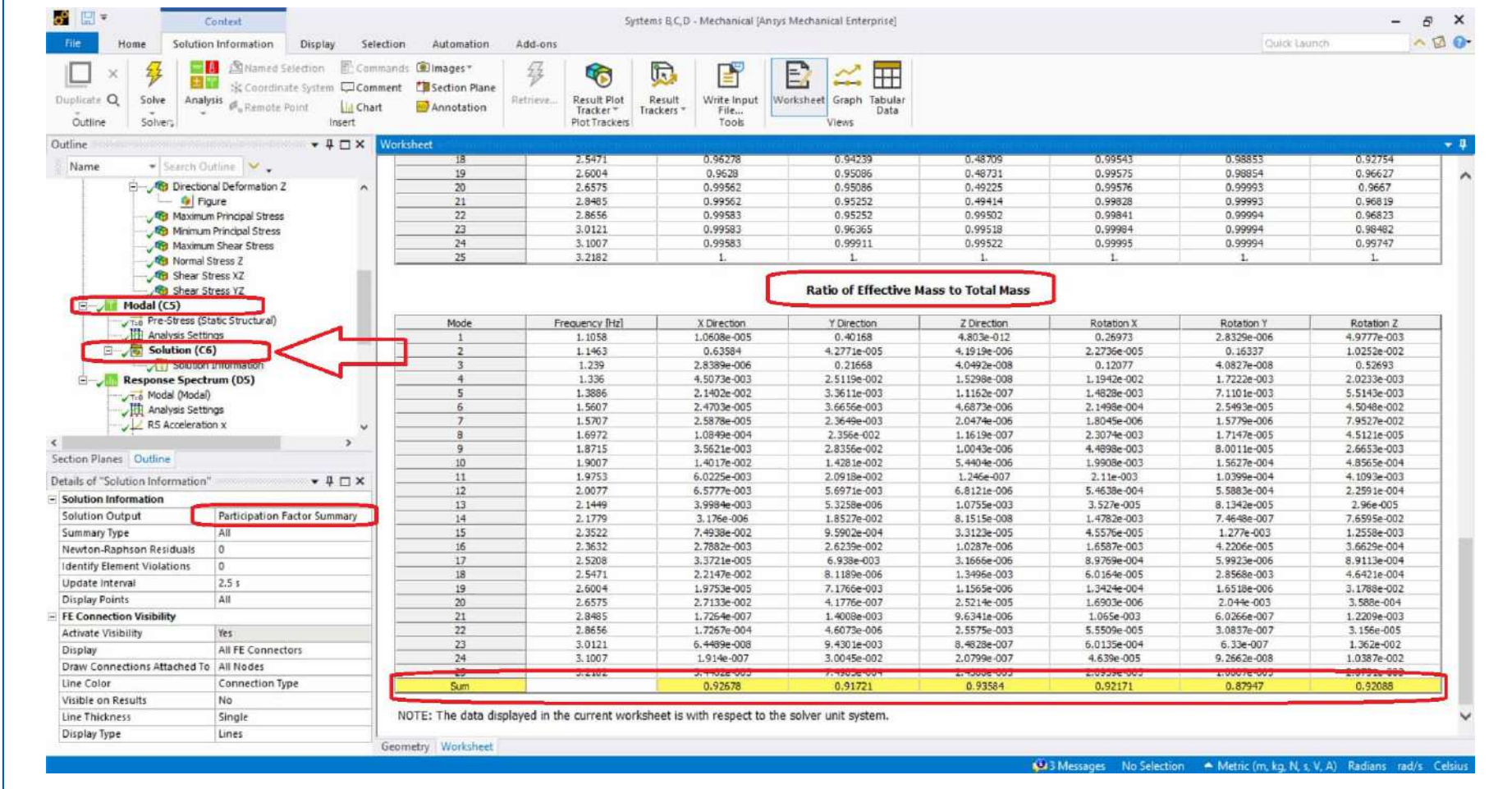


Fuente: Elaboración Propia

11. Esta tabla se puede ver en la información de la solución, se eligió el resumen de la relación entre masa efectiva y masa total. Dependiendo de los estándares de la industria, el número mínimo de modos a ejecutar en un análisis modal depende del porcentaje de participación masiva. Obtener una participación masiva promedio del 80-90 % o más en los 6 grados de libertad (Desplazamiento X, Desplazamiento Y, Desplazamiento Z, Rotación X, Rotación Y, Rotación Z) es importante para obtener resultados precisos de un análisis de vibraciones. Por lo tanto, deberíamos extraer tantos modos para que nuestra relación entre masa efectiva y masa total sea mayor que aproximadamente 0,9 para las direcciones de interés. Este es un número común y se usa a menudo en algunos códigos estructurales que tratan con el diseño sísmico de estructuras, por lo que debemos incluir suficientes modos para lograr esta proporción. Entonces deberías solicitar tantos modos como sean suficientes para movilizar una masa modal acumulada del 80-90%. Todo lo mencionado anteriormente lo encontramos en el manual *Ansys Workbench User's Guide*.

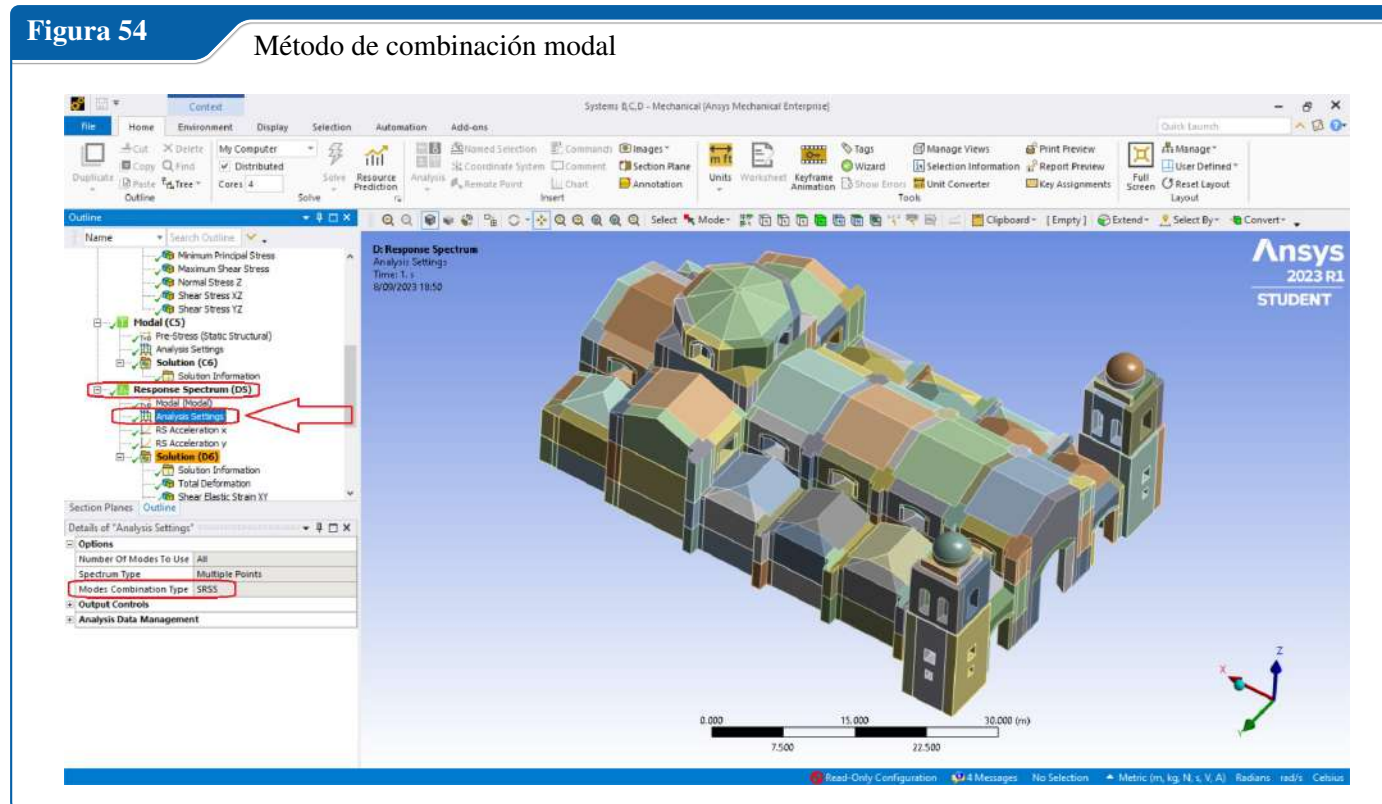
Figura 53

Relación entre masa efectiva y masa total



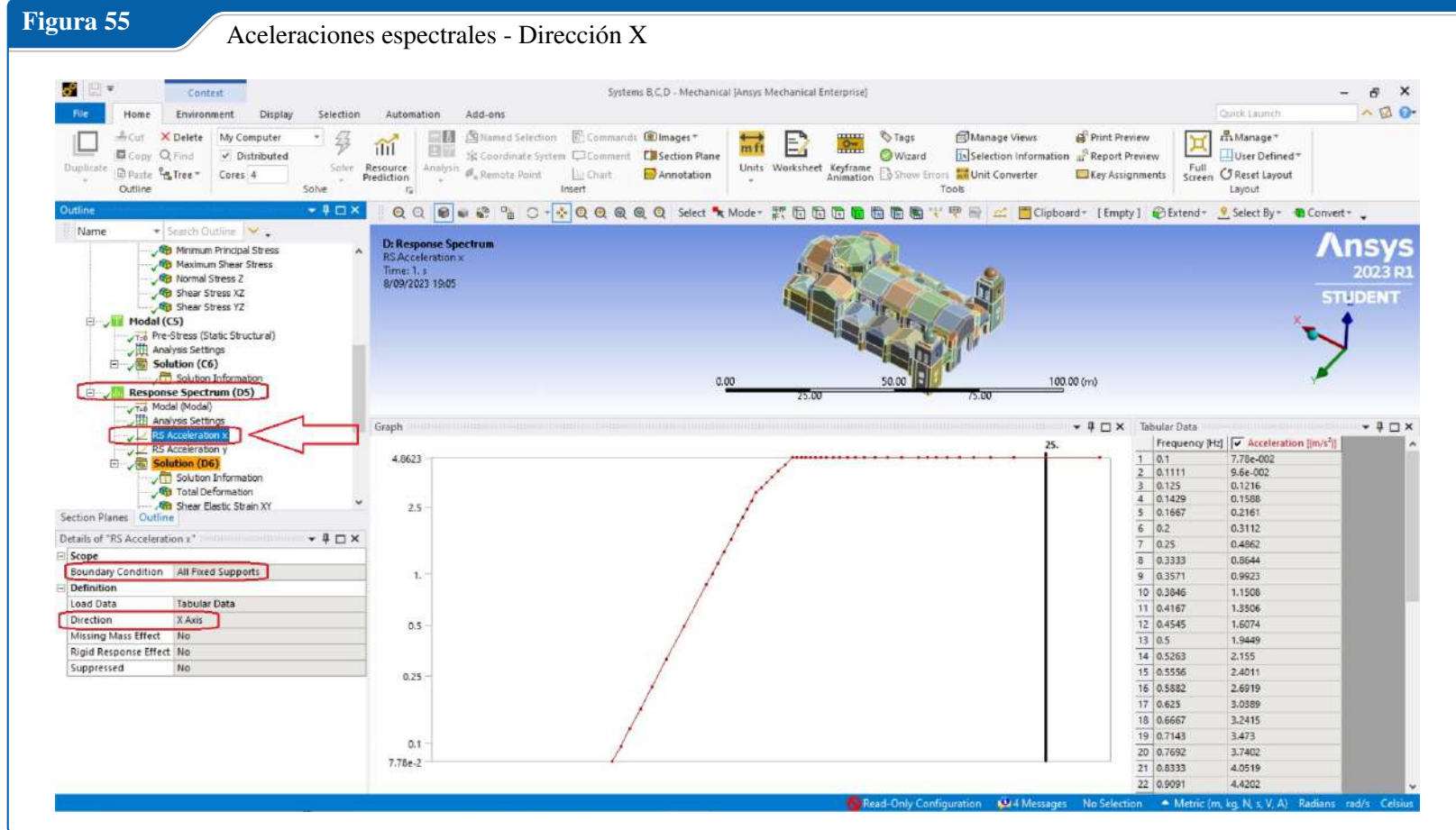
Fuente: Elaboración Propia

12. En el apartado “Response Spectrum” o espectro de respuesta aplicaremos las normas de la R.N.E. en la sección E.030, que emplea el análisis dinámico modal espectral, sin embargo, en la configuración de este apartado usamos el método de combinación modal denominado SRSS (Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados) en lugar de CQC(Combinación cuadrática completa) que sugiere la norma. Sin embargo no se puede aplicar dicho método porque en este caso concreto el software solicita información de amortiguamiento de la estructura, la cual no esta contemplada en este estudio. El método SRSS es válido de igual manera.



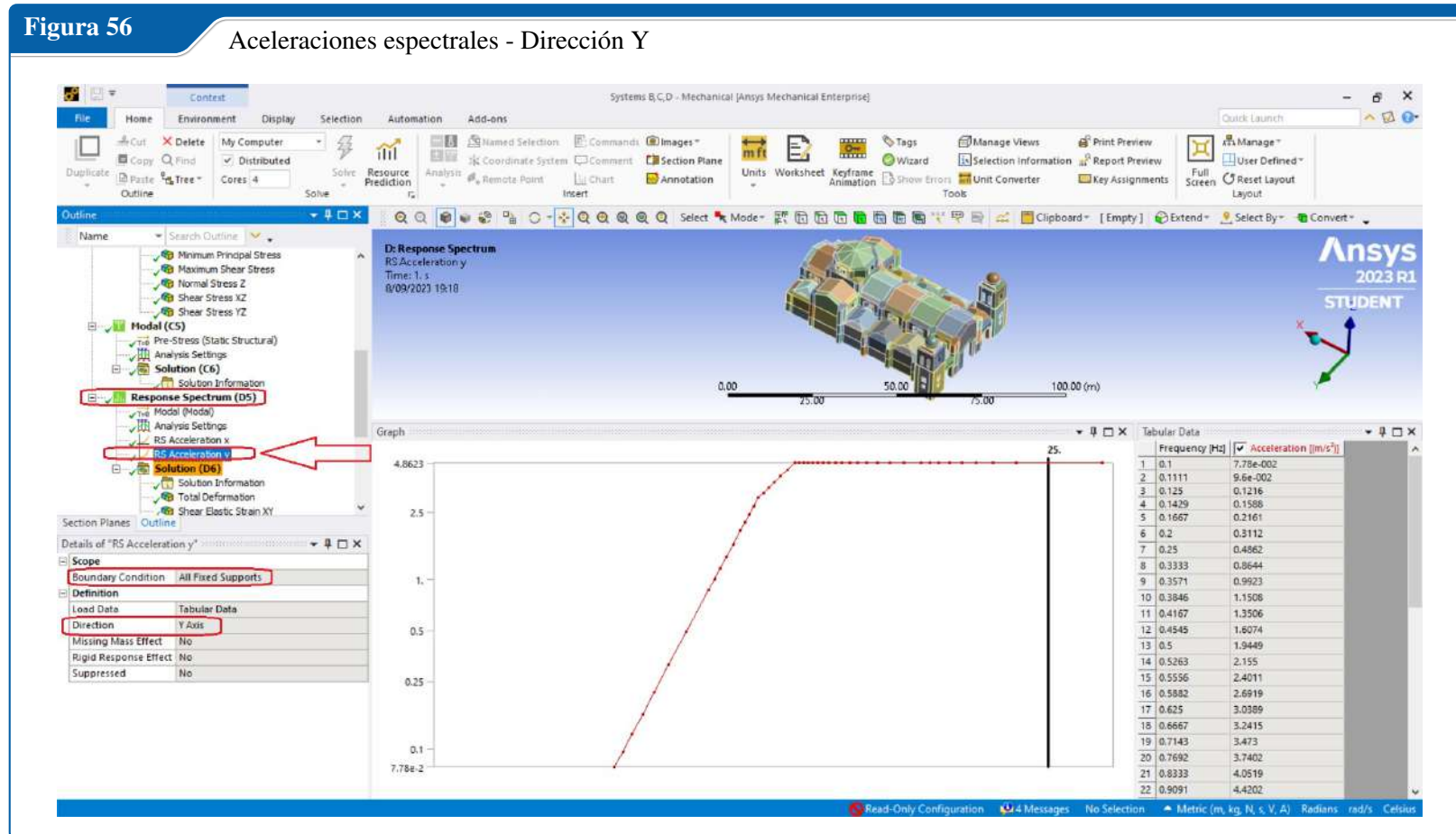
Fuente: Elaboración Propia

13. Continuando con la configuración asignamos los valores de la tabla de aceleraciones espectrales de diseño sísmico, obtenidos anteriormente en otra sección, en las dirección X.



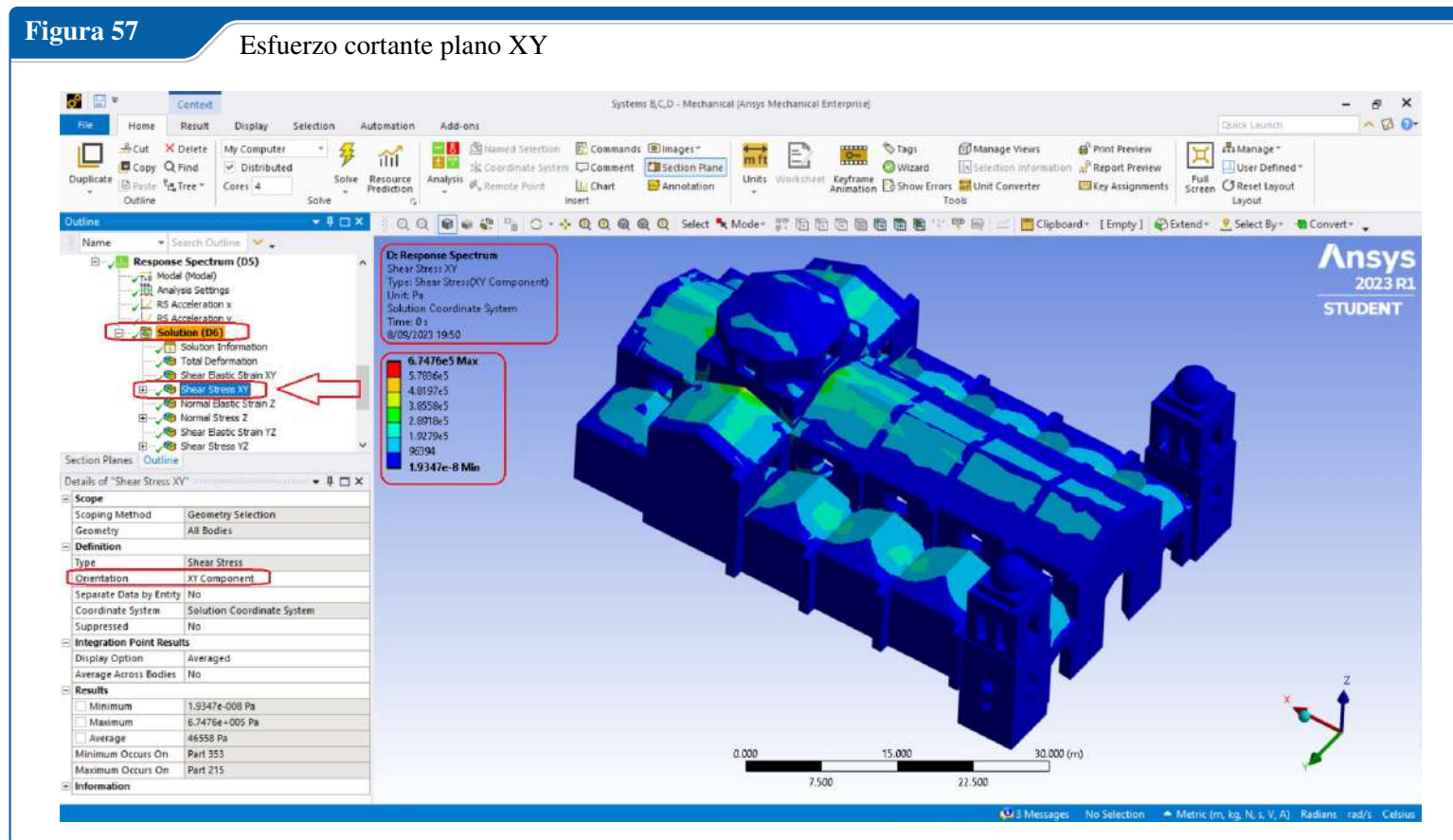
Fuente: Elaboración Propia

14. Igual que antes, asignamos los valores de la tabla de aceleraciones espectrales de diseño sísmico, obtenidos anteriormente en otra sección, en las dirección Y.



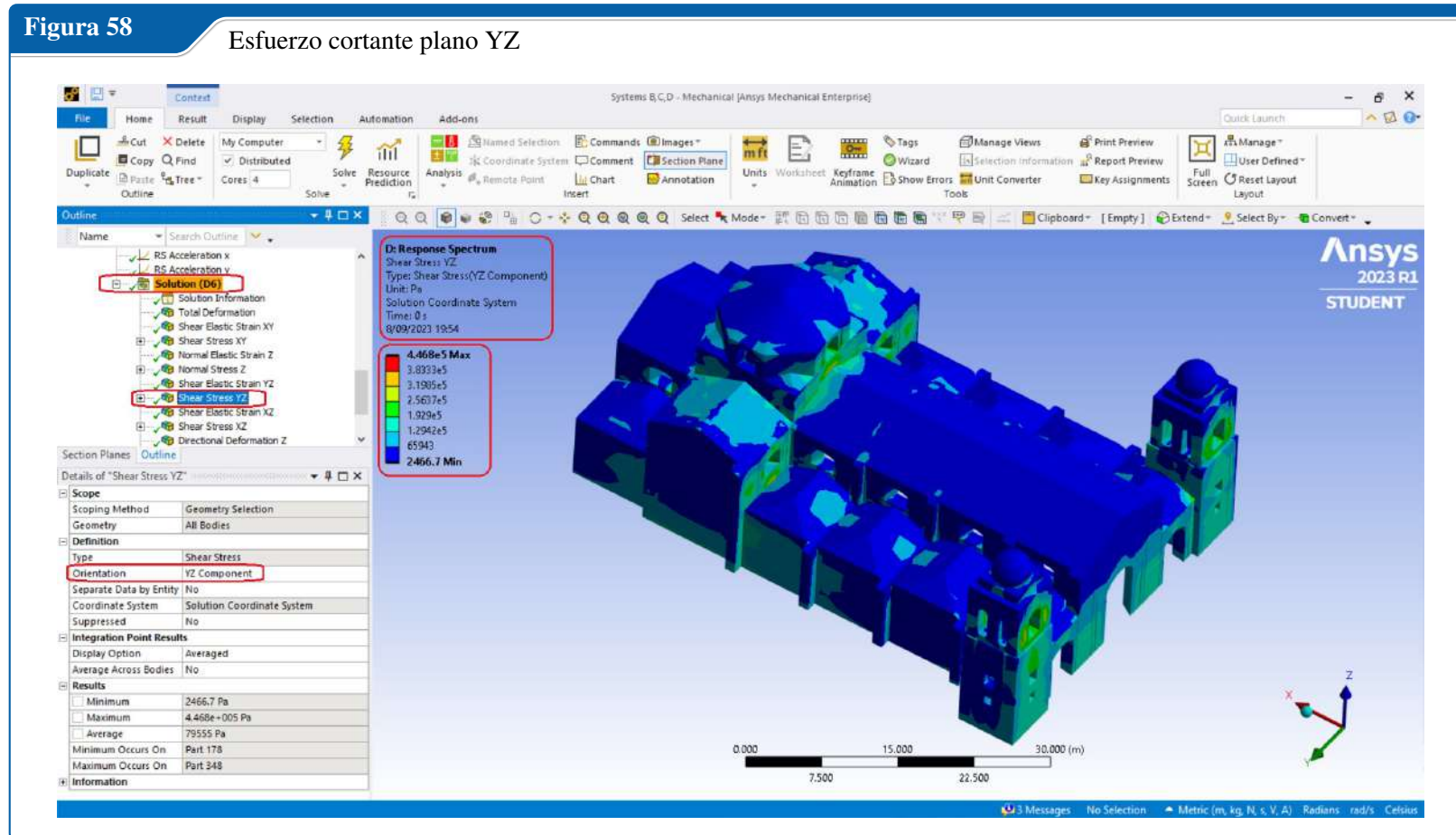
Fuente: Elaboración Propia

15. A continuación podemos observar los resultados de los cálculos en el análisis dinámico modal espectral en la sección “Response Spectrum”, observamos el esfuerzo de corte producido en el plano XY. Podemos observar al lado derecho también los valores máximos y mínimos así como las unidades en que se muestran.



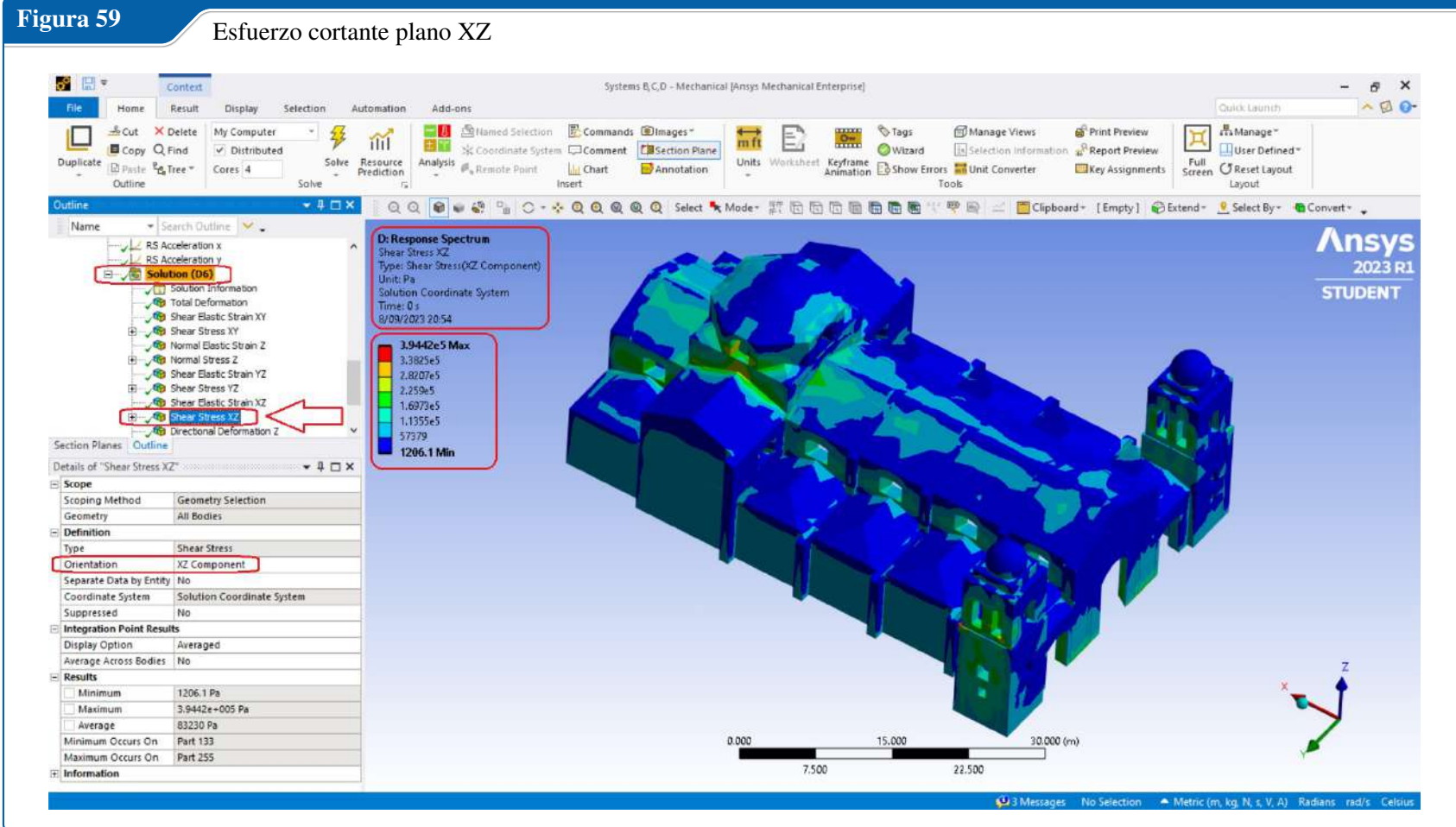
Fuente: Elaboración Propia

16. Al igual que el ítem anterior observamos esfuerzo cortante en el plano YZ, los valores máximos y mínimos así como las unidades en que se muestran.



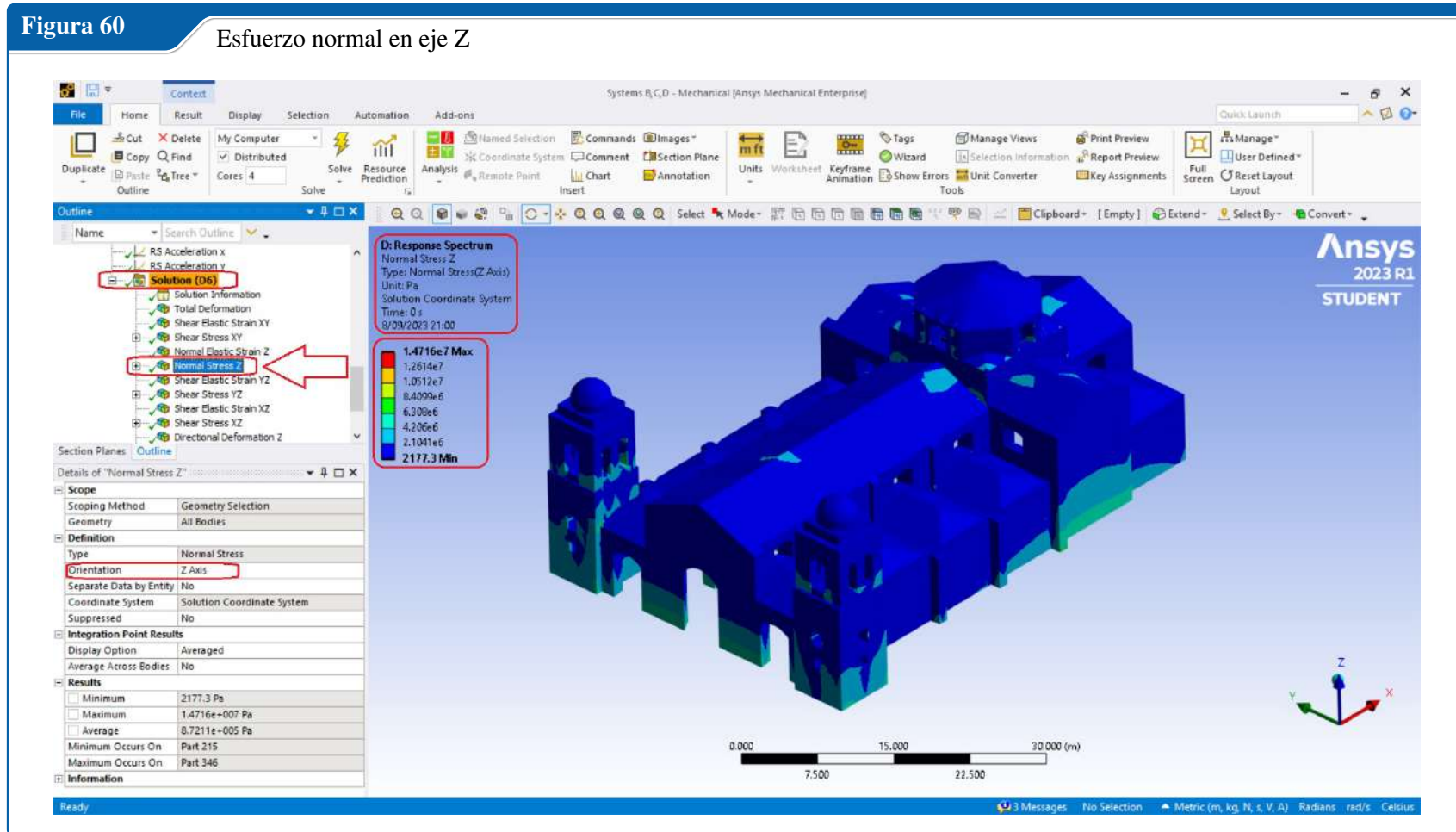
Fuente: Elaboración Propia

17. Observamos esfuerzo cortante en el plano XZ, los valores máximos y mínimos así como las unidades en que se muestran.



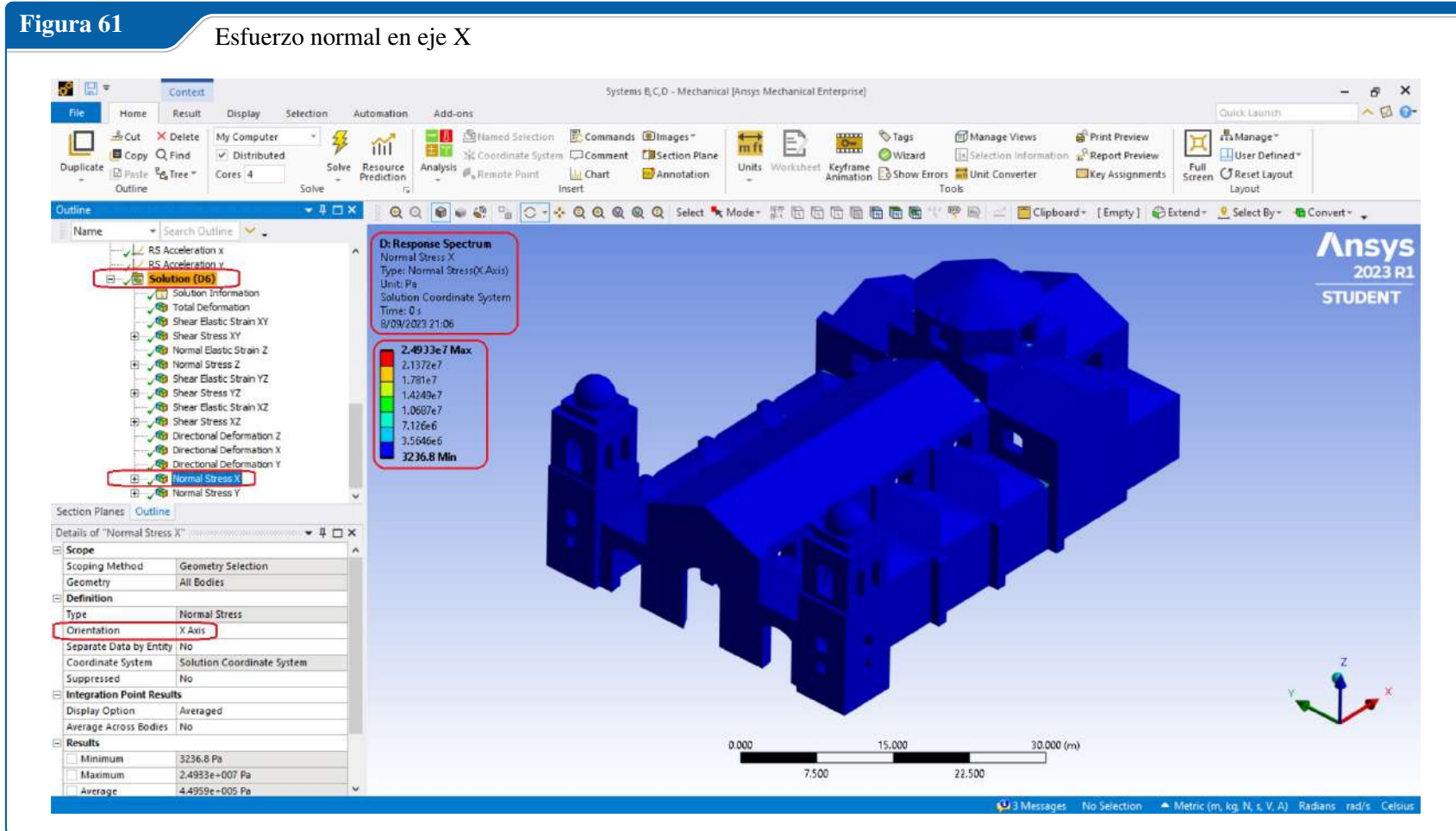
Fuente: Elaboración Propia

18. Resultados muestran los esfuerzos normales en el eje Z, así como los valores máximos y mínimos junto con sus unidades.



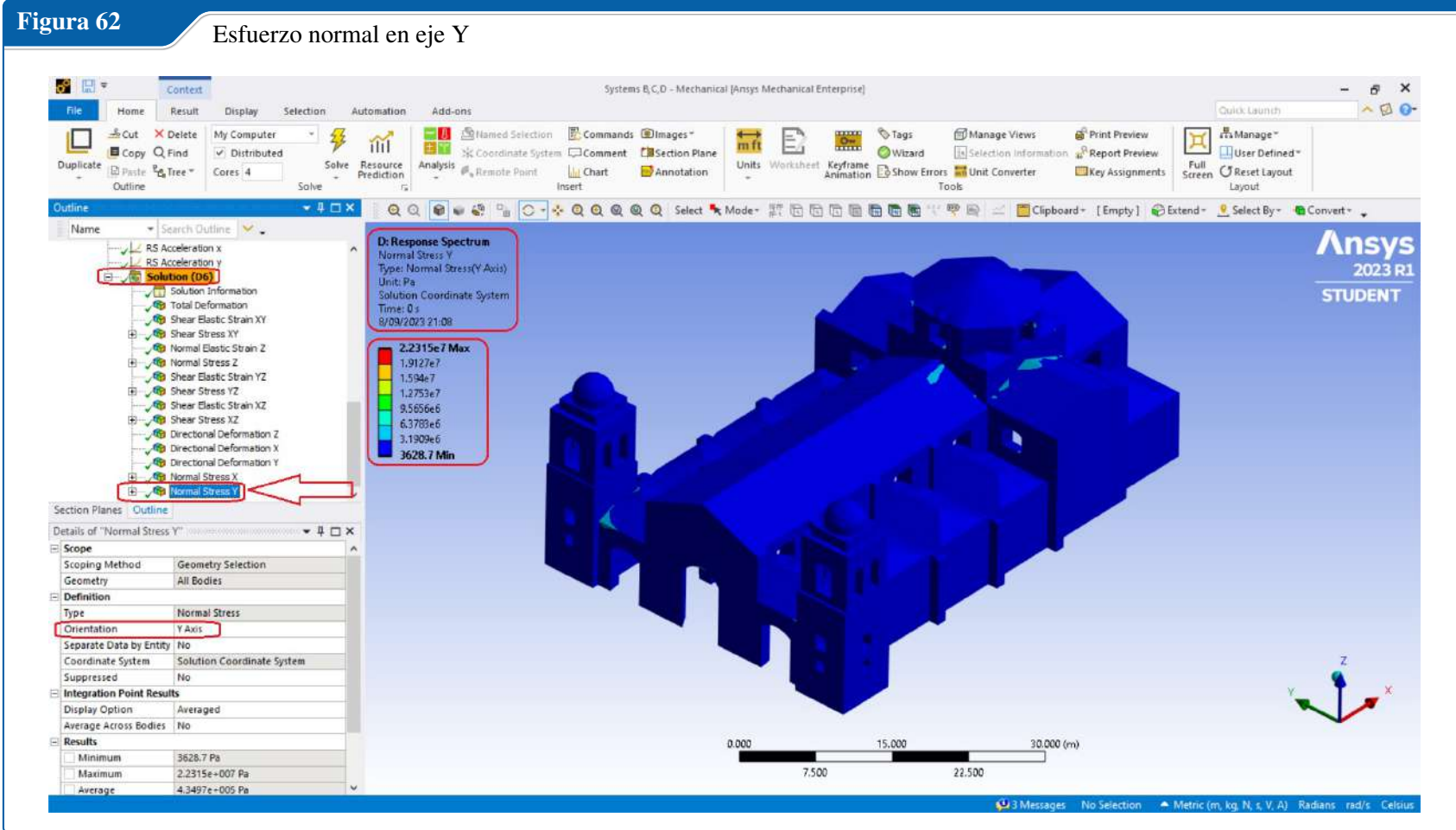
Fuente: Elaboración Propia

19. Resultados muestran los esfuerzos normales en el eje X, así como los valores máximos y mínimos junto con sus unidades.



Fuente: Elaboración Propia

20. Resultados muestran los esfuerzos normales en el eje Y, así como los valores máximos y mínimos junto con sus unidades.



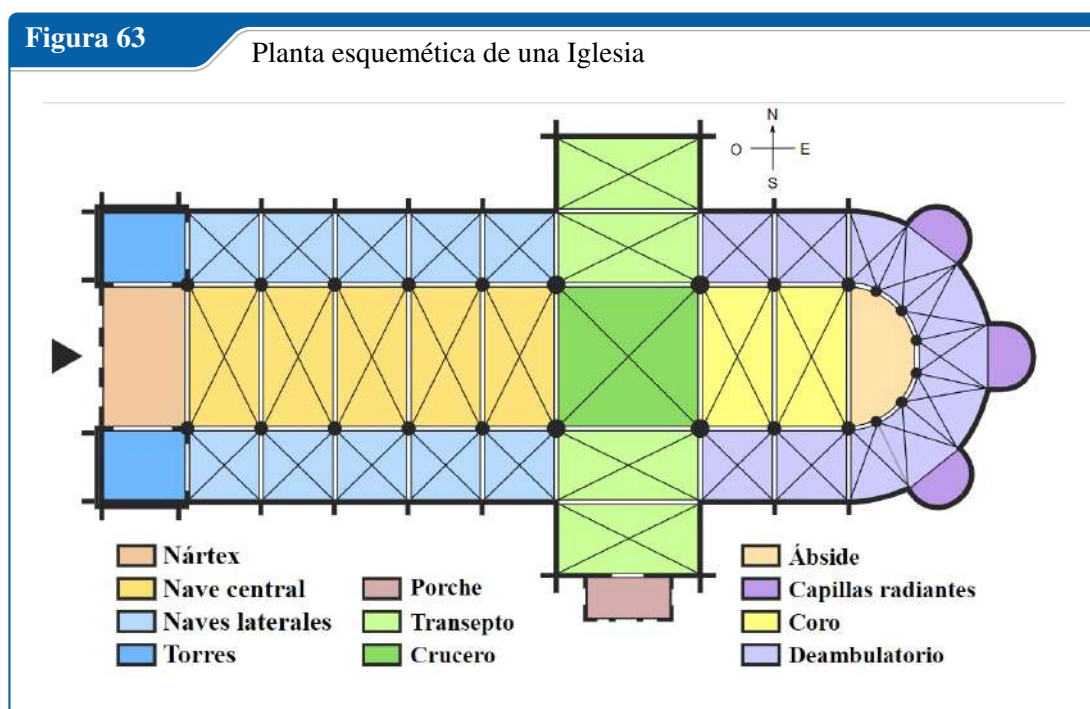
Fuente: Elaboración Propia

## Resultados

### 4.1 Contrastación de hipótesis

La acción más importante para la contrastación de la hipótesis principal consiste en comparar los resultados de los cálculos realizados en con el software Ansys Workbench 2023 R1, que presenta los esfuerzo y deformaciones producidos con el espectro de diseño sísmico, y las resistencias de los materiales de la estructura de la Catedral de Huamanga.

Antes de continuar con la contrastación de hipótesis es útil observar las partes en la que se divide la planta de una iglesia, ya que se estarán mencionando en las siguientes secciones, y se muestra a continuación.



Fuente: Wikipedia

Continuando, de los cálculos finales y las propiedades mecánicas de los materiales tenemos:

### 4.1.1 Constrastación de resultados de esfuerzos de corte calculados vs resistencia al corte de la mampostería

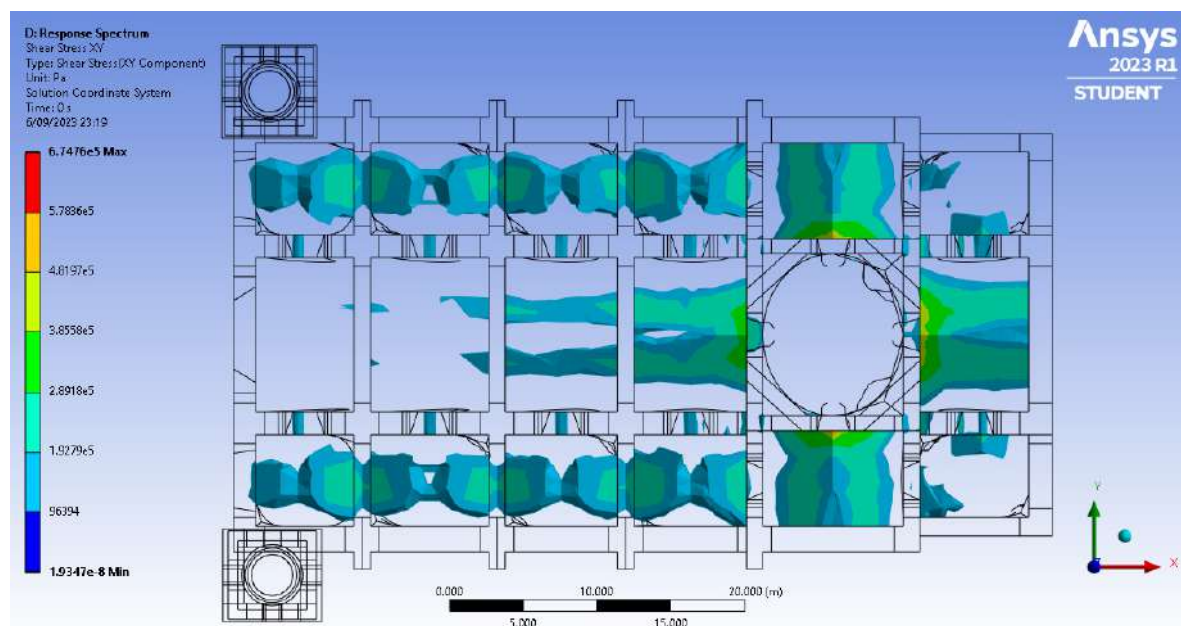
**Tabla 15:** Esfuerzo cortante vs Resistencia al corte - Plano XY

COMPARACIÓN DE RESULTADOS VS RESISTENCIA			
<b>Plano</b>		<b>XY</b>	
<b>Esfuerzo máximo</b>		674,760.00	Pa
<b>Esfuerzo mínimo</b>		0.00	Pa
<b>Resistencia al corte</b>		157,000.00	Pa
N°	Ubicación de esfuerzos	Descripción	Comparación
1	Nave central	Parte superior de techo	Excede resistencia de corte
2	Naves laterales	Parte superior de techo	Excede resistencia de corte
3	Transepto	Parte superior de techo	Excede resistencia de corte
4	Coro	Parte superior de techo	Excede resistencia de corte

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 64**

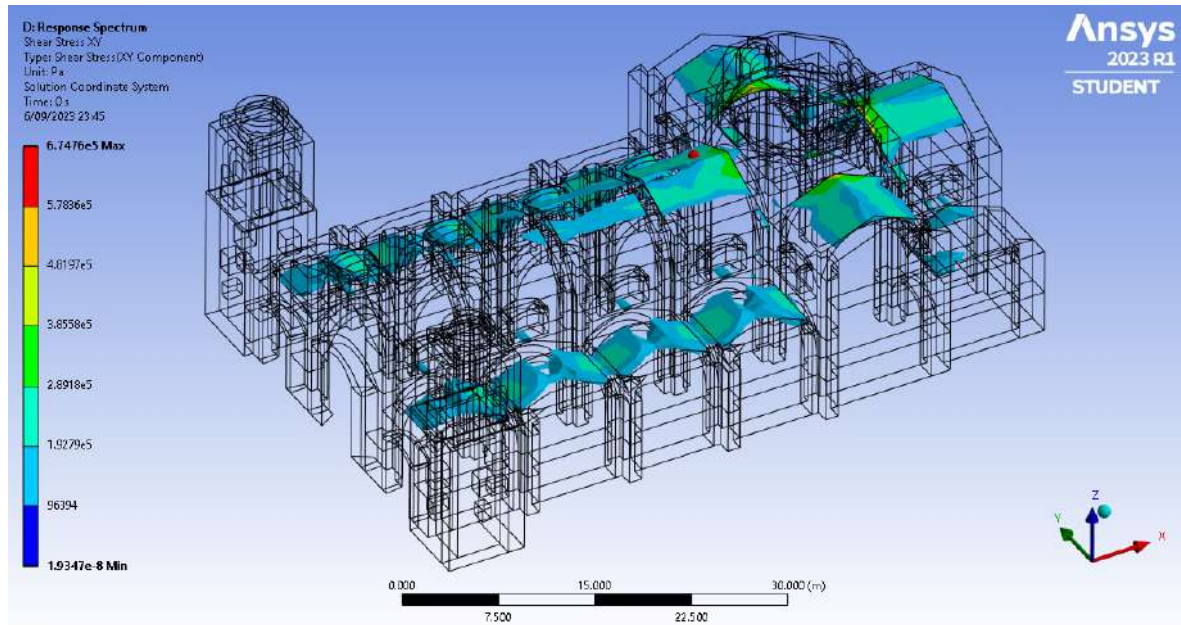
Esfuerzo cortante en plano XY (plano horizontal) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 65**

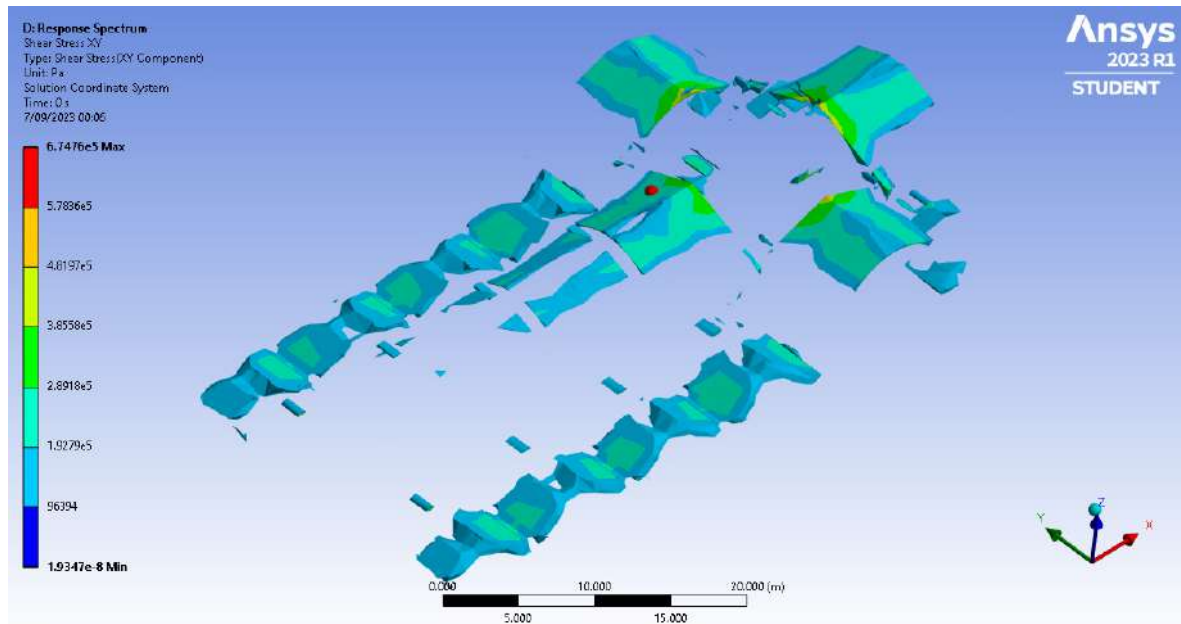
Esfuerzo cortante en plano XY (plano horizontal) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 66**

Esfuerzo cortante en plano XY (plano horizontal) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería



**Fuente:** Elaboración Propia

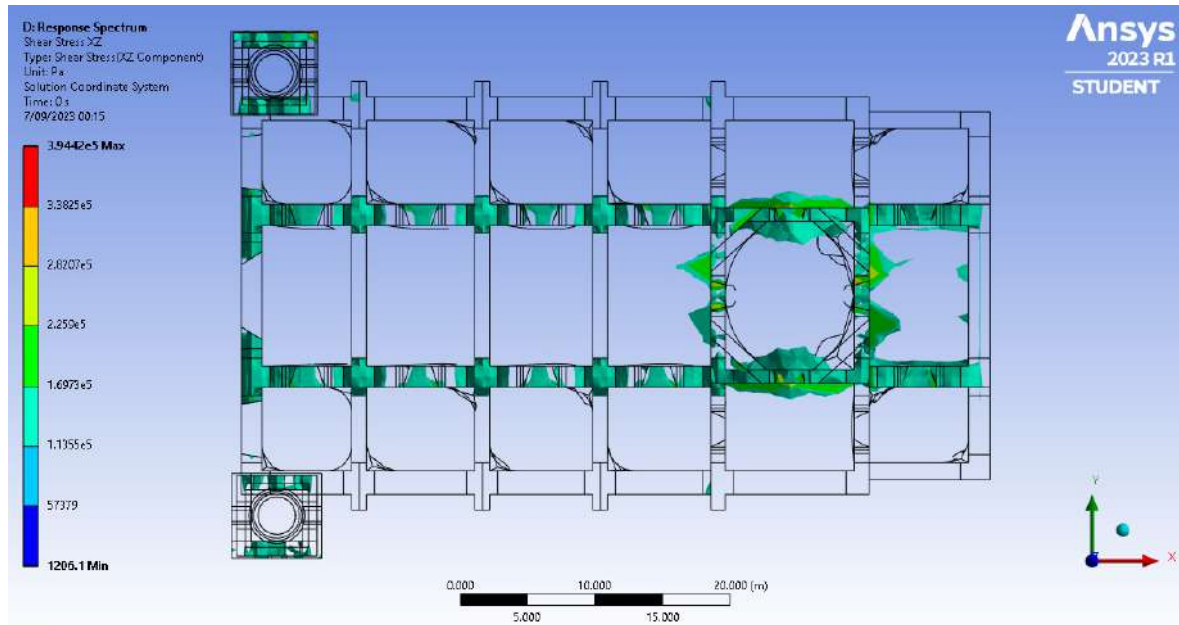
**Tabla 16:** Esfuerzo cortante vs Resistencia al corte - Plano XZ

<b>COMPARACIÓN DE RESULTADOS VS RESISTENCIA</b>			
<b>Plano</b>			<b>XZ</b>
<b>Esfuerzo máximo</b>		394,420.00	Pa
<b>Esfuerzo mínimo</b>		1,206.10	Pa
<b>Resistencia al corte</b>		157,000.00	Pa
<b>N°</b>	<b>Ubicación de esfuerzos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Comparación</b>
1	Nave central	Inferior columnas de intersección	Excede resistencia de corte
2	Naves laterales	Inferior columnas de intersección	Excede resistencia de corte
3	Deambulatorio	Parte superior de vigas arco/ventana	Excede resistencia de corte
4	Coro	Parte superior de vigas arco/ventana	Excede resistencia de corte
5	Crucero	Seccion sobre viga arco/ventana	Excede resistencia de corte
6	Transepto	Seccion sobre viga arco/ventana	Excede resistencia de corte
7	Torre izquierda	Paredes laterales en direccion X a la altura del campanario	Excede resistencia de corte
8	Torre derecha	Paredes laterales en direccion X a la altura del campanario	Excede resistencia de corte

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 67**

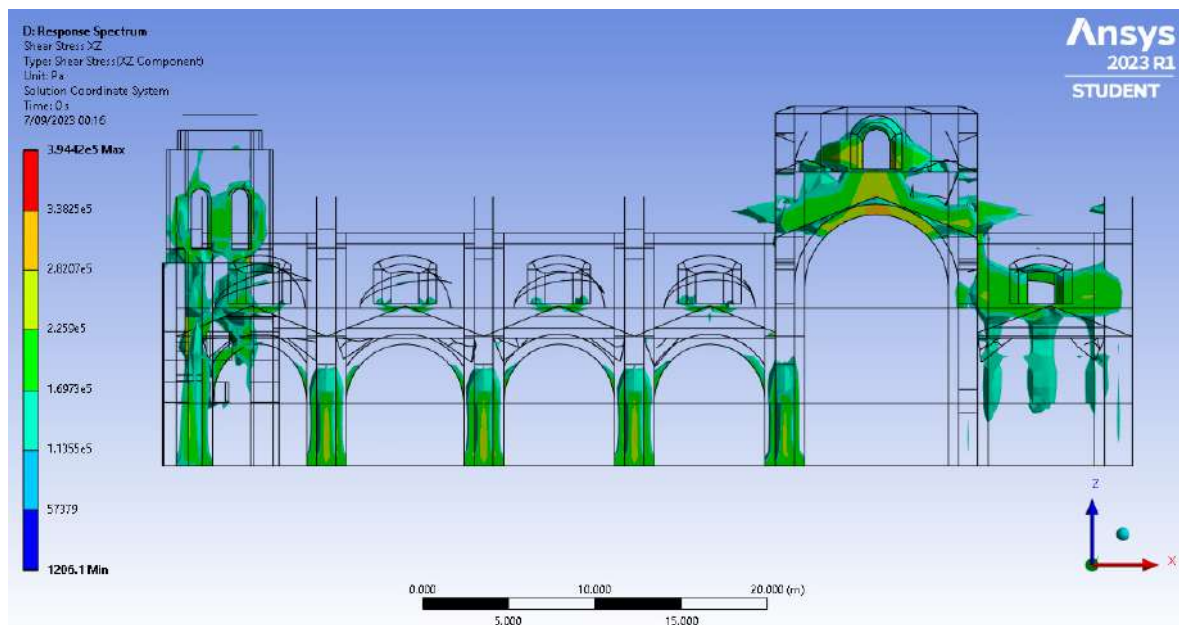
Esfuerzo cortante en plano XZ (plano vertical) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 68**

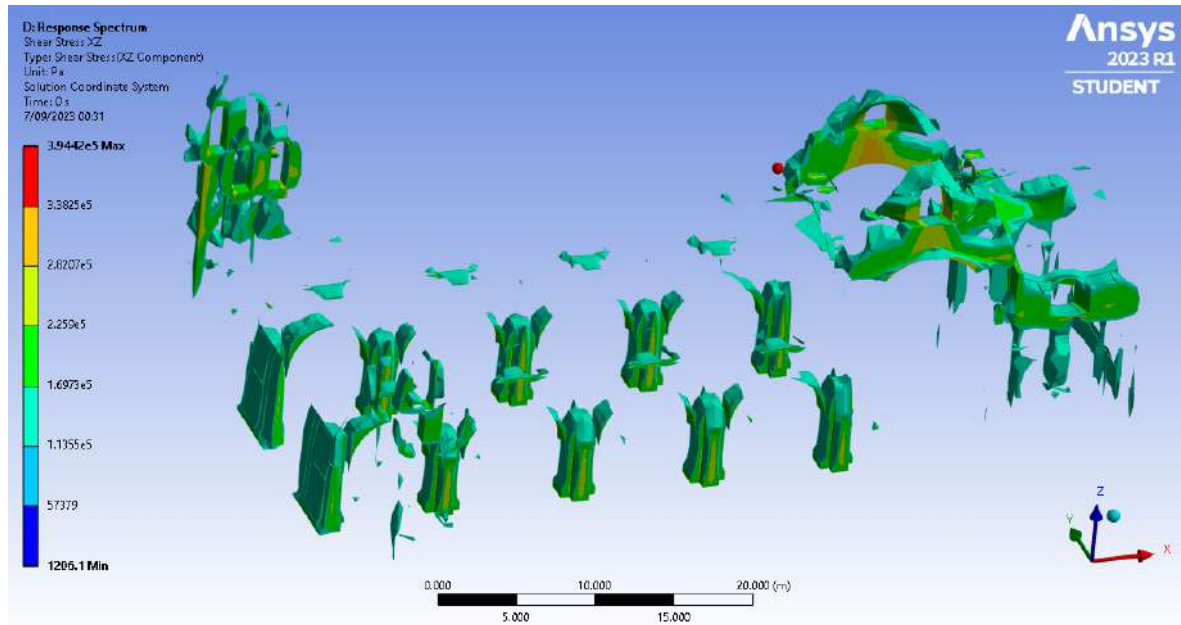
Esfuerzo cortante en plano XZ (plano vertical) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 69**

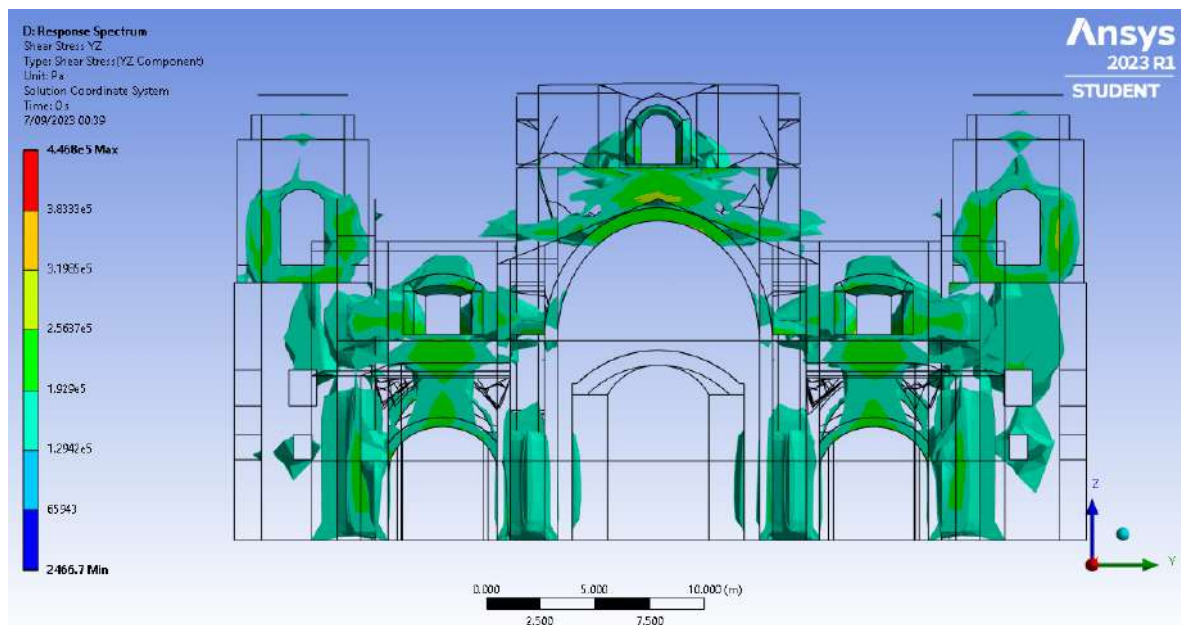
Esfuerzo cortante en plano XZ (plano vertical) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 70**

Esfuerzo cortante en plano YZ (plano vertical) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería



Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 17:** Esfuerzo cortante vs Resistencia al corte - Plano YZ

<b>COMPARACIÓN DE RESULTADOS VS RESISTENCIA</b>			
<b>Plano</b>	<b>YZ</b>		
<b>Esfuerzo máximo</b>	446,800.00	Pa	
<b>Esfuerzo mínimo</b>	2,466.70	Pa	
<b>Resistencia al corte</b>	157,000.00	Pa	

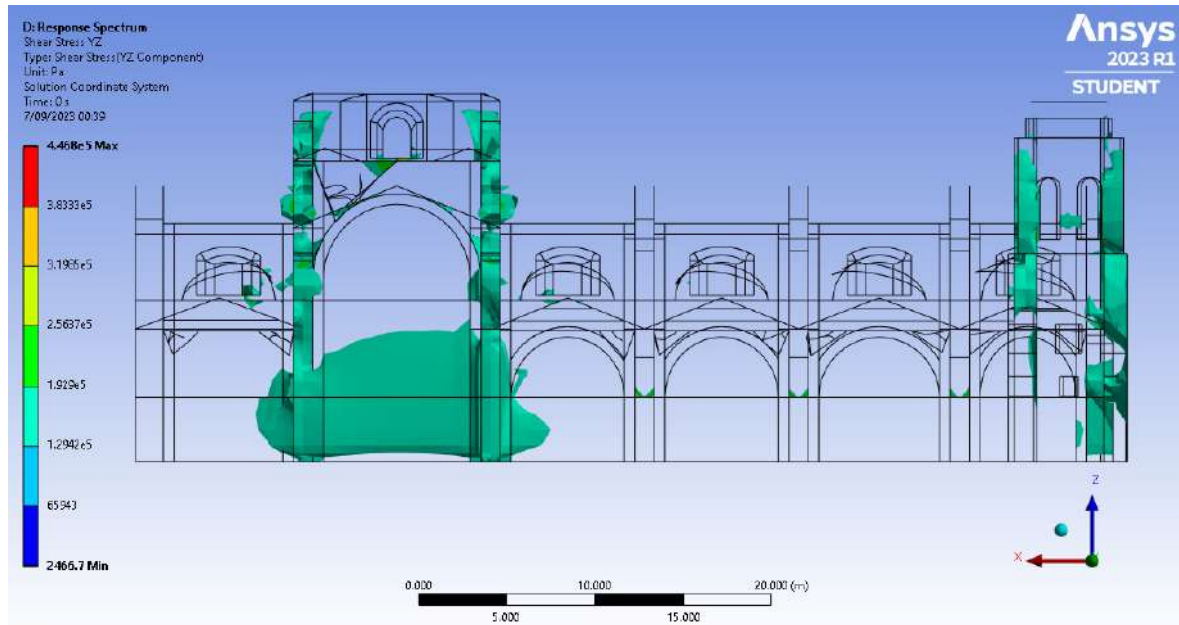
  

<b>N°</b>	<b>Ubicación de esfuerzos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Comparación</b>
1	Nave central y lateral (Intersección)	Inferior columnas de intersección/Parte superior de viga arco+muro/Ventana	Excede resistencia de corte
2	Crucero y transepto(Intersección)	Inferior columnas de intersección/Parte superior de viga arco+muro/Ventana	Excede resistencia de corte
3	Deambulatorio y coro (Intersección)	Inferior columnas de intersección/Parte superior de viga arco+muro/Ventana	Excede resistencia de corte
4	Muros Exteriores de transepto	Parte inferior del muro	Excede resistencia de corte
5	Torre izquierda	Paredes laterales en direccion Y a la altura del campanario	Excede resistencia de corte
6	Torre derecha	Paredes laterales en direccion Y a la altura del campanario	Excede resistencia de corte

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 71**

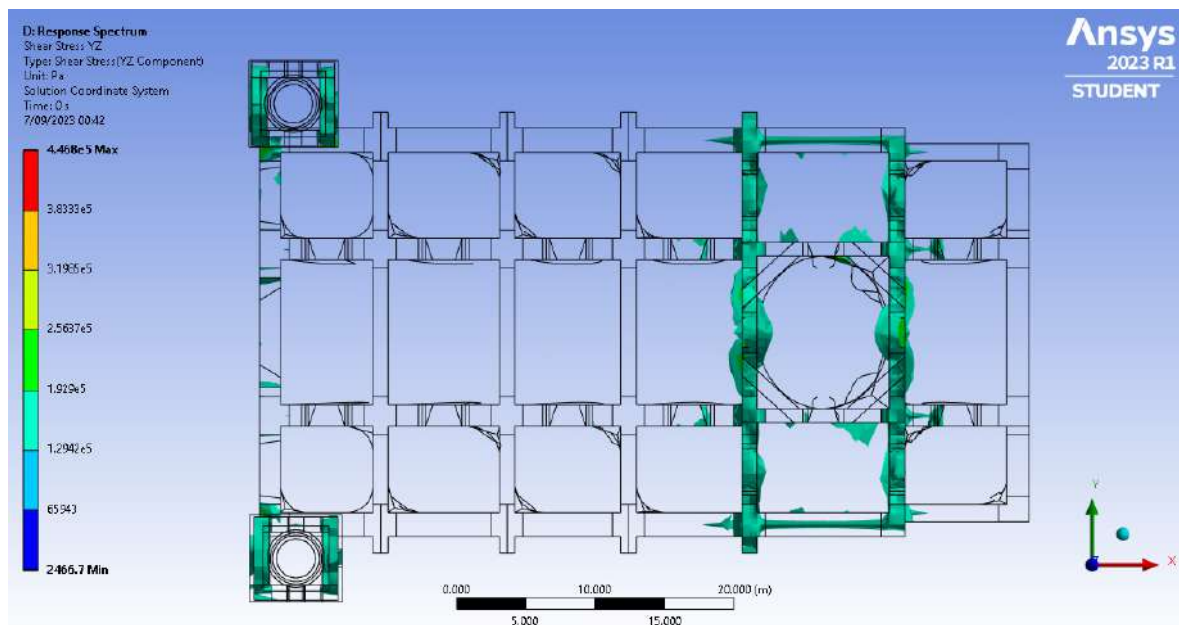
Esfuerzo cortante en plano YZ (plano vertical) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 72**

Esfuerzo cortante en plano YZ (plano vertical) que sobrepasa la resistencia al corte de la albañilería



Fuente: Elaboración Propia

## 4.1.2 Constrastación de resultados de esfuerzo normal calculados vs resistencia a la compresión/tracción de la mampostería

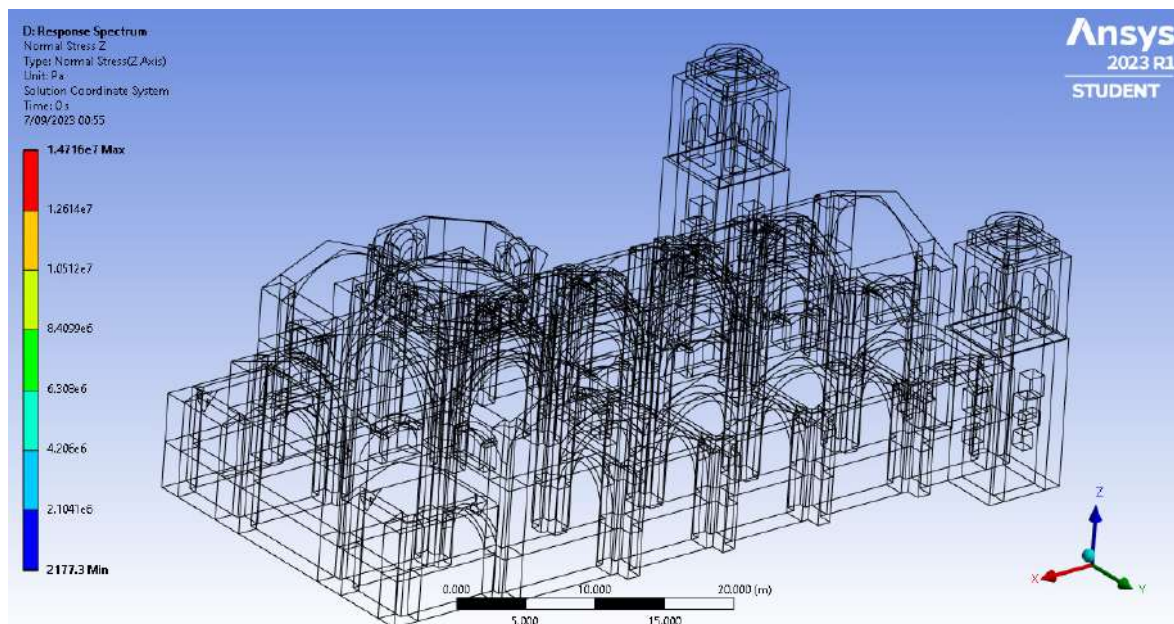
**Tabla 18:** Esfuerzo normal vs Resistencia a la compresión/tracción - Dirección Z

COMPARACIÓN DE RESULTADOS VS RESISTENCIA			
<b>Dirección</b>		Z	
<b>Esfuerzo máximo</b>	14,716,000.00	Pa	
<b>Esfuerzo mínimo</b>	2,177.30	Pa	
<b>Resistencia a la compresión</b>	26,280,000.00	Pa	
<b>Resistencia a la tracción</b>	2,628,000.00	Pa	
Nº	Ubicación de esfuerzos	Descripción	Comparación
	Ninguno	Ninguno	No existen esfuerzos que exceden la resistencia de compresión ni tracción

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 73**

Esfuerzo de compresión en dirección de eje Z (vertical) que sobrepasa la resistencia a la compresión de la roca



**Fuente:** Elaboración Propia

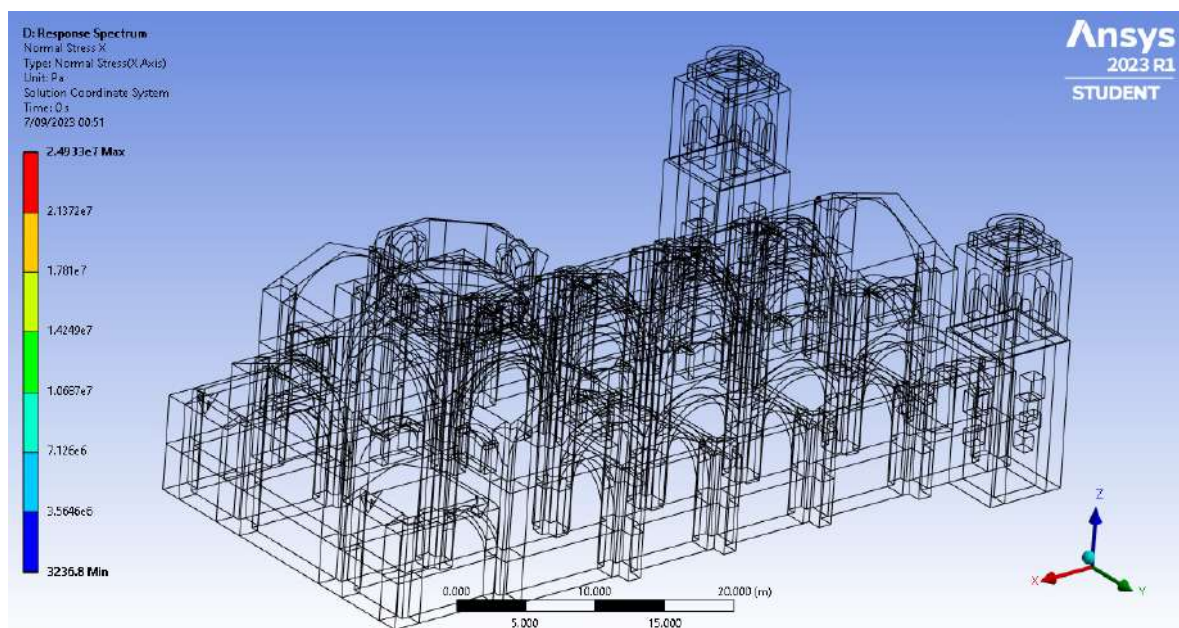
**Tabla 19:** Esfuerzo normal vs Resistencia a la compresión/tracción - Dirección X

COMPARACIÓN DE RESULTADOS VS RESISTENCIA			
<b>Dirección</b>		X	
<b>Esfuerzo máximo</b>	24,933,000.00	Pa	
<b>Esfuerzo mínimo</b>	3,236.80	Pa	
<b>Resistencia a la compresión</b>	26,280,000.00	Pa	
<b>Resistencia a la tracción</b>	2,628,000.00	Pa	
Nº	Ubicación de esfuerzos	Descripción	Comparación
	Ninguno	Ninguno	No existen esfuerzos que exceden la resistencia de compresión ni tracción

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 74**

Esfuerzo de compresión en dirección de eje X (horizontal) que sobrepasa la resistencia a la compresión de la roca



**Fuente:** Elaboración Propia

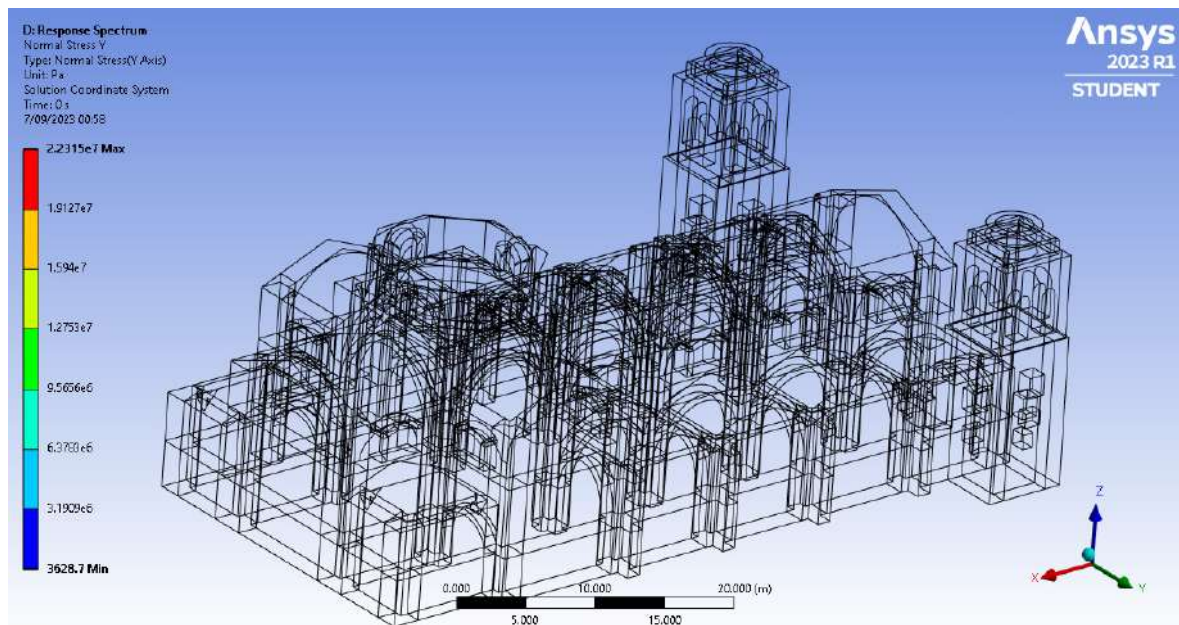
**Tabla 20:** Esfuerzo normal vs Resistencia a la compresión/tracción - Dirección Y

COMPARACIÓN DE RESULTADOS VS RESISTENCIA			
<b>Dirección</b>		<b>Y</b>	
<b>Esfuerzo máximo</b>	22,315,000.00	Pa	
<b>Esfuerzo mínimo</b>	3,628.70	Pa	
<b>Resistencia a la compresión</b>	26,280,000.00	Pa	
<b>Resistencia a la tracción</b>	2,628,000.00	Pa	
Nº	Ubicación de esfuerzos	Descripción	Comparación
	Ninguno	Ninguno	No existen esfuerzos que exceden la resistencia de compresión ni tracción

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 75**

Esfuerzo de compresión en dirección de eje Y (horizontal) que sobrepasa la resistencia a la compresión de la roca



**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 21:** Deformación total en 3 ejes de coordenada

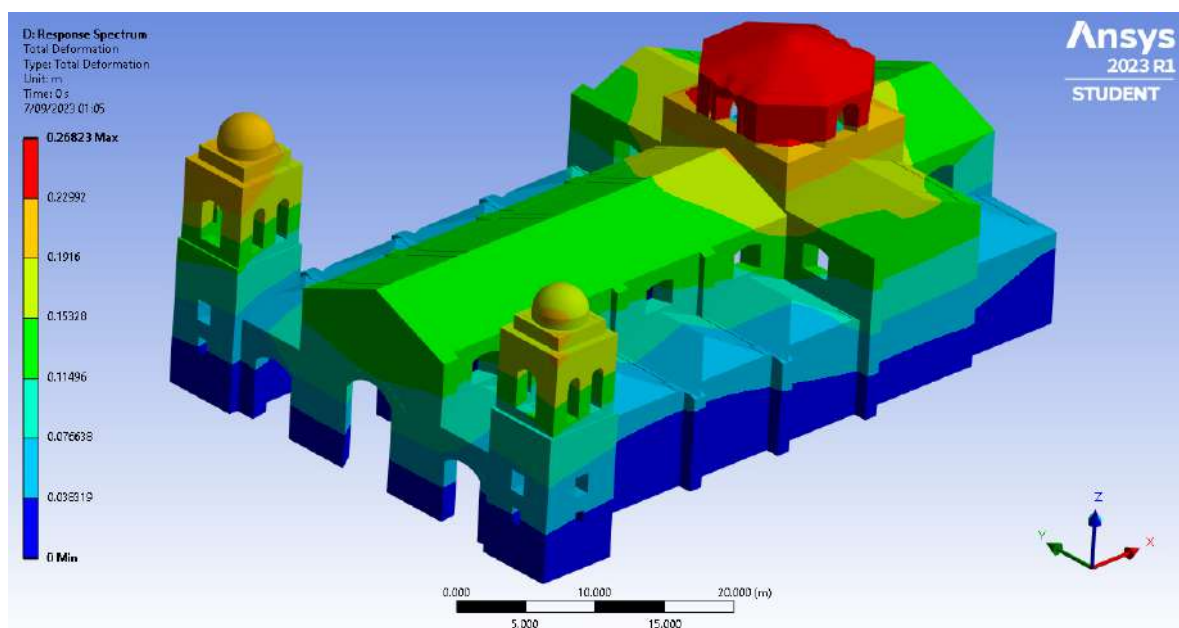
RESULTADOS DE DEFORMACIÓN		
<b>Dirección</b>	3 ejes de coordenadas	
<b>Deformación máxima</b>	0.2682	m
<b>Deformación mínima</b>	0.0000	m
Nº	Ubicación de mayores deformaciones	Descripción
1	Cúpula de la catedral y los alrededores	Partes superiores del crucero, transepto, coro, deambulatorio y las partes cercanas de las naves.
2	Campanarios de las torres	Partes superiores de las cúpulas de los campanarios, principalmente la torre izquierda

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3 Resultados correspondientes a deformaciones de la estructura en dirección de los ejes del sistema de coordenadas

**Figura 76**

Deformación total de la estructura en los 3 ejes de coordenadas



Fuente: Elaboración Propia

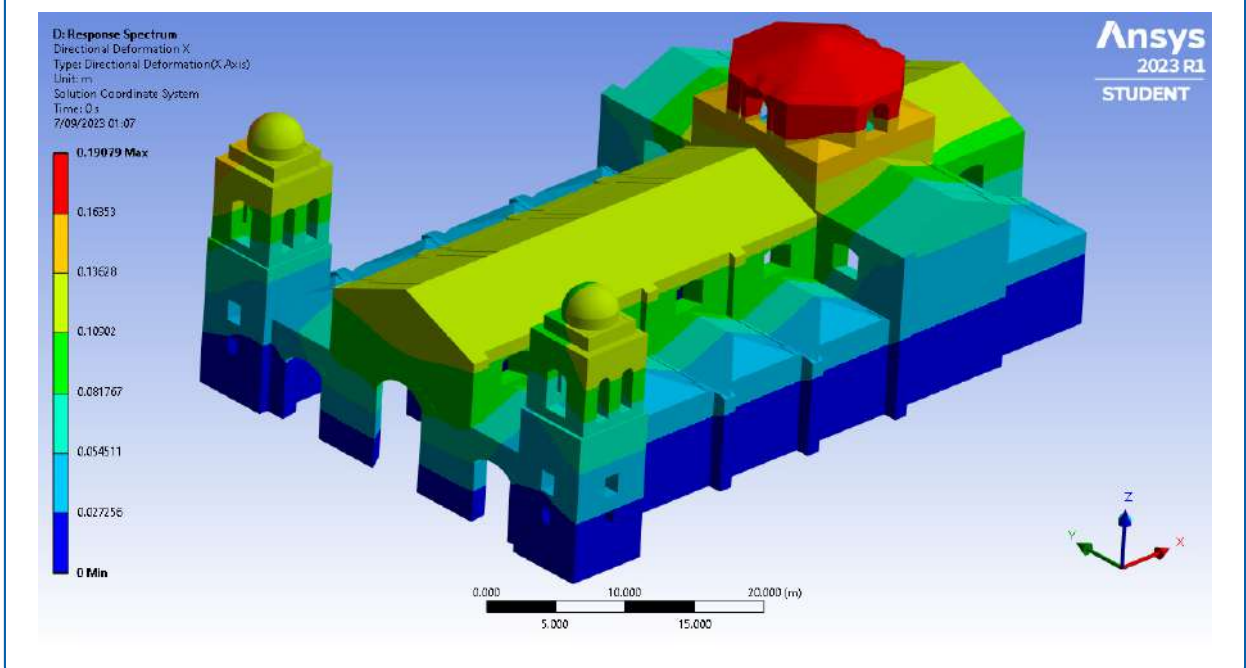
**Tabla 22:** Componente de deformación en dirección X

<b>RESULTADOS DE DEFORMACIÓN</b>		
<b>Dirección</b>	Eje X	
<b>Deformación máxima</b>	0.1908	m
<b>Deformación mínima</b>	0.0000	m
N°	Ubicación de mayores deformaciones	Descripción
1	Cúpula de la catedral y los alrededores	Partes superiores del crucero, transepto, coro, deambulatorio y las partes cercanas de las naves.
2	Nave central / coro	Cumbreras de los techos en dirección X
3	Campanarios de las torres	Partes superiores de las cúpulas de los campanarios, principalmente la torre izquierda

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 77**

Componente de la deformación total en la dirección X



**Fuente:** Elaboración Propia

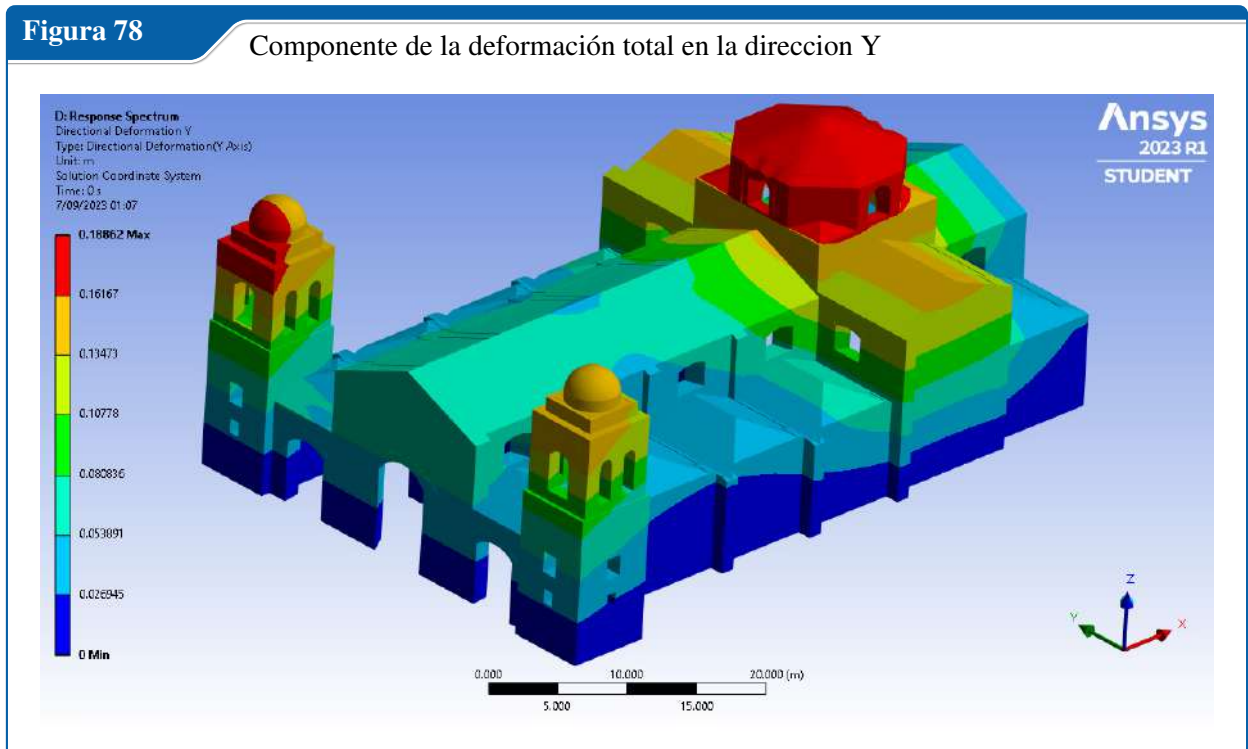
**Tabla 23:** Componente de deformación en dirección Y

RESULTADOS DE DEFORMACIÓN		
<b>Dirección</b>		Eje Y
<b>Deformación máxima</b>		0.1886 m
<b>Deformación mínima</b>		0.0000 m
Nº	Ubicación de mayores deformaciones	Descripción
1	Cúpula de la catedral y los alrededores	Partes superiores del crucero, transepto, coro, deambulatorio y las partes cercanas de las naves.
2	Campanarios de las torres	Partes superiores de las cúpulas de los campanarios, principalmente la torre izquierda

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 78**

Componente de la deformación total en la dirección Y



**Fuente:** Elaboración Propia

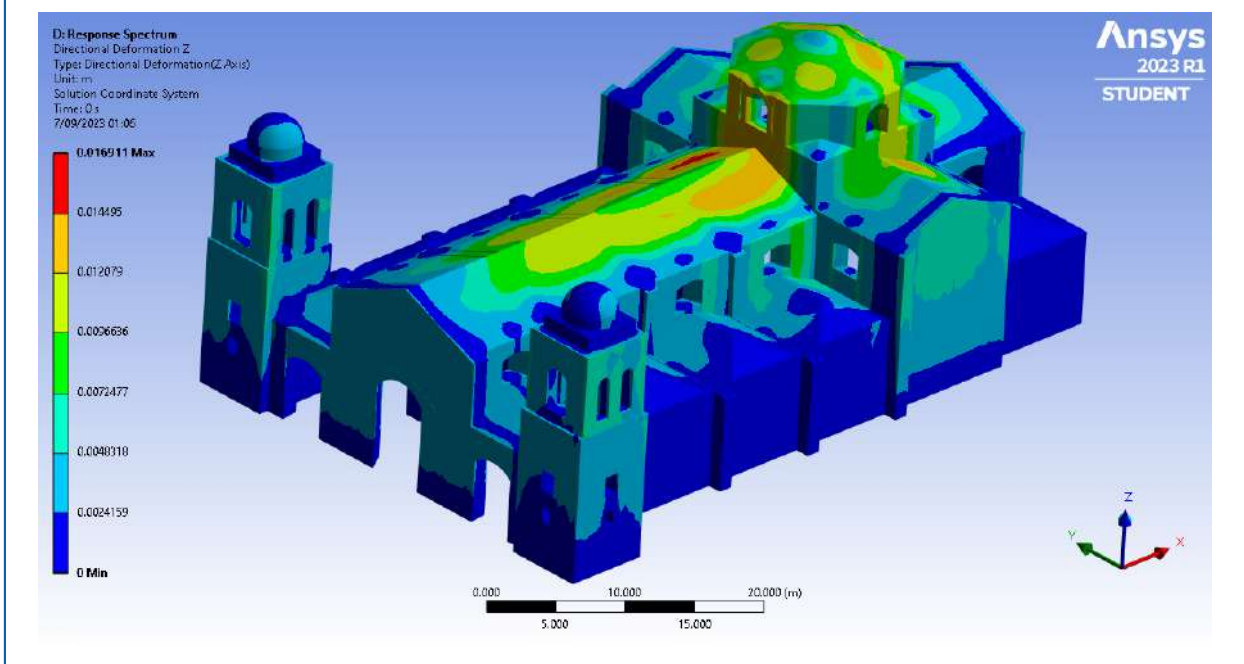
**Tabla 24:** Componente de deformación en dirección Z

RESULTADOS DE DEFORMACIÓN		
<b>Dirección</b>	Eje Z	
<b>Deformación máxima</b>	0.0169	m
<b>Deformación mínima</b>	0.0000	m
N°	Ubicación de mayores deformaciones	Descripción
1	Cúpula de la catedral y los alrededores	Parte superior de los techos.

Fuente: Elaboración propia

**Figura 79**

Componente de la deformación total en la dirección Z



Fuente: Elaboración Propia

## 4.2 Análisis e interpretación

Se ha observado y comparado los resultados del cálculo mediante el software *Ansys Workbench 2023 R1*, con los valores de las resistencias al corte y a la compresión/tracción. De todo esto se puede interpretar diferentes significados para estas observaciones, así como posibles soluciones para los esfuerzos que excedan las resistencias de la albañilería de roca y mortero tradicional en diferentes zonas de la edificación. Asimismo se conoce a partir de estos resultados en que grado algunas zonas de la estructura de la Catedral de Huamanga, son más propensos a sufrir daños durante un sismo.

Para paliar los efectos adversos de los esfuerzos producidos por el evento sísmico raro que hemos estudiado se proponen algunos métodos de intervención estructural para el reforzamiento

de elementos como columnas, arcos o muros según sea el caso. Por lo que antes de iniciar con la interpretación de resultados vamos a desarrollar algunos conceptos básicos acerca de la intervención estructural mediante el reforzamiento de elementos.

#### **4.2.1 Procedimiento para la intervención estructural mediante reforzamiento de elementos**

Un procedimiento o proceso general para la intervención sísmica de edificios vulnerables o dañados por sismo puede ser descrito como sigue:

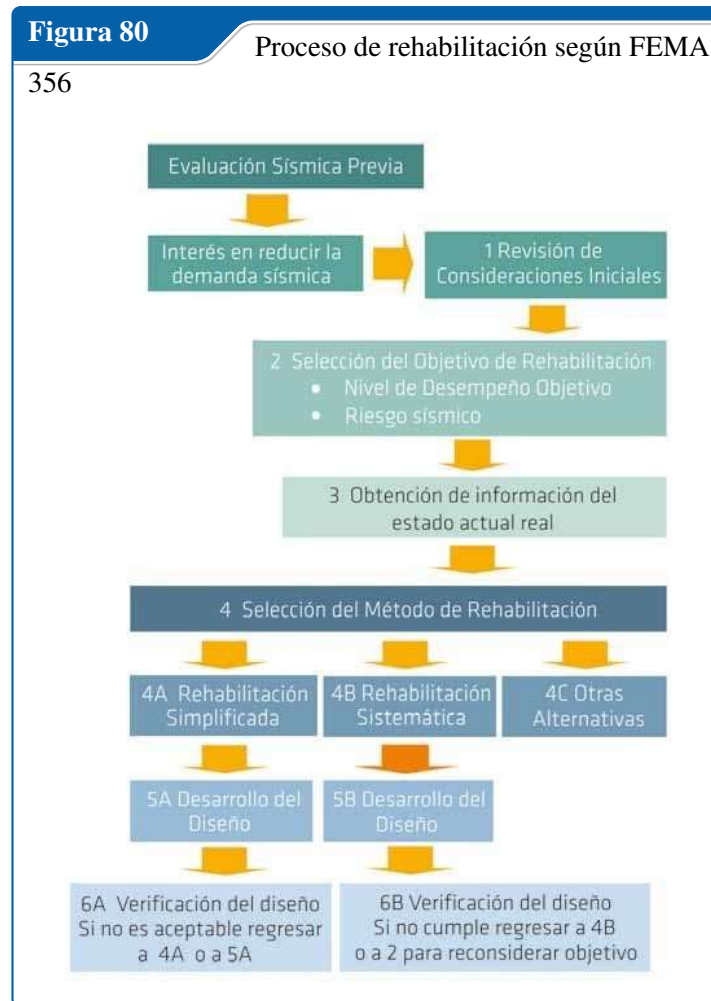
1. Evaluación sísmica de la estructura
2. Determinación de la capacidad sísmica requerida
3. Selección de las técnicas o métodos de intervención
4. Diseño de los detalles de conexiones
5. Reevaluación de la estructura intervenida

En el diseño de la intervención se debe considerar cuidadosamente el mejoramiento de la distribución de la resistencia y la rigidez en planta y en la altura, así como el incremento en resistencia y ductilidad de los edificios.

Es de vital importancia el diseño detallado de las conexiones ya que el desempeño de estas puede afectar significativamente el desempeño de la estructura. Los componentes estructurales están sujetos a inversión de cargas durante los sismos por lo tanto es importante diseñar los anclajes para transmitir las acciones dinámicas entre los elementos nuevos y los existentes y también aún en caso de fisuración del elemento.

Para tal efecto se han desarrollado guías o métodos para la evaluación sísmica e intervención estructural de edificios existentes de concreto reforzado por instituciones tales como:

- Japan Building Disaster Prevention Association (JBDPA) de Japón.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) de EUA.
- Applied Technology Council (ATC) de EUA.
- Comité Europeo de Normalización (CEN) de Europa.



Fuente: Sika (2017)

#### 4.2.1.1 Técnicas de reforzamiento sísmico

A continuación, se presentan diferentes técnicas de intervención estructural de estructuras de concreto reforzado. Al de las técnicas de intervención incrementan la resistencia y/o la ductilidad de la estructura y otras reducen la demanda sísmica. Las intervenciones locales pueden tener un efecto sobre la respuesta local o global en mayor o menor grado.

Las técnicas disponibles para incrementar principalmente la resistencia última y rigidez son las siguientes:

- Adición / relleno con muros de cortante sobre / dentro de marcos existentes.
- Adición / relleno con elementos metálicos (marcos, panales) sobre / dentro de marcos existentes.
- Enchaquetado en encamisado con concreto reforzado.
- Adición de muros laterales o alas de columnas existentes.

- Adición de contrafuertes a la estructura.
- Engrosamiento o ensanchamiento de elementos.
- Adición de elementos metálicos o de FRP adheridos y / o anclados externamente (perfil, ángulo, platina, lámina, barras).
- Colocación de cables tensados externos de acero o FRP, etc.

Las técnicas disponibles para incrementar principalmente la capacidad de deformación o ductilidad son las siguientes:

- Enchaquetado o zunchado con malla de acero y concreto o mortero de protección.
- Enchaquetado o envoltura con láminas de acero (relleno, adheridas, ancladas).
- Enchaquetado o envoltura con ángulos y platinas de acero (relleno, adheridas).
- Enchaquetado o envoltura con materiales compuestos FRP, etc.

Un aspecto que debe estar incluido en el diseño de la intervención es el análisis de las etapas de construcción y el diseño de los sistemas o medidas de soporte temporal, como apuntalamientos, que garanticen la estabilidad de la estructura o elementos durante la ejecución de los trabajos. Esto es de vital importancia en caso de reparación de daños ocurridos luego de un sismo ya que el soporte debe dar estabilidad mientras se define o ejecuta la rehabilitación.

Tenemos las siguientes técnicas de reforzamiento:

### **1. ADICIÓN DE MUROS LATERALES O ALAS A COLUMNAS EXISTENTES**

La resistencia lateral de columnas existentes se puede incrementar con la adición de muros laterales o alas a las mismas por medio de soluciones constructivas similares a las usadas en las técnicas de enchaquetado o de relleno.

### **2. ENCHAQUETADO O ENCAMISADO CON CONCRETO REFORZADO**

La técnica del enchaquetado o encamisado de elementos existentes con adición de nuevo concreto reforzado es una estrategia ventajosa para proporcionar más alta resistencia, así como para aumentar la rigidez. El concreto nuevo se puede colocar vaciado en sitio con formaleta, con concreto lanzado o proyectado o con adición de elementos prefabricados.

### 3. ENGROSAMIENTO O ENSANCHAMIENTO DE ELEMENTOS

El incremento de resistencia y rigidez de elementos estructurales tales como muros de cortante y losas o placas puede ser logrado con el engrosamiento de estos elementos por medio de soluciones constructivas similares a las usadas en la técnica de enchaquetado descrita anteriormente.

### 4. ADICIÓN DE ELEMENTOS METÁLICOS O DE FRP ADHERIDOS Y/O ANCLADOS EXTERNAMENTE (PERFIL, ÁNGULO, PLATINA, LÁMINA, BARRA)

La resistencia de elementos de una estructura se puede aumentar con la adición de elementos metálicos o de materiales compuestas FRP (Fiber Reinforced Polymer) tales como perfiles, ángulos, platina, láminas, adheridos y/o anclados externamente a la estructura. Se pueden aumentar la resistencia del elemento a flexión, cortante, torsión, carga axial con esta técnica. La diferencia conceptual entre platina y lámina es que la platina es un elemento delgado de gran longitud en una dirección y pequeña longitud en la otra, mientras que la lámina es un elemento delgado de grandes dimensiones en las otras dos direcciones.

### 5. ENCHAQUETADO O ZUNCHADO CON MALLA DE ACERO Y CONCRETO O MORTERO DE PROTECCION

Esta técnica de enchaquetado o envoltura de columnas con malla y concreto de protección se usa para incrementar principalmente la capacidad de deformación o ductilidad y el propósito es mejorar fundamentalmente la capacidad a cortante y/o confinamiento del concreto a compresión para proveer ductilidad (aumento de la capacidad de deformación) más que resistencia lateral (capacidad de carga).

### 6. ENCHAQUETADO O ENVOLTURA CON LÁMINA DE ACERO (RELLENADAS, ANCLADAS, ADHERIDAS)

El objetivo de esta técnica de reforzamiento es el mismo al descrito para la técnica de enchaquetado o zunchado con malla de acero y su principio de funcionamiento es similar.

Esta técnica de enchaquetado con láminas de acero se puede usar también para confinar columnas de concreto reforzado que tienen resistencia transversal pobre o deficiente y aumentar así su resistencia a flexión y ductilidad.

En el caso de la camisa metálica colocada con un espacio de unos pocos milímetros entre camisa y el elemento estructural normalmente se colocan primero las láminas o las secciones de láminas que son soldadas posteriormente y finalmente se inyecta un

adhesivo epóxico estructural fluido por medio de puertos de inyección colocados en huecos taladrados en la lámina.

#### **7. ENCHAQUETADO O ENVOLTURA CON ÁNGULOS Y PLATINAS/PRESILLAS DE ACERO (RELLENO, ADHERIDAS)**

Con esta técnica se puede mejorar la capacidad a carga axial por el efecto de confinamiento, sin embargo, también se puede mejorar con ayuda de los ángulos metálicos. En caso de columnas dañadas en la reparación se puede despreciar la colaboración del acero de refuerzo o armadura si este está en mal estado y el concreto se puede reparar para restituir su capacidad. La técnica en este caso se puede aplicar no en la longitud de la columna sino a una zona de la misma que cubre la zona dañada y las zonas adyacentes.

#### **8. ENCHAQUETADO O ENVOLTURA CON MATERIALES COMPUESTOS FRP**

El objetivo de esta técnica de reforzamiento es el mismo al descrito para la técnica de enchaquetado o zunchado con malla de acero y su principio de funcionamiento es similar.

Los elementos estructurales FRP(Fiber Reinforced Polymer) que se pueden adicionar son platinas o láminas de carbono, vidrio o aramida y los mecanismos de transmisión de carga y demás conceptos constructivos en general son similares a los mencionados para elementos metálicos, sin embargo, existen particularidades de diseño propios de este material. En general la fibra aramida se caracteriza por su alta resistencia al impacto.

### **4.2.2 Interpretación de contrastación de hipótesis**

De todo lo anterior tenemos las interpretaciones de los resultados y las propuestas de intervención estructural para cada uno:

#### **4.2.2.1 Esfuerzos vs Resistencia Cortante en Plano XY**

##### **Interpretación**

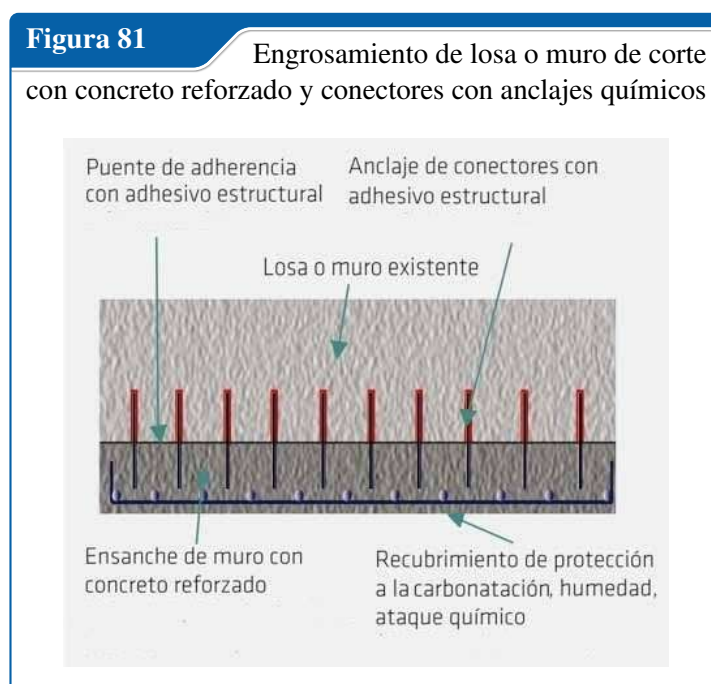
Los esfuerzos de corte que exceden la resistencia de las juntas de la albañilería se ubican en la parte superior de los techos , principalmente en las cumbreras, concentrados alrededor del crucero (cúpula). Sin embargo estos esfuerzos aplicados a la estructura afectan a una pequeña parte del volumen total de la edificación así que se pueden considerar irrelevantes.

##### **Posibles Soluciones**

Reemplazar las secciones afectadas con otros materiales con mayor resistencia al corte que el mortero tradicional, ó mejorar la composición de los morteros para las juntas de albañilería.

Asu vez podemos observar que los requerimientos para aumentar la resistencia de corte de los elementos estructurales se puede lograr mediante la técnica de reforzamiento : *Engrosamiento o ensanchamiento de elementos.*

En la figura siguiente se muestra em forma esquemática este método con el uso de conectores mecánicos con anclajes químicos post-instalados. Dependiendo de la capacidad a cortante requerida en la conexión en el diseño se debe verificar la necesidad o no de los conectores y en caso de requerirse conectores lo ideal por costos es tener el menor número o cantidad y esto se puede lograr combinando la conexión mecánica con un buen perfil de anclaje o buena rugosidad de la supercicie de material antiguo.



Fuente: Sika (2017)

#### 4.2.2.2 Esfuerzos vs Resistencia Cortante en Plano XZ

##### Interpretación

Los esfuerzos que sobrepasan la resistencia cortante se ubican en paralelo al eje X, específicamente a lo largo de los ejes B-B y C-C de la construcción concentrado principalmente en la parte inferior de las columnas que forman la intersección entre la nave principal y las naves laterales, así como en la parte superior de los arcos y las ventanas que se encuentran en el crucero (cúpula), también se encuentran en la parte inferior de las ventanas que se ubican en la intersección del coro y el deambulatorio. Por último también podemos observar que los muros laterales de las torres en dirección del eje X también se ven muy afectadas, especialmente las ubicadas al nivel del campanario.

La ubicación de estos esfuerzos excesivos representa un riesgo para la integridad de la edificación, puesto que los esfuerzos cortantes en las columnas pueden ocasionar el fallo de las juntas y la pérdida de sección transversal resistente a la compresión de dichas columnas. Compromete la seguridad de la nave central y las naves laterales.

Los esfuerzos cortantes en el crucero pueden ocasionar la separación de juntas y el posterior colapso de la cúpula por pérdida de resistencia en sus secciones transversales. Aunque el daño de este sería mejor que el anterior.

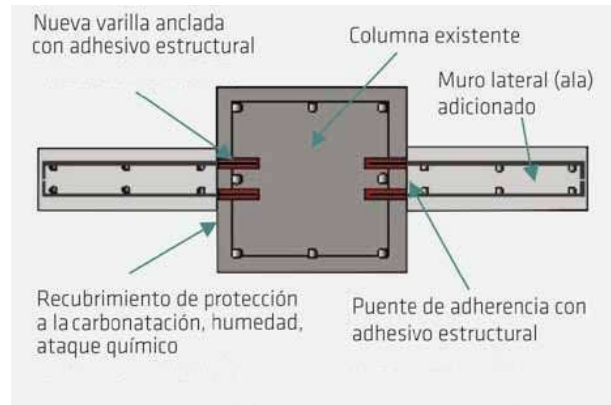
### **Posibles Soluciones**

Se proponen diferentes opciones para evitar posibles fallas en los elementos estructurales, entre ellos esta:

- Colocar refuerzos estructurales en las columnas y muros para aumentar la rigidez al corte de las columnas, en este caso podrían ser estribos de acero corrugado junto con acero longitudinal, todo esto recubierto por concreto. Y también el envolvimiento de estos pilares con láminas o platinas metálicas, pernos de anclaje y relleno adhesivo estructural.
- Reconstrucción y reemplazo de las columnas y muros de roca y mortero tradicional con elementos estructurales de concreto con refuerzo de acero siguiendo las técnicas de construcción actuales.

Entre las técnicas de reforzamiento estructural que podemos emplear están: *Enchaquetado o encamisado con concreto reforzado*. Que se muestra, en la figura siguiente, una alternativa de esta técnica con el uso de anclajes post-instalados de tipo químico. El diseño del anclaje del nuevo refuerzo debe efectuarse de acuerdo con la sollicitación de flexión y cortante del nuevo elemento estructural compuesto.

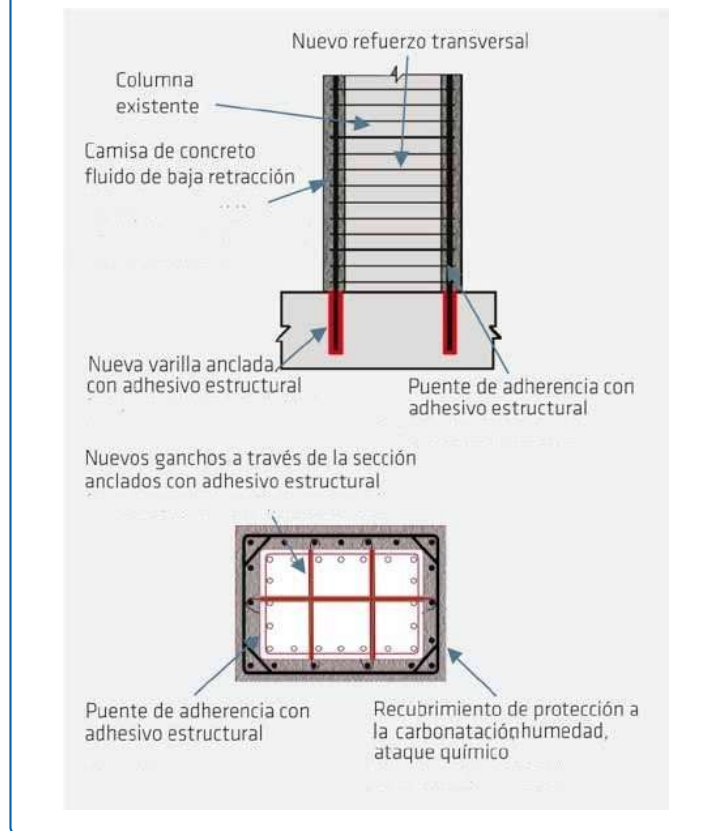
**Figura 82** Adición de muros laterales o alas a columnas existentes



**Fuente:** Sika (2017)

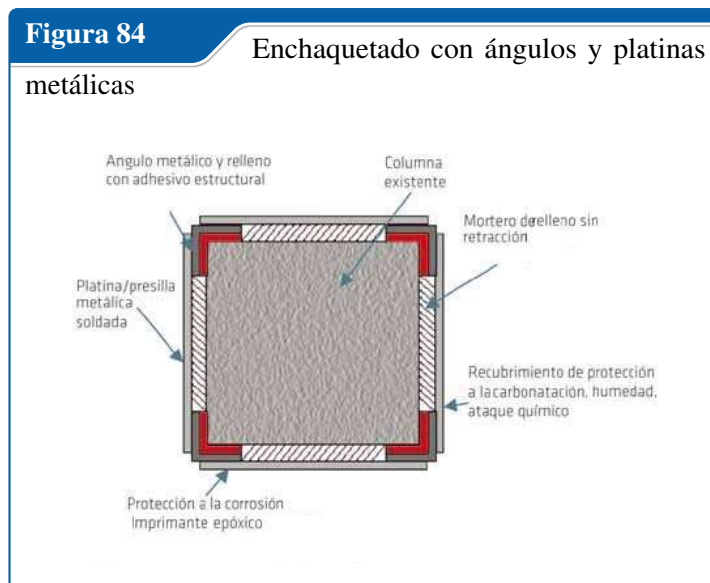
Otra técnica de reforzamiento estructural que se podría aplicar es: *Enchaquetado o encamisado con concreto reforzado*. Cuando se enchaqueta una columna solo entre el espacio del piso sin penetrar el nuevo refuerzo vertical a través de la placa y con nuevo refuerzo horizontal solo se mejora la capacidad axial y/o a cortante de la columna. En este caso el enchaquetado no necesariamente debe quedar en contacto con la losa o viga, dejando espacio u holgura que deberá ser rellenado con concreto o un adhesivo estructural para lograr una junta adherida entre el material antiguo y el encamisado.

**Figura 83** Encamisado en concreto reforzado de una columna



Fuente: Sika (2017)

Además se puede aplicar también la técnica de reforzamiento llamada: *Enchaquetado o envoltuta con ángulos y platinas/presillas de acero*. El objetivo de esta técnica de reforzamiento es el mismo al descrito para la técnica de enchaquetado o zunchado con malla de acero y su principio de funcionamiento es similar. La técnica consiste en colocar una chaqueta conformada con ángulos y platinas o presillas de acero envolviendo o zunchando la columna.



Fuente: Sika (2017)

#### 4.2.2.3 Esfuerzos vs Resistencia Cortante en Plano YZ

##### Interpretación

Los esfuerzos de elementos estructurales que exceden la resistencia al corte de la albañilería se ubican principalmente en la dirección del eje Y. Aquí podemos notar que se encuentran en la parte inferior de las columnas que sostienen el crucero (cúpula) en la intersección con la nave central y el coro, en la parte inferior de las columnas y muros exteriores del transepto, también en la parte superior de los arcos y alrededores de las ventanas en los ejes 5-5 y 6-6 de la construcción. También podemos observar que los muros laterales de las torres en dirección del eje Y también se ven muy afectadas, especialmente las ubicadas al nivel del campanario.

Como se mencionó en la sección anterior estos esfuerzos cortantes excesivos pueden provocar la separación de las juntas de mortero en la albañilería y con esto reducir la sección resistente a la compresión de las columnas y el muro causando su falla y derrumbe.

Los posibles daños causados en los arcos también merecen atención porque podrían ocasionar la separación de las unidades de roca unidas por juntas, perdiendo el soporte de las secciones de muro y ventana en los arcos que las sostienen.

Estas secciones de muro y ventanas sobre las vigas tipo arco también sufren estos esfuerzos excesivos por lo que podrían ser afectados por fallas o daños durante un evento sísmico.

##### Posibles Soluciones

Se proponen diferentes opciones para evitar posibles fallas en los elementos estructurales, entre ellos esta:

- Al igual que el anterior una posible solución es colocar láminas o platinas metálicas junto con pernos de anclaje alrededor de las columnas o muros, o proporcionarles mayor rigidez mediante estribos y varillas longitudinales de acero corrugado recubiertas de concreto.
- Realizar una reconstrucción con concreto armado de los elementos estructurales mas afectados como las columnas, arcos y muros portantes.
- Refuerzo mediante encamisado con platinas, láminas, angulos, pernos de anclaje o pasadores adheridos en vigas tipo arco. Existen muchos métodos modernos para el reforzamiento de estos elementos estructurales con elementos metálicos, acero y productos químicos de construcción.

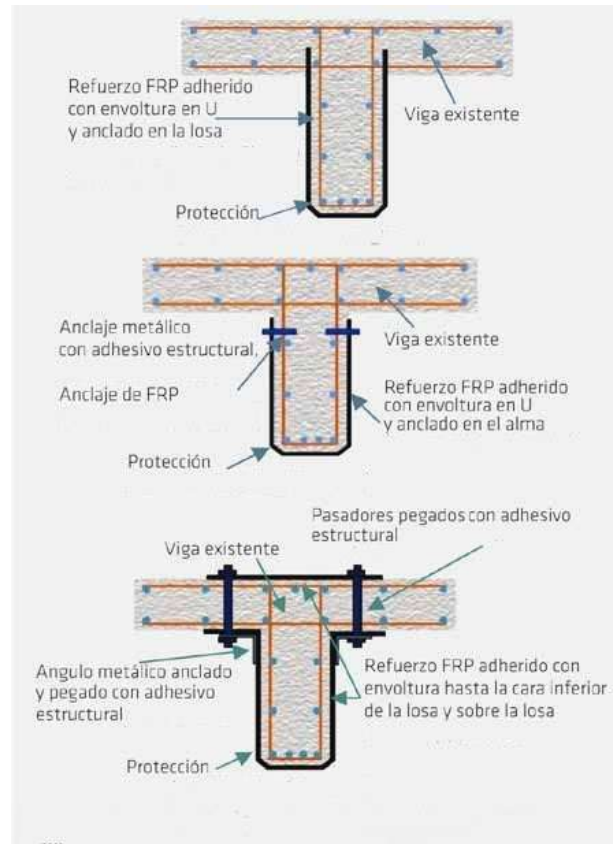
Teniendo en cuenta que los efectos producidos por el sismo en el actual plano estudiado YZ son similares a los efectos del plano XZ, se puede considerar que las técnicas de reforzamiento estructural usadas en el anterior sección también se pueden emplear en el plano YZ.

Por lo que en este apartado propondremos otros métodos de intervención estructural para reforzamiento, que naturalmente aplican también para la sección anterior.

Tenemos la técnica de reforzamiento conocido como: *Adición de elementos metálicos o de FRP (Fiber Reinforced Polymer) adheridos y/o anclados externamente*. La resistencia a la flexión de vigas (o arcos) y losas se puede mejorar adhiriendo el FRP con las fibras en el sentido de tensión o paralelo al refuerzo longitudinal y se puede colocar de tal forma que actúe de forma pasiva simplemente adhiriendo el material sobre el concreto o de forma activa tensando o pre-esforzando el FRP anclado en los extremos, en este caso el refuerzo puede estar adherido o no adherido dependiendo del diseño. Para FRP pasivo hay que verificar si necesita anclaje o no en los extremos.

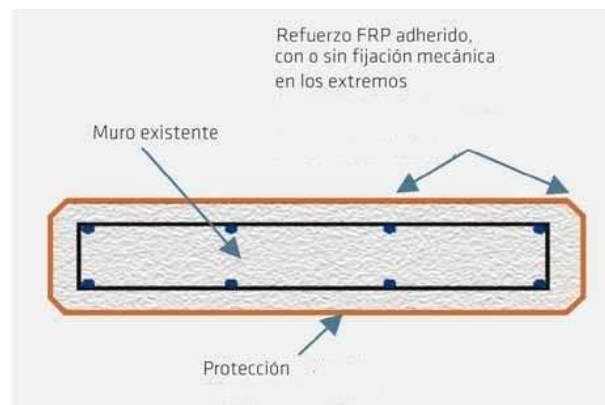
Colocando el FRP en las caras de un muro de corte se concreto se puede aumentar su resistencia a cortante. El aumento de la resistencia última a cortante y el modo de falla puede variar de acuerdo con los métodos de adherir el FRP y de acuerdo al uso o no uso de fijaciones mecánicas en los extremos del material.

**Figura 85** Instalación de platinas o láminas FRP ancladas en el reforzamiento de una viga a cortante



Fuente: Sika (2017)

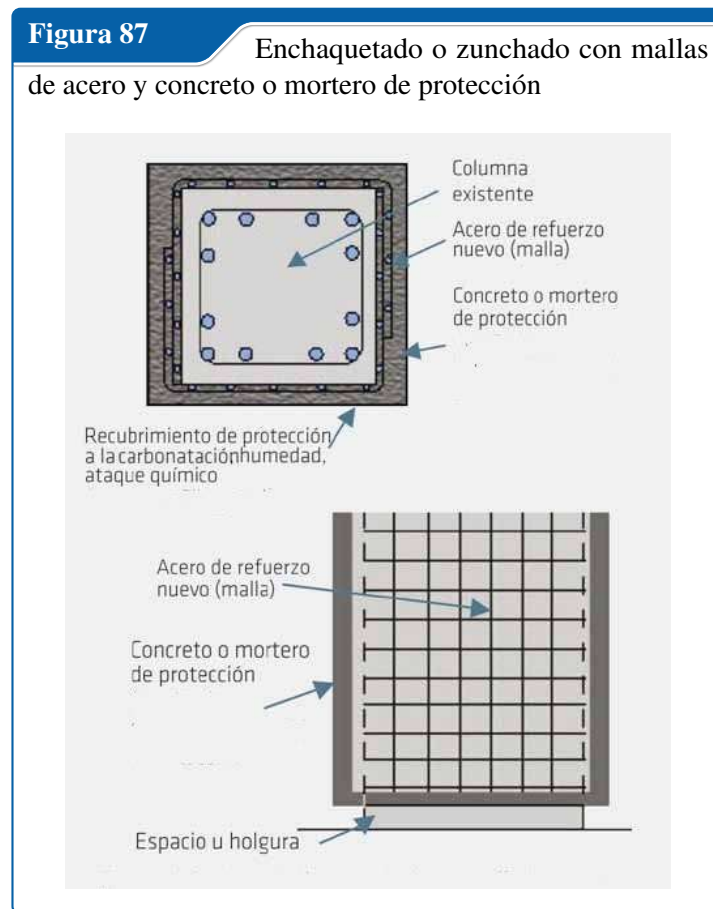
**Figura 86** Instalación de platinas o láminas FRP en el reforzamiento de un muro a cortante



Fuente: Sika (2017)

Así también tenemos como técnica de reforzamiento: *Enchaquetado o zunchado con malla de acero y concreto o mortero de protección*. El confinamiento se logra por el efecto de zunchado de una malla de acero y el concreto o mortero que se coloca superficialmente sobre la malla solo tiene una función de protección o recubrimiento, es decir, no tiene una función estructural. El mortero o concreto se puede colocar manualmente o como concreto o mortero lanzado.

En algunos diseños de reforzamiento se usan fijaciones o anclajes mecánicos para transferir la fuerza de corte entre la columna existente y el enchaquetado o envoltura.

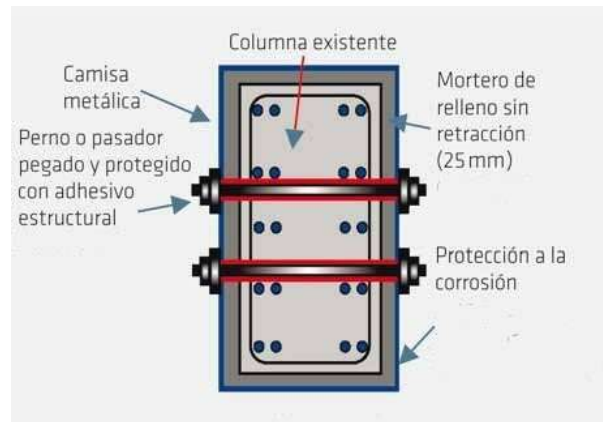


Fuente: Sika (2017)

Finalmente tenemos: *Enchaquetado o envoltura con lámina de acero (rellenadas, ancladas, adheridas)*. La técnica consiste en colocar una chaqueta o camisa con láminas de acero envolviendo la columna. El enchaquetado se puede colocar dejando una holgura o espacio entre la columna y la lámina que luego será relleno con un material cementoso (concreto o mortero) que no presente retracción el enchaquetado se puede pegar directamente al concreto o relleno con un adhesivo. Se deja una holgura arriba y abajo entre chaqueta y viga o losa para mantener constante la resistencia a la flexión.

**Figura 88**

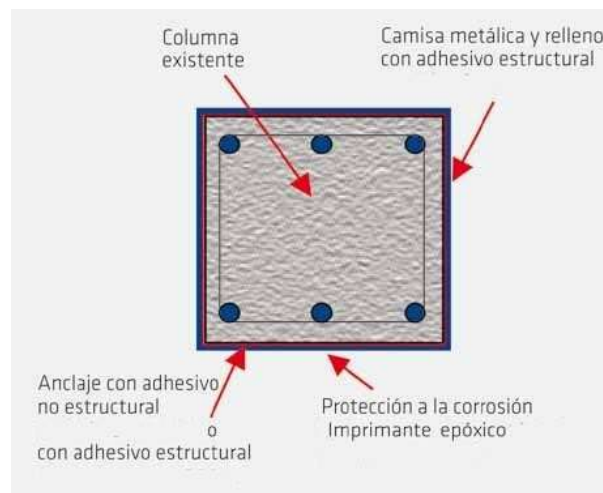
Columna reforzada mediante camisa de acero y pernos de anclaje o pasadores adheridos y con concreto o mortero de relleno



Fuente: Sika (2017)

**Figura 89**

Encamisado de acero en columnas con láminas pegadas



Fuente: Sika (2017)

#### 4.2.2.4 Esfuerzos vs Resistencia Normal en Dirección Z

##### Interpretación

Se puede observar en la contrastación de los resultados, que no existen esfuerzos normales que sobrepasen la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería. Por lo que estas no fallarán de acuerdo a nuestro estudio. A su vez no se generarán esfuerzos de tracción en la estructura por lo que la separación de la union de las unidades de albañilería a través de las juntas de mortero tradicional no ocurrirá.

### **Posibles Soluciones**

Debido a que no existen se generarán problemas asociados a los esfuerzos de compresión/tracción sobrepasen las resistencias de compresión/tracción de la albañilería de roca y mortero tradicional, no es necesario plantear soluciones respecto a estos resultados.

#### **4.2.2.5 Esfuerzos vs Resistencia Normal en Dirección X**

##### **Interpretación**

Se puede observar en la contrastación de los resultados, que no existen esfuerzos normales que sobrepasen la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería. Por lo que estas no fallarán de acuerdo a nuestro estudio. A su vez no se generarán esfuerzos de tracción en la estructura por lo que la separación de la union de las unidades de albañilería a través de las juntas de mortero tradicional no ocurrirá.

### **Posibles Soluciones**

Debido a que no existen se generarán problemas asociados a los esfuerzos de compresión/tracción sobrepasen las resistencias de compresión/tracción de la albañilería de roca y mortero tradicional, no es necesario plantear soluciones respecto a estos resultados.

#### **4.2.2.6 Esfuerzos vs Resistencia Normal en Dirección Y**

##### **Interpretación**

Se puede observar en la contrastación de los resultados, que no existen esfuerzos normales que sobrepasen la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería. Por lo que estas no fallarán de acuerdo a nuestro estudio. A su vez no se generarán esfuerzos de tracción en la estructura por lo que la separación de la union de las unidades de albañilería a través de las juntas de mortero tradicional no ocurrirá.

### **Posibles Soluciones**

Debido a que no existen se generarán problemas asociados a los esfuerzos de compresión/tracción sobrepasen las resistencias de compresión/tracción de la albañilería de roca y mortero tradicional, no es necesario plantear soluciones respecto a estos resultados.

#### **4.2.2.7 Resultados de las deformaciones en los ejes X,Y,Z**

##### **Interpretación**

De la visualización de los resultados se conoce que la deformación total en las 3 direcciones tiene como característica que las mayores deformaciones suceden en la cúpula de la catedral y los alrededores, siendo que las partes superiores del crucero, transepto, coro, deambulatorio y las partes más cercanas de las naves adyacentes donde también sufren deformaciones altas. Otro lugar donde se observan deformaciones importantes son las cúpulas de los campanarios,

ubicadas en la parte más elevada de las torres, especialmente en la torre izquierda. Las bases de los muros y columnas sufren en todos los casos menores deformaciones.

El componente de las deformaciones en la dirección X están localizados en las mismas zonas que la deformación total, con la excepción que los esfuerzos altos se extienden a lo largos de las cumbreras de los techos en su misma dirección. El componente en la dirección Y se presenta en las mismas zonas que la deformación total con valores un poco menores. Por último el componente de las deformaciones en la dirección Z se presenta en partes de los techos cercanos a la cúpula, aunque sus valores de sus deformaciones son mas bajos en comparación de los anteriores.

# Conclusiones y Recomendaciones

## 5.1 Conclusiones

Como conclusiones finales podemos mencionar lo siguiente:

1. Los resultados del cálculo estructural del análisis dinámico modal espectral que emplea el espectro de diseño sísmico a través del software *Ansys Workbench 2023 R1* nos muestran los valores de los esfuerzos normales (compresión/tracción). Luego procedemos a contrastar estos esfuerzos normales con los valores de resistencia promedio a la compresión de la roca *Brecha volcánica basáltica* de la *formación Huari* a la cual pertenecen las unidades de albañilería.

Los análisis se realizaron en los 3 ejes principales del sistema de coordenadas principal, donde Z representa la vertical y los ejes X & Y forman la horizontal. Observamos que el valor de la resistencia promedio es de 267.94 Kg/cm<sup>2</sup> o lo que lo mismo 26.28 MPa. Y los valores máximos y mínimos que se generan en cada eje son: en la dirección Z tenemos desde 2.17 KPa hasta 14.71 MPa, en la dirección X tenemos desde 3.23 KPa hasta 24.93 MPa y en la dirección Y tenemos desde 3.62 KPa hasta 22.31 Mpa.

Por lo tanto concluimos que ninguno de los esfuerzos de compresión/tracción producidos por el espectro de diseño sísmico sobrepasa la resistencia promedio a la compresión de las rocas/unidades de albañilería y tampoco generará riesgo de ocasionar fallos o roturas de material.

2. Asimismo para los resultados de los esfuerzos cortantes que se generan en los diferentes planos del sistema de coordenadas (planos XY, XZ, YZ) calculados en el mismo software tenemos conclusiones diferentes, lo que vamos a ver a continuación. Tenemos que el valor de la resistencia al corte (compresión diagonal) de la albañilería con junta de mortero tradicional es de 0.157 MPa. Los valores máximos y mínimos que tenemos de los esfuerzos cortantes son: en el plano XY tenemos desde 0.00 KPa hasta 0.674 MPa, en el plano XZ tenemos desde 1.206 KPa hasta 0.394 MPa y en el plano YZ tenemos desde 2.466 KPa hasta 0.446 MPa.

De lo anterior podemos ver que en todos los planos analizados se observa que los valores de los esfuerzos de corte generados por el espectro de diseño sísmico superan los valores de la resistencia al corte de la albañilería (donde las juntas de mortero son las primeras en fallar), por lo que se producirán fallas en diferentes zonas de estructura como se vio en el capítulo anterior. Debido a todo esto se concluye que, de acuerdo al análisis del espectro de diseño sísmico, se producirán fallas estructurales durante un sismo raro que afecta a la Catedral de Huamanga en lugares donde se la resistencia sea superada por los esfuerzos sísmicos.

3. Se realizaron ensayos de laboratorio para muestras de roca que tienen la misma procedencia que las rocas usadas en la construcción, así como ensayos *in situ* con esclerómetro en las rocas de la edificación. Todo esto nos permitió conocer las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería. Con esta información podemos concluir que la roca usada *Brecha volcánica basáltica* de la *formación Huari* posee buenas propiedades de resistencia a la compresión en general (267.94 Kg/cm<sup>2</sup>) para su uso en la construcción, por lo que sería útil en edificaciones de albañilería donde los esfuerzos de corte no sean altos, también se podrían usar como pilares monolíticos según el caso.

El sistema estructural usado en la construcción de la Catedral es: **Estructuras de Albañilería** según los parámetros usados en el RNE E.030, sin embargo a pesar de ser posible aplicar un espectro de diseño sísmico sobre la estructura no es posible definir bien los criterios para que cumplan los requisitos de rigidez, resistencia y ductibilidad como son los **desplazamientos laterales relativos** o **cortante basal mínima**, ya que la configuración de la edificación no posee un “*piso rígido*” como las edificaciones modernas basadas en losas rígidas indeformables que miden únicamente sus desplazamientos y rotaciones de un nivel con respecto a otro, que no se ajusta la estructura de la Catedral. La única manera de medir los efectos de esfuerzos sísmicos es comparándolos con las resistencias que ofrecen los elementos estructurales. Por lo tanto se concluye que no existen criterios de aprobación adecuados para edificaciones no convencionales sujetas a aceleraciones sísmicas.

En los estudios y recopilaciones de fuentes bibliográficas se observó que numerosos eventos sísmicos ocurridos en la ciudad de Ayacucho han afectado las edificaciones coloniales, entre ellas la Catedral de Huamanga. Entre estos eventos tenemos los ocurridos el 17 junio de 1719 y otros, donde resultaron destruidas algunas partes de la edificación como la cuarta columna de la nave izquierda de la Catedral. Teniendo conocimiento históricos de estos eventos se concluye que un próximo sismo raro que ocurra en la ciudad afectará de igual manera a la estructura, dañando el patrimonio cultural de la región.

Existen soluciones modernas y novedosas para el reforzamiento de secciones críticas de la edificación que pueden sufrir fallos a causa de eventos sísmicos, entre ellas están el uso de láminas o platinas metálicas, pernos de anclaje, productos químicos, varillas de acero, concreto, etc. Se concluye que un adecuado estudio y posterior implementación de técnicas de reforzamiento estructural sobre las zonas más vulnerables frente a un sismo podría evitar una falla y posterior colapso de elementos estructurales.

4. De los resultados de los cálculos en el software *Ansys Workbench 2023 R1* tenemos los valores de las deformaciones totales en la edificación, esto es: los componentes en cada dirección de los ejes del sistema de coordenadas y una deformación total que incluye a todos los componentes anteriores.

Los valores mínimos y máximos de deformación que tenemos son: para la deformación direccional en X tenemos desde 0.00 hasta 0.1908 m, en la deformación direccional en Y tenemos desde 0.00 hasta 0.1886 m y en la deformación direccional en Z tenemos desde 0.00 hasta 0.0169 m. La deformación total en las tres direcciones anteriores va desde 0.00 hasta 0.2682 m.

No poseemos criterios adecuados (que determinen si cumplen los requisitos de rigidez, resistencia y ductibilidad) para la contrastación de esta información, debido a que la edificación no posee una estructura convencional basada en *pisos rígidos* como las edificaciones modernas. Por lo tanto concluimos que no conocemos los límites que deberían permitirse para tales deformaciones y no realizaremos esta contrastación.

## 5.2 Recomendaciones

Tenemos las siguientes recomendaciones:

1. Reforzar o reconstruir las zonas de la edificación las cuales se vean más afectadas por los esfuerzos de corte de acuerdo al análisis de espectro de diseño sísmico. Explorar técnicas modernas en el mercado.
2. Formular nuevos criterios de aprobación para edificaciones no convencionales, que no cumplan con el criterio de *‘piso rígido’*, ya que los requisitos de rigidez, resistencia y ductibilidad mencionados en el R.N.E. E.030 no son aplicables a este tipo de estructuras a las cuales se les aplica el análisis de espectro de diseño.
3. Realizar estudios y ensayos de laboratorio sobre los materiales tradicionales usados en las construcciones de la ciudad de Huamanga. Existen una gran cantidad de edificaciones históricas en el centro de la ciudad y su preservación requiere tener conocimientos

de los materiales que se usan para su mantenimiento y reconstrucción. Sin embargo, debido que no existe información técnica detallada de los materiales tradicionales usados es difícil realizar un estudio de ingeniería metódico.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade Insua, L. E. (2004). *Control de la deriva en las normas de diseño sismo resistente*. (Tesis de maestría).
- Bach. Gil Sicha, M. (2012). *Arqueología histórica en Ayacucho: cementerios dentro de la arquitectura religiosa* (Tesis de maestría). Escuela de Formación Profesional de Arqueología e Historia. Ayacucho, Perú.
- Barbat, A. H. *El riesgo sísmico en el diseño de edificios*. 1998.
- Bonett, R. (2003). *Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de Edificios. Aplicación a Entornos Urbanos en Zonas de Amenaza Alta y Moderada*. (Tesis doctoral).
- Cáceres, C. J. P. (2001). *Modelación, Análisis No-Lineal y Disipación de Energía de Estructuras Planas Sometidas a Terremotos* (Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, con Diploma en Ingeniería Estructural) [Profesor Supervisor: Rafael Riddell C.]. Escuela De Ingeniería, Pontificia Universidad Católica De Chile. Santiago de Chile.
- Caicedo, C., Barbat, A., Canas, J. & Aguilar, R. *Vulnerabilidad Sísmica de Edificios, Monografías de Ingeniería Sísmica (CIMNE IS-6)*. 1994.
- Calvi, G., Priestley, M. J. N. & Kowalsky, M. (2008). Displacement-Based Seismic Design of Structures [Panhellenic Earthquake Congress Engineering & Engineering Seismology, by New Zealand Society for Earthquake Engineering]. *Earthquake Spectra*. <https://doi.org/10.1193/1.2932170>
- Castro Aroni, G. A. (2019). *Evaluación de la seguridad de las fachadas de la catedral de Lima bajo enfoque de mecanismos de colapso*. (Tesis de maestría).
- Chacara Espinoza, C. J. (2013). *Evaluación estructural de construcciones históricas en la costa peruana utilizando tecnologías modernas: el caso del hotel .<sup>El Comercio</sup>.<sup>en Lima</sup>*. (Tesis de maestría).
- Condori Cañahuaray, P. (2022). *Evaluación estructural y determinación de la vulnerabilidad sísmica, mediante el análisis no lineal pushover del templo Santa María Magdalena, Ayacucho 2022* (Tesis de maestría). Escuela Profesional de Ingeniería y Arquitectura. Lima, Perú.
- Crespellani, T. & Uzielli, M. (2001). Geotechnical Analysis and interpretation of seismic damage for the church of S. Filippo at Nocera Umbra, Italy.

- De la torre, O., Lopez, R., Salazar, A. & Roldan, J. *Evaluación estructural y comportamiento de las reparaciones efectuadas a edificaciones históricas*. 2004.
- FEMA-349. *Action Plan for Performance Based Seismic Design* [by Earthquake Engineering Research Institute]. Prepared for Federal Emergency Management Agency. by Earthquake Engineering Research Institute. Washington, DC, USA, 2000, abril.
- Gonzales, E., Urrutia, J. & Levano, J. (s.f.). *Ayacucho, San Juan de la frontera de Huamanga* (A. y. T. d. P. Coleccion Familiar, Ed.).
- Gonzales Herrera, L. C. (2018). *Análisis del comportamiento mecánico del mortero de junta; tradicional y adicionando cal en muros de albañilería de ladrillo y de bloqueta en la ciudad del Cusco* (Tesis de maestría). Escuela profesional de ingeniería civil. Cusco, Perú.
- Ingemmet. (2017). *Estudio de Recursos de Rocas y Minerales Industriales para la Inclusión Económica Social y Desarrollo en la Región Ayacucho* (inf. téc.). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Lima, Perú.
- Leguía Damiano, G. (2018). *Evaluación de la resistencia al corte y flexión de muros de albañilería confinada artesanal con carga dinámica cíclica* (Tesis de maestría). Escuela profesional de ingeniería civil. Ayacucho, Perú.
- Mancilla Mantilla, R. H. (1990). *Investigación de Arqueología-Histórica: Arquitectura del Convento de la Merced de Ayacucho* (Tesis de maestría). Escuela de Formación Profesional de Arqueología e Historia. Ayacucho, Perú.
- Martinez, G. (2007). *Vulnerabilidad sísmica para edificios históricos de obra de fábrica de mediana y gran luz*. (Tesis doctoral).
- Mendoza, R. *Revista Antropológica*. 2005. [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/revis-antrop/n3\\_2005/a05.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/revis-antrop/n3_2005/a05.pdf).
- Morche, C., W.and Albán, De la Cruz, J. & Cerrón, F. (1995). *BOLETIN N°61 Serie A: Carta Geológica Nacional / Geología del cuadrángulo de Ayacucho, Hojas : 27-ñ* (inf. téc.). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima-Perú.
- Priestley, M. J. N. (1993). Myths and Fallacies in Earthquake Engineering-Conflicts Between Design and Reality. *New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 329-341.
- Priestley, M. J. N. (2000). Performance Based Seismic Design [by New Zealand Society for Earthquake Engineering]. *World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zeland*. <http://www.nzsee.org.nz/>

- Proaño, R., Olarte, J., Torres, M., Scaletti, H. & Zavala, C. *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la Catedral del Cusco*. 2003.
- Proaño, R., Torres, M., Olarte, J., Zavala, C., Aguilar, Z., H., S. & Rodríguez, M. (2003). Vulnerabilidad sísmica de la Catedral del Cusco.
- Proyecto INDECI-PNUD PER/ 02/ 051 Ciudades Sostenibles, I. (s.f.). *Estudio: Mapa de peligros de la ciudad de Ayacucho* (inf. téc.). Instituto Nacional de Defensa Civil.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F. & Lucio, P. B. (2014). *Metodología de la Investigación* (M. G.-H. / Interamericana, Ed.; 6.ª ed.).
- Sánchez Cárdenas, M. I. (2013). *Vulnerabilidad sísmica de construcción patrimoniales históricas de mampostería en Chile: aplicación a los torreones españoles de Valdivia*. (Tesis de maestría).
- Serrano Pinzan, J. D. (2003). *Bases para la evaluación de vulnerabilidad sísmica de monumentos históricos*. (Tesis de maestría).
- Shibata, A. & Sozen, M. A. (1976). The Substitute Structure Method for Earthquake-Resistant Design of Reinforced Concrete Frames. *Research Applied to National Needs Program the National Science Foundation*.
- Sika, C. S. *Reforzamiento de estructuras de concreto*. 2017, febrero.
- Vargas Díaz, L. (2016). *Determinación de propiedades mecánicas de la mampostería de adobe, ladrillo y piedra en edificaciones históricas peruanas* (Tesis de maestría). Facultad de ciencias de ingeniería. Lima, Perú.
- Vargas Gordillo, L. X. (2017). *Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del mortero tradicional y el mortero no convencional en muretes de albañilería* (Tesis de maestría). Facultad de ingeniería civil. Lima, Perú.
- Yu, Y. L., Kuo, C. C. & Meng, H. T. (2002). *Displacement-Based Seismic Design for Buildings*. Chinese Institute of Engineers.
- Zavala, C., Vasquez, L., Salinas, R., Proaño, R. & Huaco, G. (2003). Experiencias recientes de evaluación estructural de edificaciones históricas.

## **Anexos**

### **A.1 Matriz de consistencia**

**Tabla 25:** Matriz de consistencia

<b>Título : EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL</b>							
<b>Autor : Franz Tonny BALDEON VALDEZ</b>							
<b>PROBLEMAS</b>		<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>OPERACIONALIZACIÓN</b>			
<b>Problema general</b>		<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>	<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Medidas</b>	<b>Método</b>
El problema que se plantea es conocer el comportamiento sísmico que presenta la edificación colonial, los efectos producidos por el espectro de diseño sísmico y la resistencia de la estructura a las esfuerzos mediante el análisis dinámico modal espectral de la Catedral de Huamanga.		Conocer el comportamiento sísmico de la estructura de la Catedral de Huamanga con su estructura colonial, así como los materiales usados en la construcción, y comprobar si es capaz de resistir los esfuerzos y deformaciones producidos por las aceleraciones sísmicas del espectro de diseño modal espectral del R.N.E. E.030	Si realizamos un análisis sísmico dinámico de acuerdo al espectro de diseño presente en la normativa E.030, aplicado a la estructura de la Catedral de Huamanga, usando software de elementos finitos (más adecuado para construcciones con sistema estructural no convencional) con los datos obtenidos de estudios podremos obtener resultados que nos permitan determinar si la Catedral es capaz de resistir los esfuerzos y deformaciones ocasionados por un sismo raro.	<b>Independientes</b> Propiedades de Materiales estructurales.  Sistema estructural no convencional.  Estado de conservación de infraestructura actual  Vulnerabilidad focalizada en zonas estructurales.	<b>Indicadores Independientes</b> Resistencia a la comprensión, Modulo de elasticidad, Coeficiente de Poisson, Cohesión, Angulo de fricción, etc.  Estructuras de Albañilería, Estructuras de Madera, Estructuras de Tierra.  Esfuerzos que superan la capacidad admisible según la resistencia de los materiales.	$\sigma, E, \nu, G, \phi, c,$ MPa, m, mm/mm	<b>Propósito de la investigación</b> Investigación aplicada.  <b>Profundidad de la investigación</b> Investigación explicativa.  <b>Duración del tiempo de investigación</b> Investigación longitudinal.  <b>Tipo de Inferencia en Metodología</b> Investigación inductiva  <b>Grado de control</b> Diseño propiamente comparativo  <b>Tipo de manipulación</b> Investigación cuasi-experimental  <b>Diseño de investigación</b> <b>Diseño cuantitativo</b> Diseño de Investigación Experimental  <b>Población</b> Es el conjunto de todas las construcciones y edificaciones religiosas coloniales, semejantes entre sí, tradicionalmente relacionadas con la fe católica y la arquitectura de herencia española construidas en la sierra peruana. En todo el país se encuentran grandes Catedrales e Iglesias de este tipo, principalmente en las capitales regionales de pasado colonial como Arequipa, Cusco, Puno, etc. La población es finita.  <b>Muestra</b> Es el subconjunto de la población que es una muestra representativa de la población. En nuestro caso la muestra estaría representada por la Catedral de Huamanga, que forma parte de todas esas edificaciones coloniales y presenta en su construcción todas las caracterís-
<b>Problemas específicos</b>		<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicos</b>	<b>Dependientes</b>			
1	No existe conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de los materiales de construcción y tampoco se sabe si son adecuados para las necesidades de resistencia estructurales frente a movimientos sísmicos. Es necesario conocer las propiedades y características de estos materiales realizando estudios de laboratorio y buscando información bibliográfica.	Realizar ensayos y buscar la información bibliográfica del origen y las propiedades físico-mecánicas de los materiales usados en la construcción de la Catedral de Huamanga, debido a que son elementos constructivos poco usados en la actualidad, así también la información sobre materiales es escasa para realizar cálculos estructurales.	Si se realizan ensayos técnicos de los materiales estructurales que conforman la estructura de la Catedral, así como investigaciones bibliográficas, se pueden conocer sus propiedades físicas, así como las resistencias a la compresión, corte, tracción, módulo de elasticidad, etc. Con esta información procederemos a realizar los cálculos estructurales y buscar posibles reemplazos técnicos para estos con nuevos materiales si es necesario.	El comportamiento estructural de la Catedral de Huamanga según las aceleraciones del espectro de diseño. Este comportamiento es el que determinará como se relaciona el estudio sísmorresistente con las variables independientes, así como estas últimas deben ser modificadas para cumplir con los requisitos técnicos de la norma peruana.	<b>Indicadores Dependiente</b> Esfuerzo normal de compresión.  Esfuerzo normal de tracción  Esfuerzo cortante		
2	No existe procedimientos en la norma peruana para realizar análisis o estudios sísmicos en este tipo de edificaciones. Por lo cual no es posible determinar la resistencia o no de las estructura frente a sismos. El procedimiento de construcción de la edificación empleado en época colonial está desfasado y es ineficientes actualmente.	Realizar el procesamiento de los resultados de los esfuerzos y deformación obtenidos del estudio mediante software de elementos finitos, para luego realizar un análisis comparativo con las propiedades de resistencia a la compresion y cortante de los materiales usados en la construcción de la catedral de Huamanga.	Si realizamos un cálculo estructural mediante un software de elementos finitos, aplicado a la Catedral que posee un tipo de construcción no convencional, buscaremos los criterios de admisibilidad mas prácticos para determinar si la estructura de la edificación es capaz de resistir los efectos de un sismo según el espectro de diseño de la norma peruana.				
3	Se observa que ciertas zonas de la Catedral de Huamanga podrían necesitar reforzamientos o reconstrucción debido a su grado de deterioro. No se conocen las zonas que podrían verse más afectadas durante un movimiento sísmico. Pero la falta de información para realizar cálculos estructurales impide la adecuada implementación de estos métodos.	Ubicar las zonas que se vean más afectadas por los esfuerzos y deformaciones producidos por el espectro de diseño de un sismo raro. Esto para proponer en el futuro se realicen procedimientos estructurales para el reforzamiento de elementos tales como columnas, arcos y muros en dichas zonas.	Si recopilamos información histórica de eventos sísmicos de gran magnitud que afectaron a edificaciones tradicionales como Catedrales y otros semejantes, enfocándose en la respuesta sísmica de dichas construcciones, así como los daños y efectos posteriores, podremos predecir el comportamiento sísmico de la infraestructura de la Catedral y las consecuencias que pueda sufrir debido a los sismos.				

Fuente: Elaboración propia.

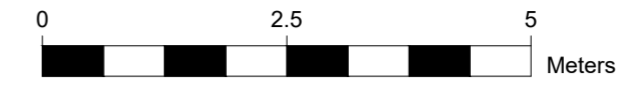
## Planos

### B.1 Planos

#### B.1.1 Planos CAD de DDC Ayacucho / Instituto Nacional de Cultura

Los planos CAD proporcionados por *DIRECCIÓN DESCONCENTRADA DE CULTURA AYACUCHO* son los siguientes:

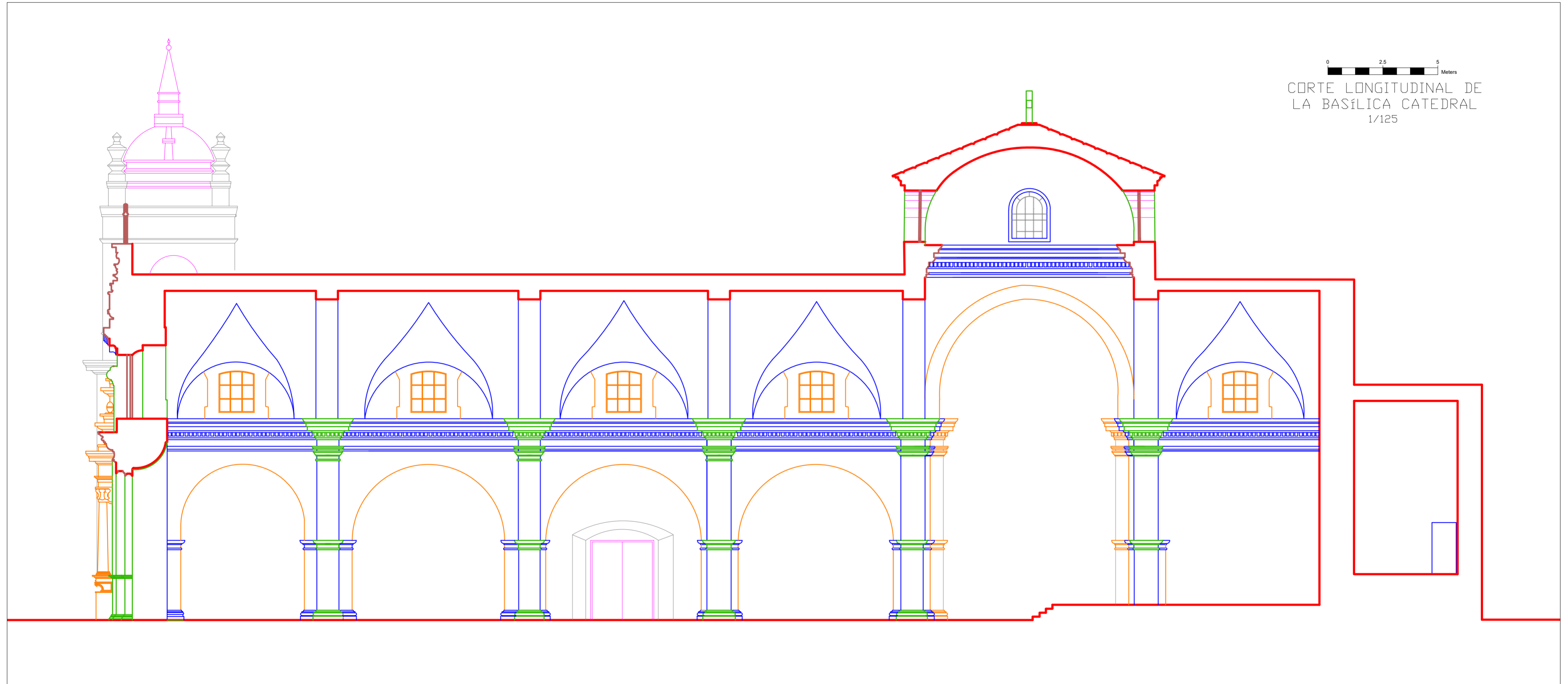
Vista Frontal



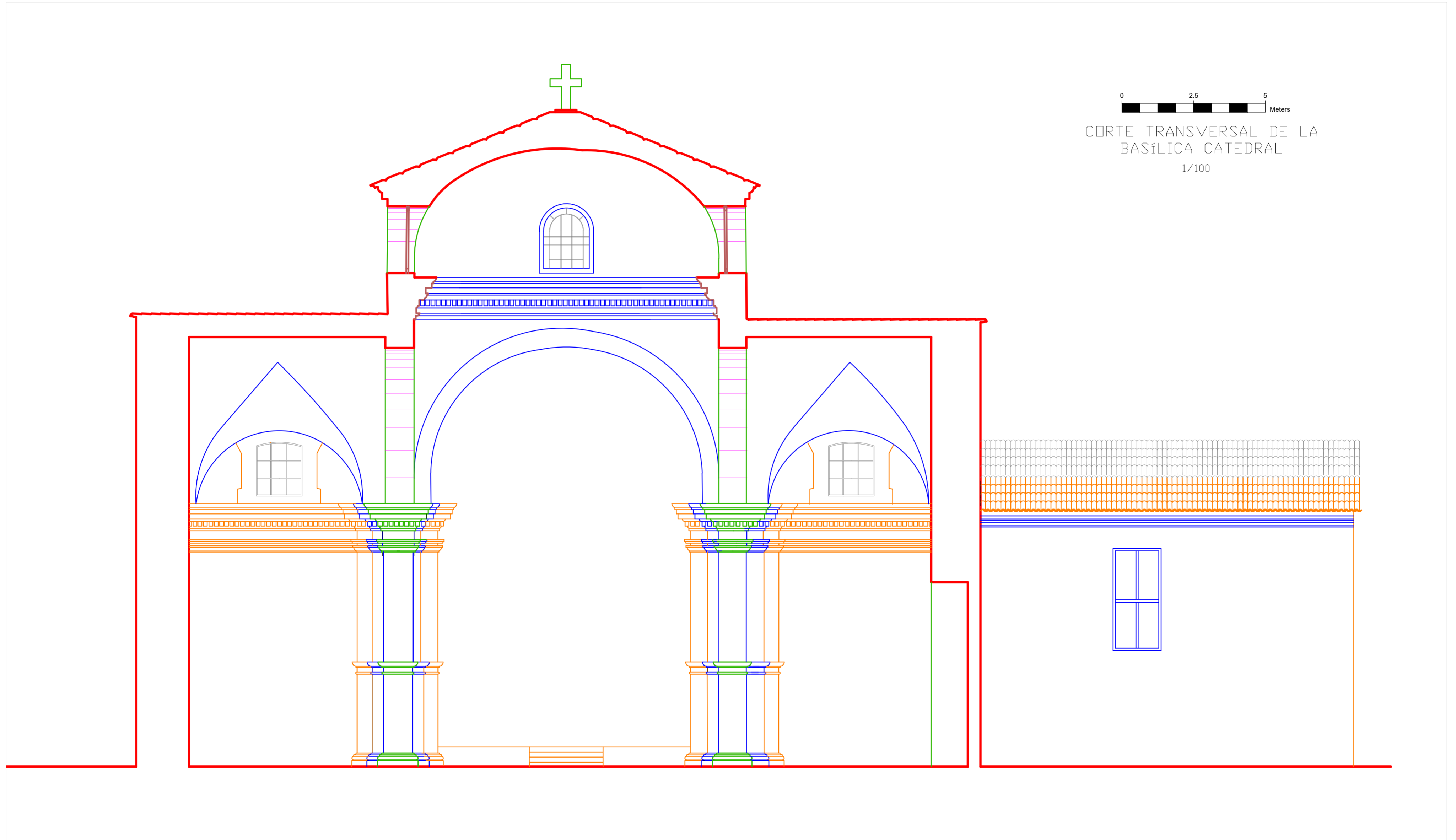
FACHADA DE LA  
BASÍLICA CATEDRAL  
ESC: 1/75



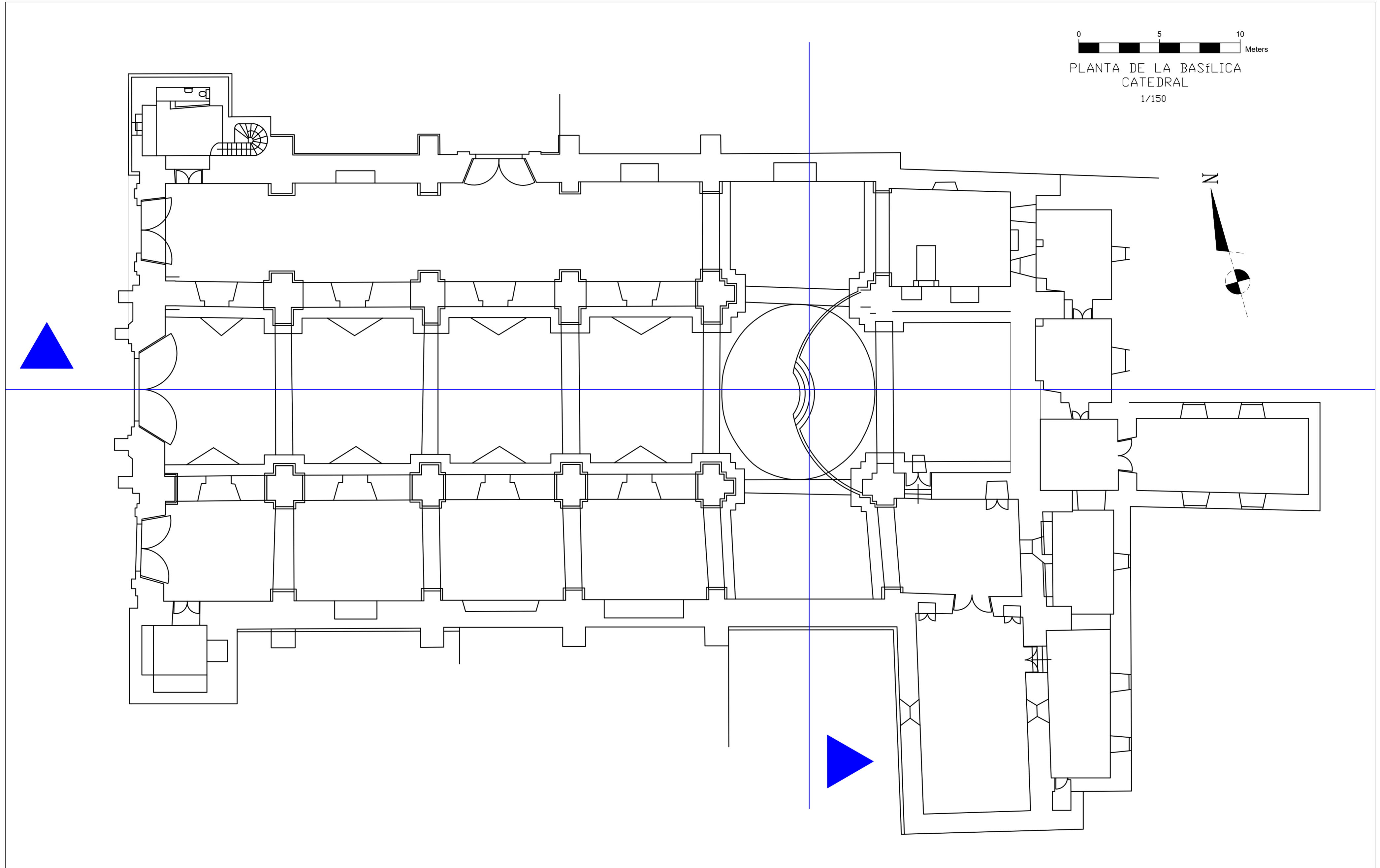
Sección Longitudinal



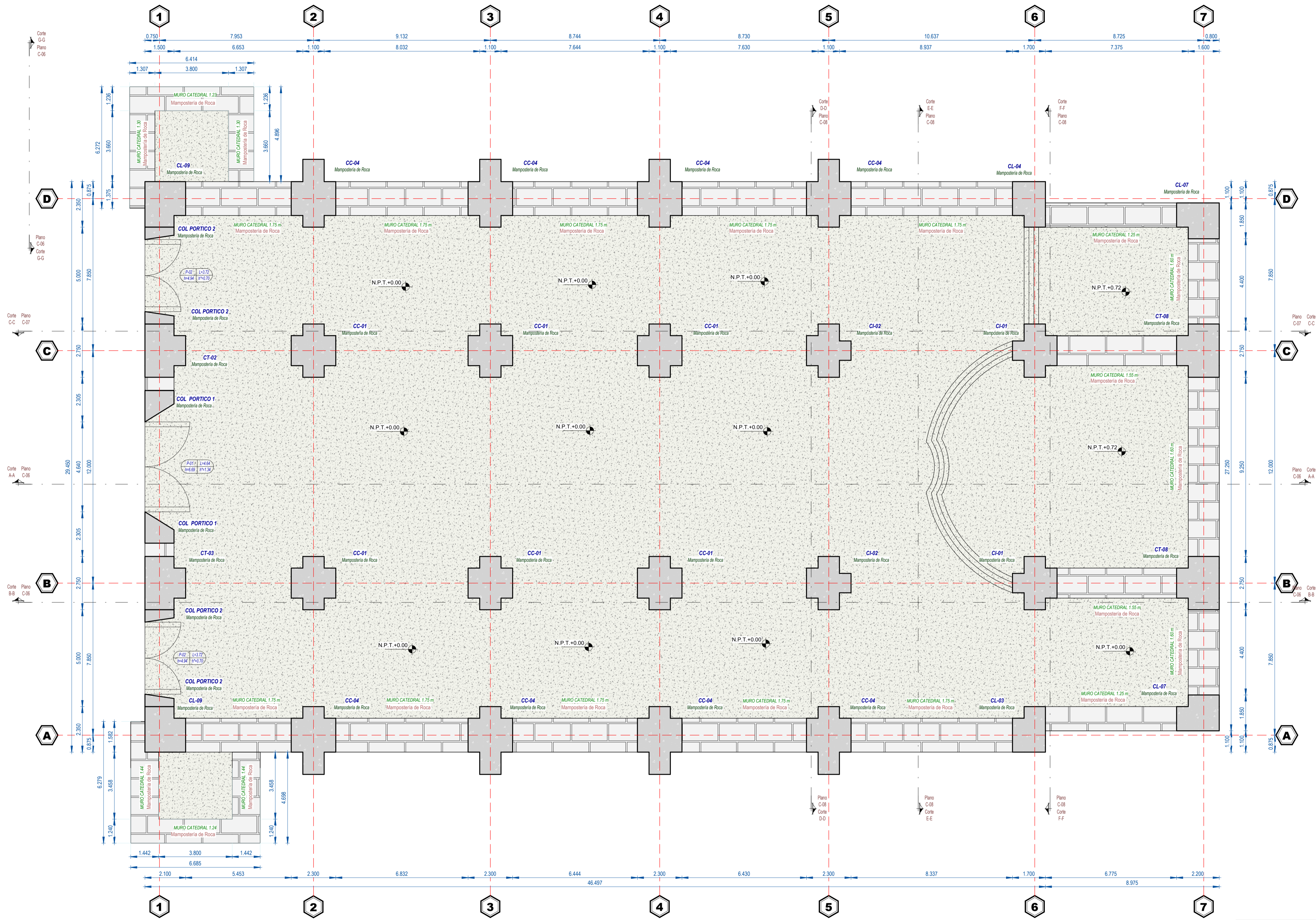
Sección Transversal




Plano de Planta

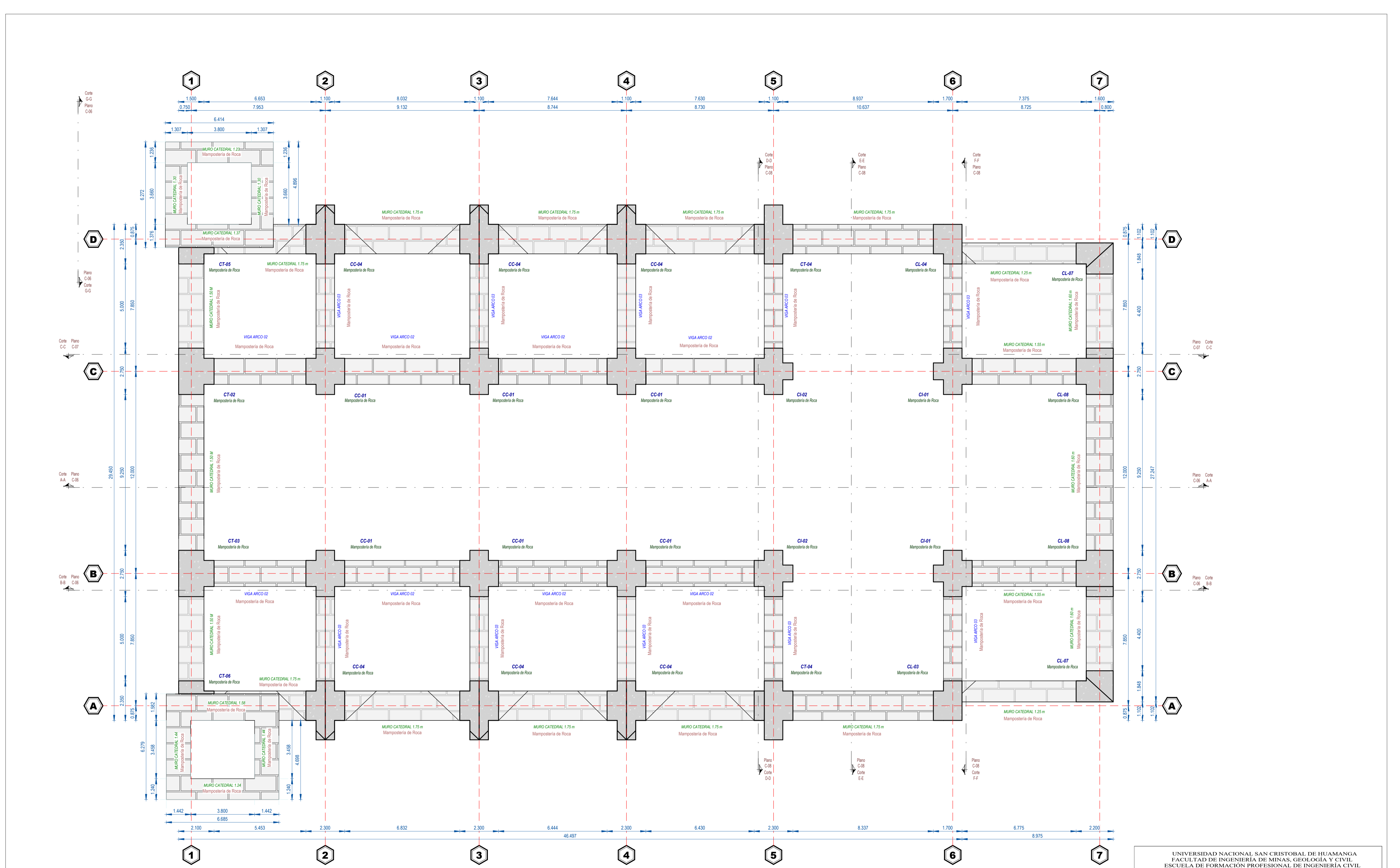


## **B.1.2 Planos en modelo 3D de la edificación en Autodesk Revit 2023**




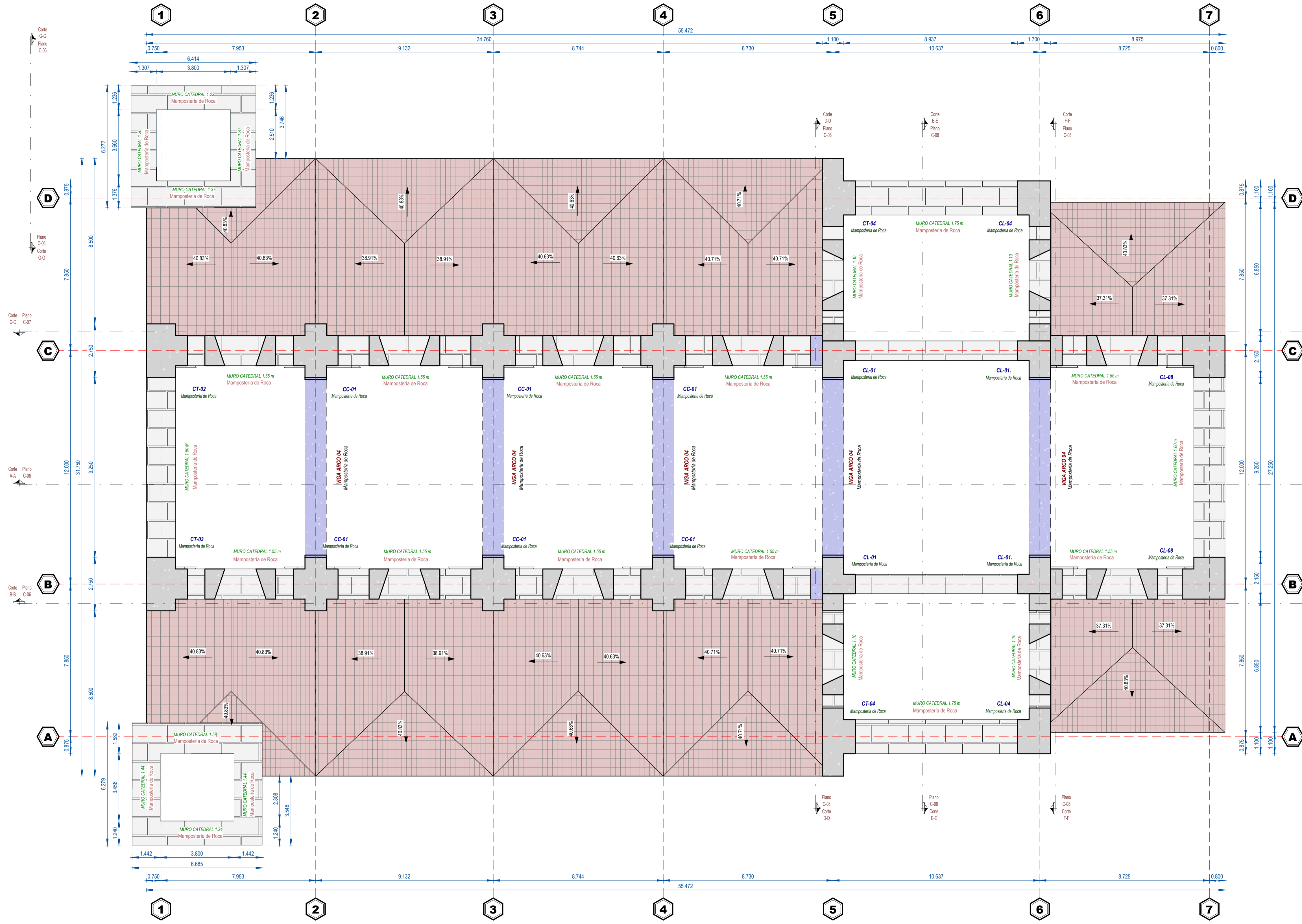
NIVEL 1  
Escala: 1:100

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS : "EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL"			
ESTRUCTURA PLANTA PRIMER NIVEL			
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA "Real Pontificia y Superior"	PRESENTADO POR: BALDEON VALDEZ	ASESOR: SIG. ROLANDO CIBEROS AYALA	NRO PLANO: C-01
	ENERO INDICADA	JUNIO 2023	PROV.: HUAMANGA LUG.: PLAZA MAYOR DE HUAMANGA
DPTO.: AYACUCHO	REVISADO:	APROB.:	



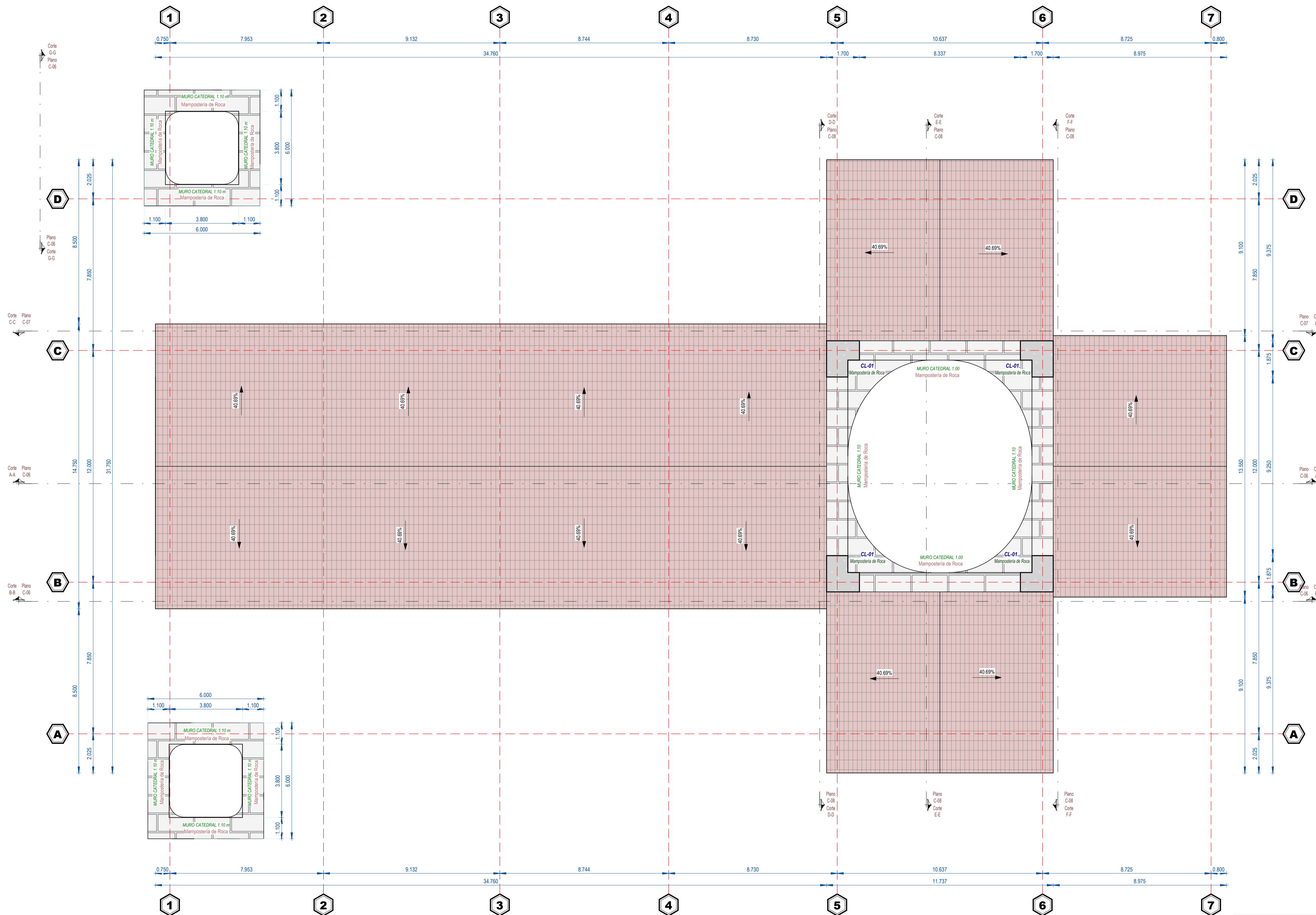
1 NIVEL 2  
Escala: 1:100

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TESIS : "EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL"				
ESTRUCTURA PLANTA SEGUNDO NIVEL				
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA <i>San Cristóbal y Huamanga</i>	PRESENTADO POR: Baldoz Tony BALDEON VALDEZ	ASESOR: Ing. ROLANDO CIBEROS AYALA	No. PLANO C-02	
	ESCRIBIÓ: INDIKADA	FECHA: JUNIO 2023	UBICACION: DPTO. AYACUCHO PROV.: HUAMANGA LUG.: PLAZA MAYOR DE HUAMANGA	
DPTO. AYACUCHO	REVISADO:	APROB.:		




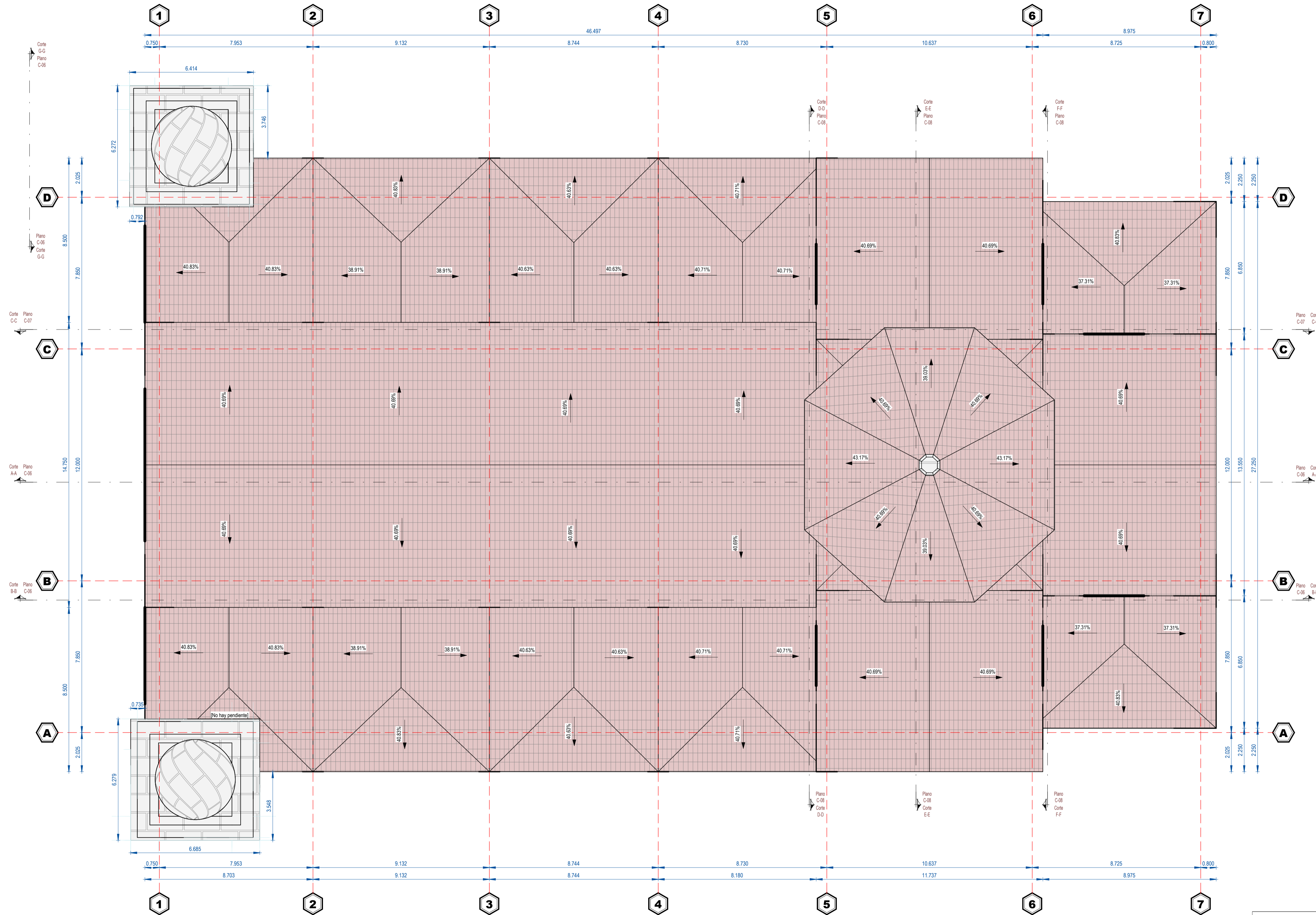
**1** NIVEL 3  
Escala: 1:100

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS : "EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL"			
ESTRUCTURA PLANTA TERCER NIVEL			
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA <i>San Cristobal de Huamanga</i>	PRESENTADO POR: Sr. FRANZ TONY BALDEON VALDEZ	ASESOR: Ing. ROLANDO CIBEROS AYALA	NRO PLANO: C-03
	FECHA: JUNIO 2023	PROV.: HUAMANGA PLAN: PLAN MAJOR DE HUAMANGA	
UBICACION: DPTO. AYACUCHO	REVISADO: APROB.:		



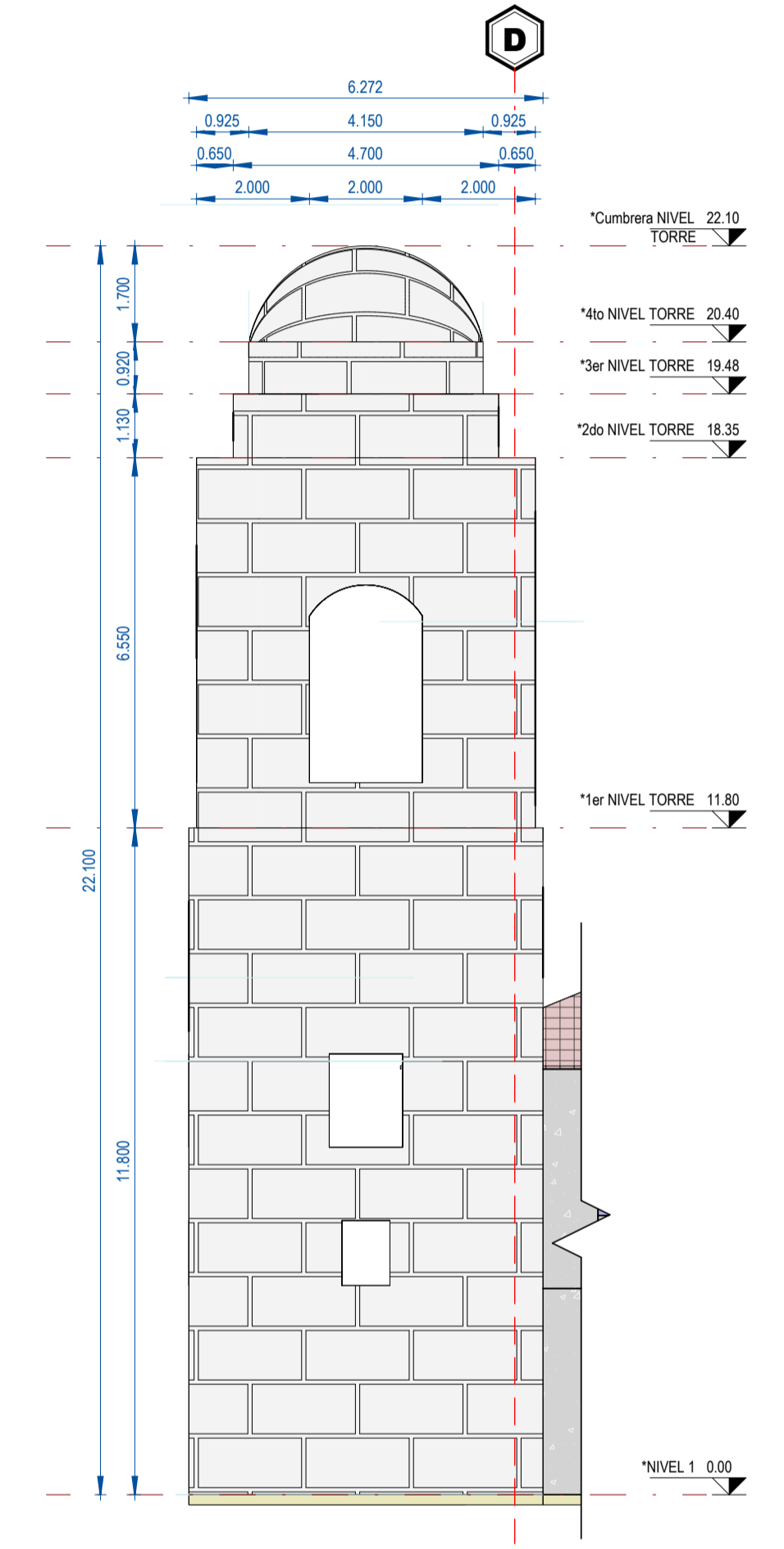
NIVEL 4  
Escala: 1:100

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS : "EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL"			
ESTRUCTURA PLANTA CUARTO NIVEL			
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA <i>San Cristóbal y Huamanga</i>	PRESENTADO POR: Ing. FRANZ TONY BALDEON VALDEZ	ASESOR: Ing. ROLANDO CIBEROS AYALA	NRO PLANO: C-04
	ENLACE: INDICADA	FECHA: JUNIO 2023	UBICACION: DPTO. AYACUCHO PROV. HUAMANGA LUG. PLAZA MAYOR DE HUAMANGA
DPTO. AYACUCHO	REVISADO:	APROB.:	



1. TECHO  
Escala: 1 : 100

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS : "EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL"			
ESTRUCTURA NIVEL TECHO			
PRESENTADO POR: Bch. FRANZ TONY BALDEON VALDEZ	ASesor: Ing. ROLANDO CIBEROS AYALA	No. PLANO C-05	
ESCALA: INDICADA	FECHA: JUNIO 2023	PROV.: HUAMANGA LUG.: PLAZA MAYOR DE HUAMANGA	
UBICACION: DPTO. AYACUCHO DIST. AYACUCHO	APROB.:	REVISADO:	
DPTO. AYACUCHO	REVISADO:	APROB.:	REVISADO:

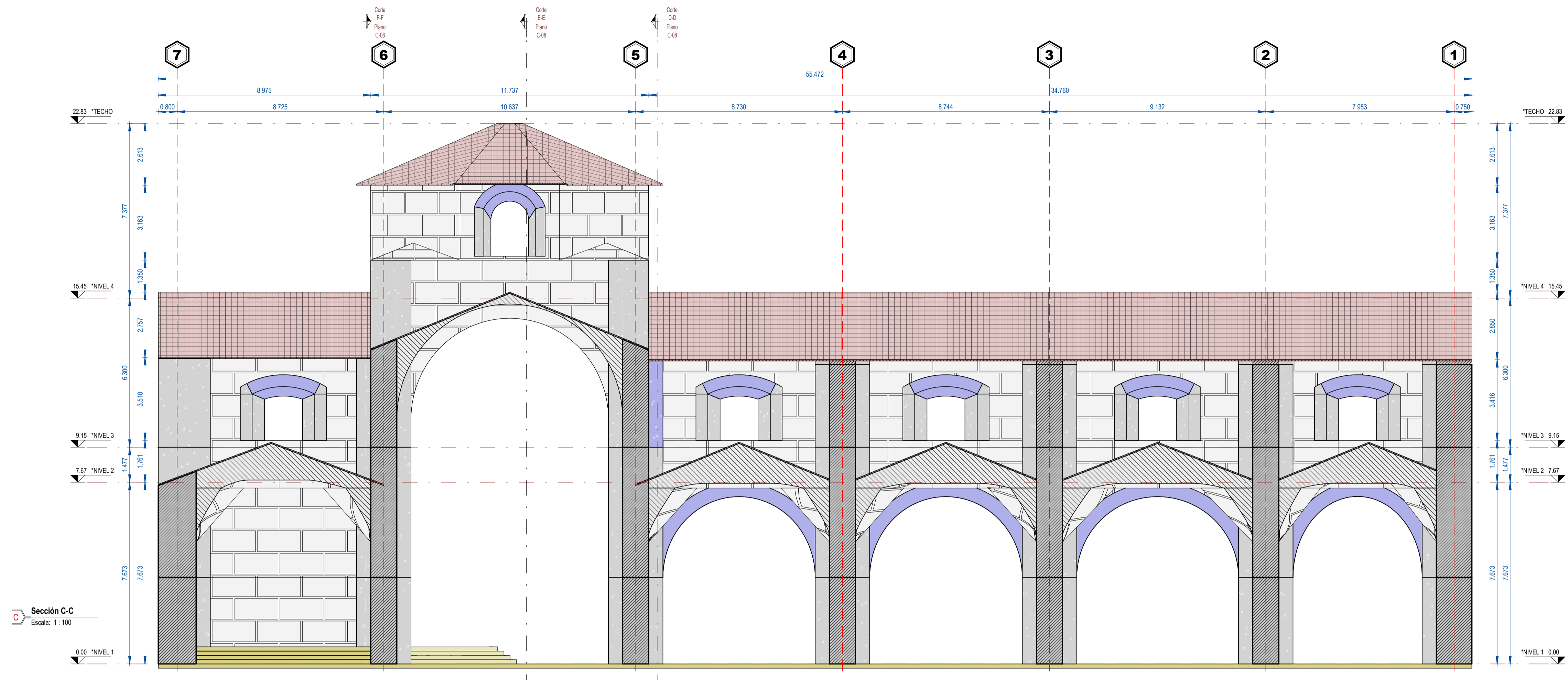


Sección A-A  
Escala: 1:100

Sección B-B  
Escala: 1:100

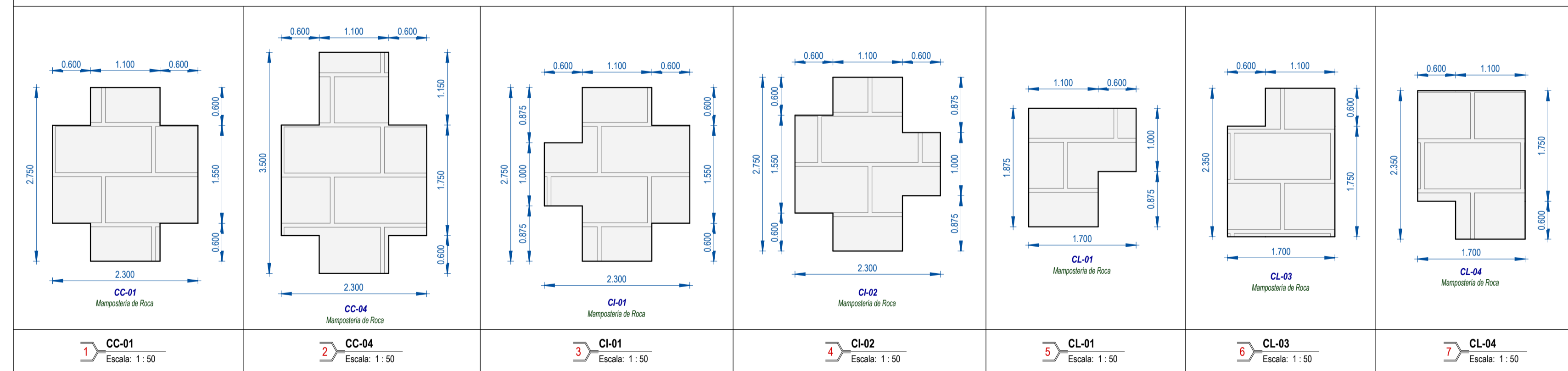
Sección G-G  
Escala: 1:100

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS : "EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL"			
ESTRUCTURA CORTE LONGITUDINAL			
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA <i>San Cristobal y Huamanga</i>	PRESENTADO POR: BACH. FRANZ TONNY BALDEON VALDEZ	ASESOR: ING. ROLANDO CIBEROS AYALA	NRO PLANO: C-06
	ENERO INDICADA	JUNIO 2023	PROV.: HUAMANGA PLAN MAJOR DE HUAMANGA
UBICACION: DPTO. AYACUCHO DIST. AYACUCHO	REVISADO: APROB.:	LUG.:	

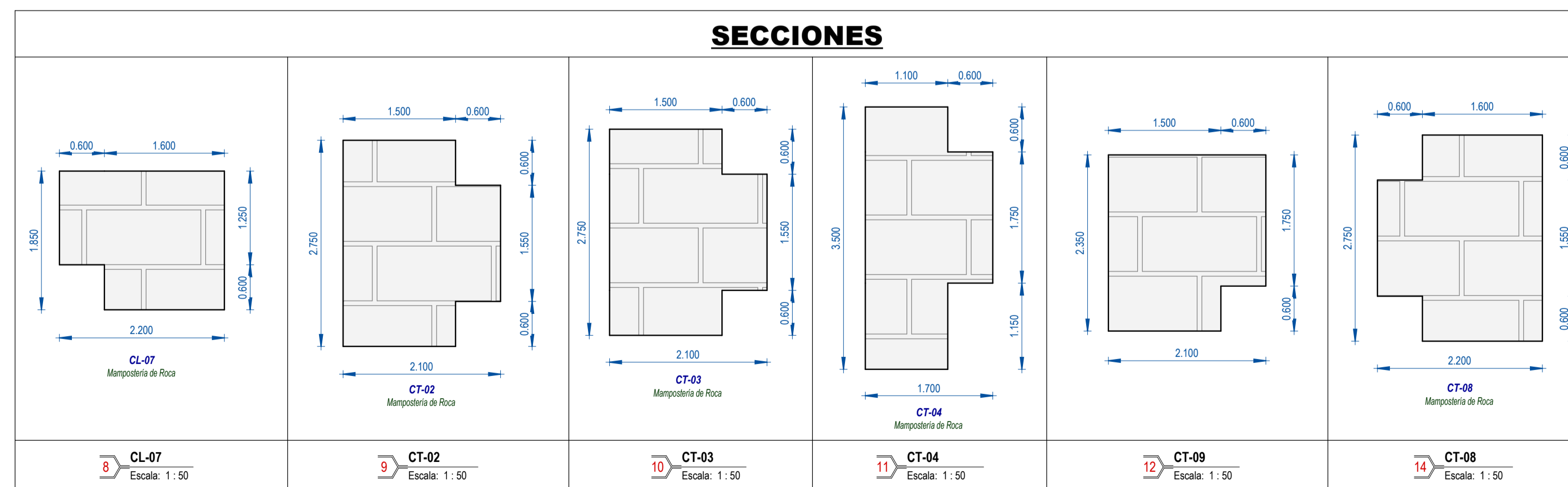


**C Sección C-C**  
Escala: 1: 100

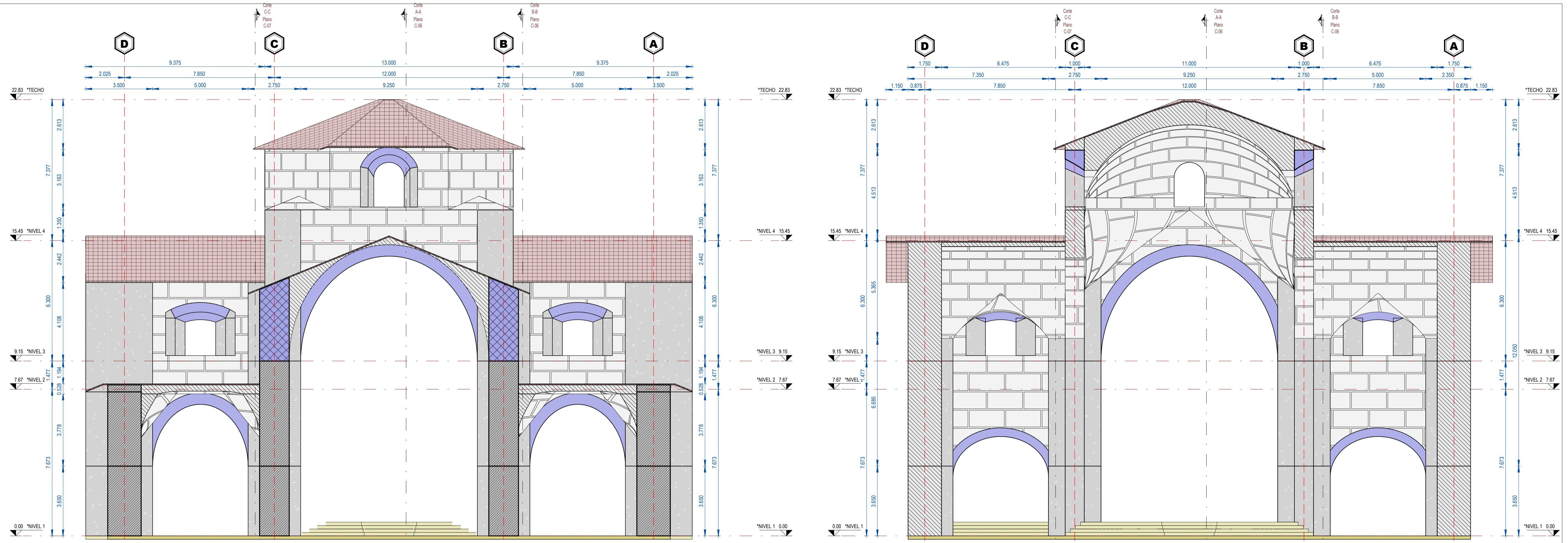
**SECCIONES**



**SECCIONES**

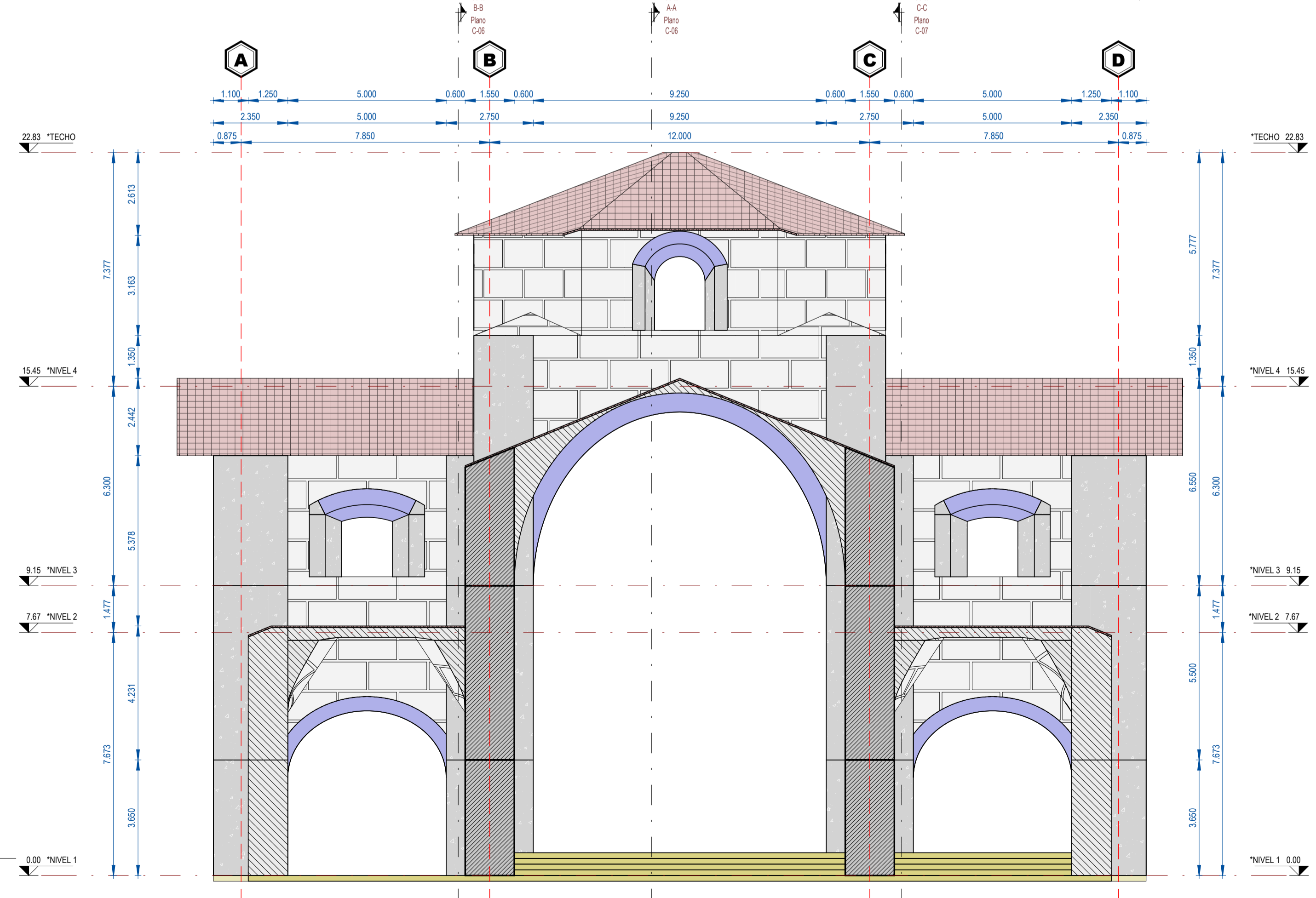


UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
TESIS : "EVALUACIÓN DE ESFUERZOS ANTE LA ACCIÓN DE UN SISMO RARO DE LA BASÍLICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL"			
ESTRUCTURA <b>CORTE LONGITUDINAL</b>			
PRESENTADO POR: Ing. FRANZ TONY BALDEON VALDEZ	ASESOR: Ing. ROLANDO CIBEROS AYALA	NRO PLANO: <b>C-07</b>	
ESCALA: INDICADA	FECHA: JUNIO 2023	UBICACION: PROV.: HUAMANGA DPTO.: AYACUCHO LUG.: PLAZA MAYOR DE HUAMANGA	
DPTO.: AYACUCHO	REVISADO:	APROB.:	APROB.:



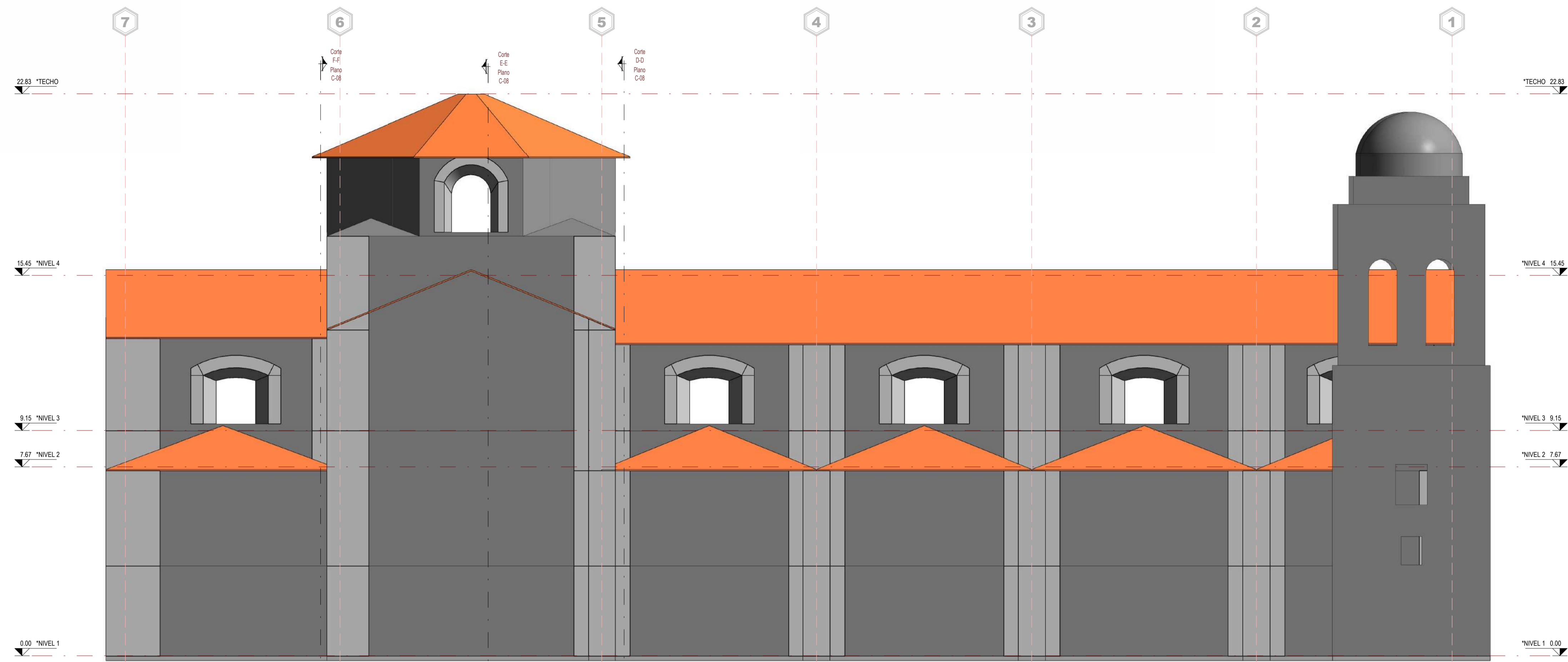
**D** Sección D-D  
Escala: 1:100

**E** Sección E-E  
Escala: 1:100

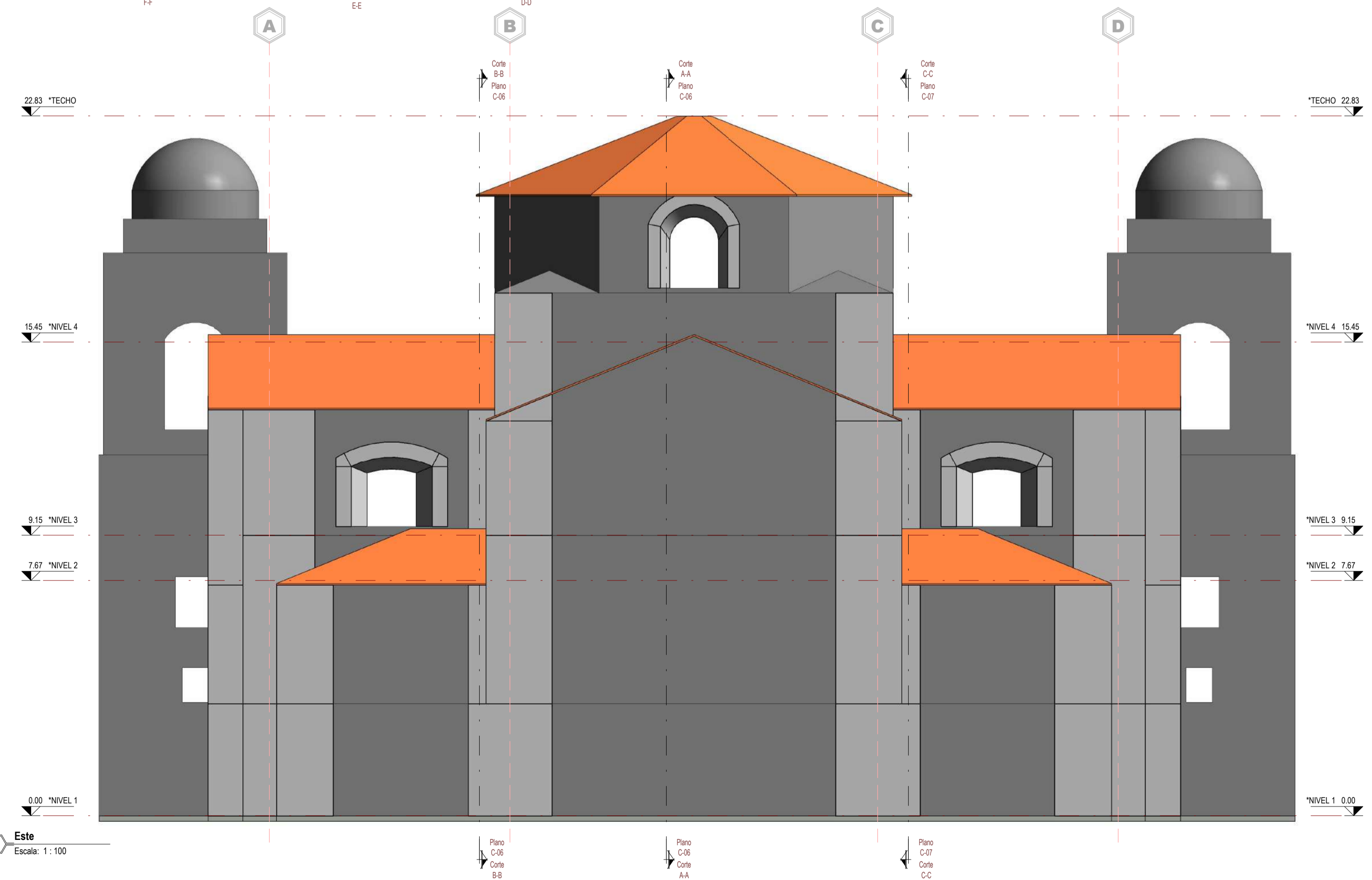


**F** Sección F-F  
Escala: 1:100


UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS : "EVALUACIÓN DE ESFUERZOS ANTE LA ACCIÓN DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL"			
ESTRUCTURA CORTE TRANSVERSAL			
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA	PRESENTADO POR: Bch. FRANZ TONY BALDEON VALDEZ	ASESOR: Ing. ROLANDO CIBEROS AYALA	Nro PLANO C-08
	ENCOMIENDA: INDICADA	FECHA: JUNIO 2023	PROV.: HUAMANGA LUG.: PLAZA MAYOR DE HUAMANGA
UBICACION: DPTO. AYACUCHO DIST. AYACUCHO	REVISADO: APROB.:	DPTO. AYACUCHO	

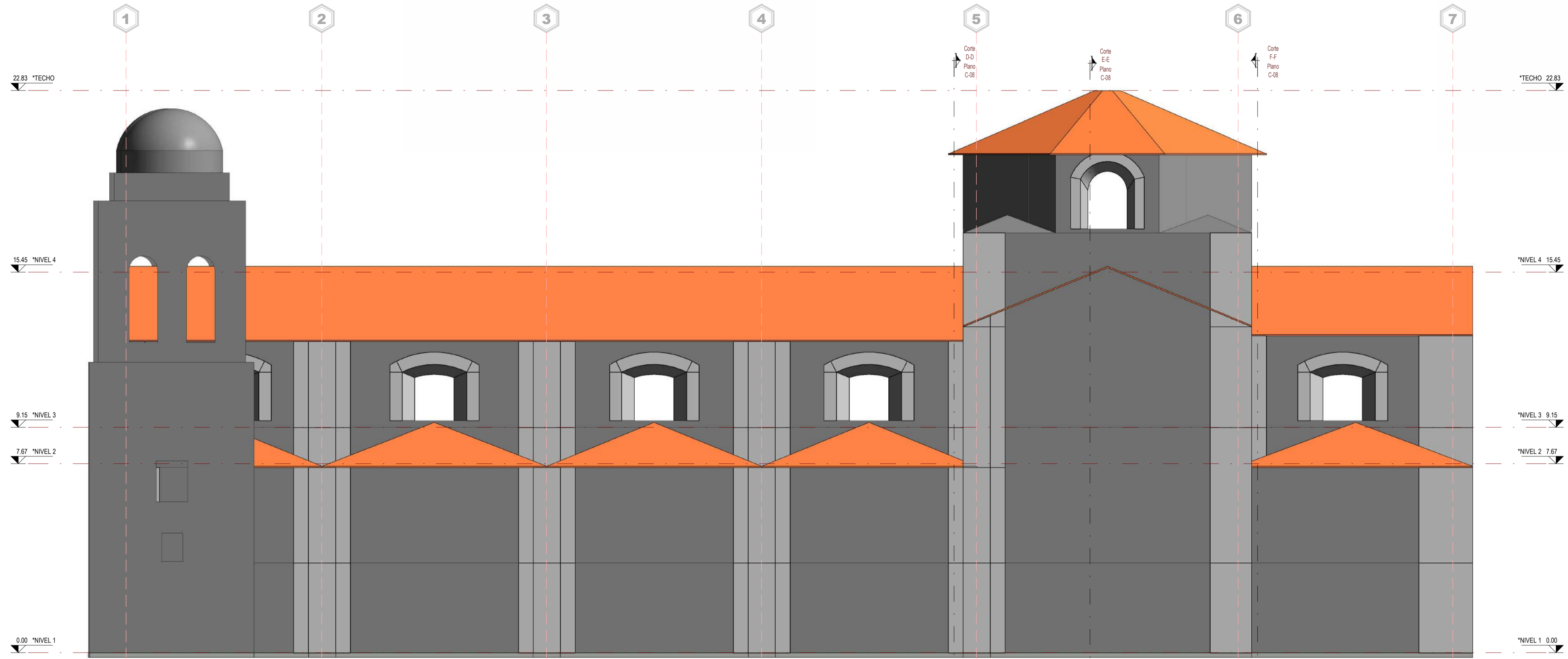


2 Norte  
Escala: 1:100

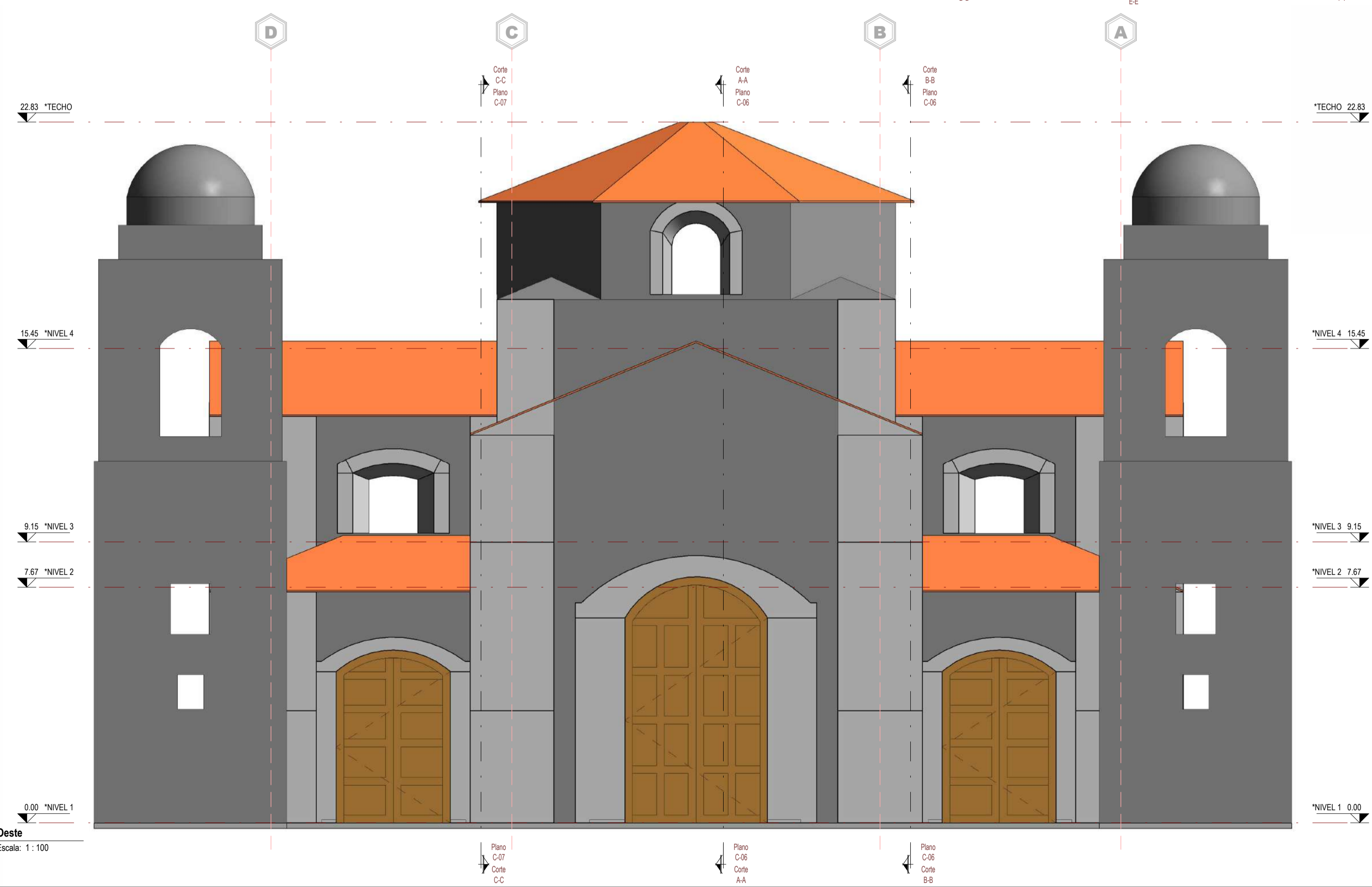


1 Este  
Escala: 1:100


UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS : "EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL"			
ESTRUCTURA ALZADOS			
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUAMANGA 1927	PRESENTADO POR: Bach. FRANZ TONY BALDEON VALDEZ	ASESOR: Ing. ROLANDO CISNEROS AYALA	NO PLANO
	INDICADA	FECHA: JUNIO 2023	C-09
UBICACION: DPTO: AYACUCHO DIST: AYACUCHO	PROV.: HUAMANGA LUG.: PLAZA MAYOR DE HUAMANGA	APROB:	
DPTO: AYACUCHO	REVISADO:		

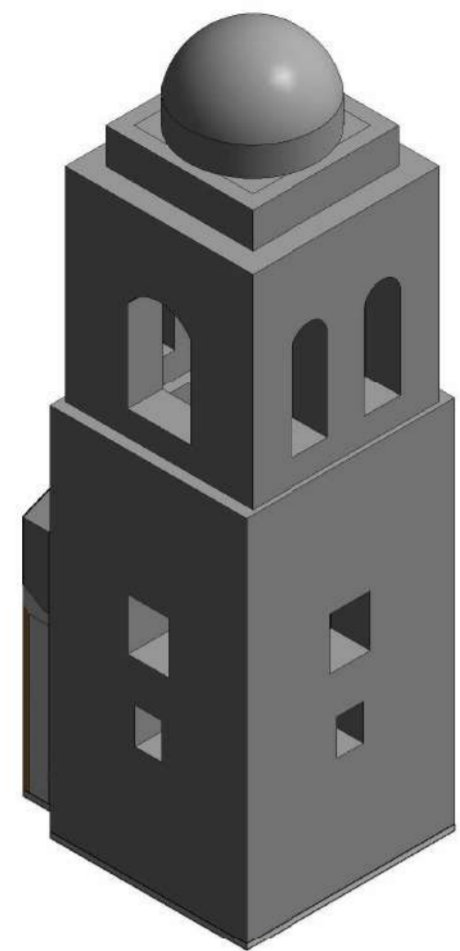


2 Sur  
Escala: 1:100

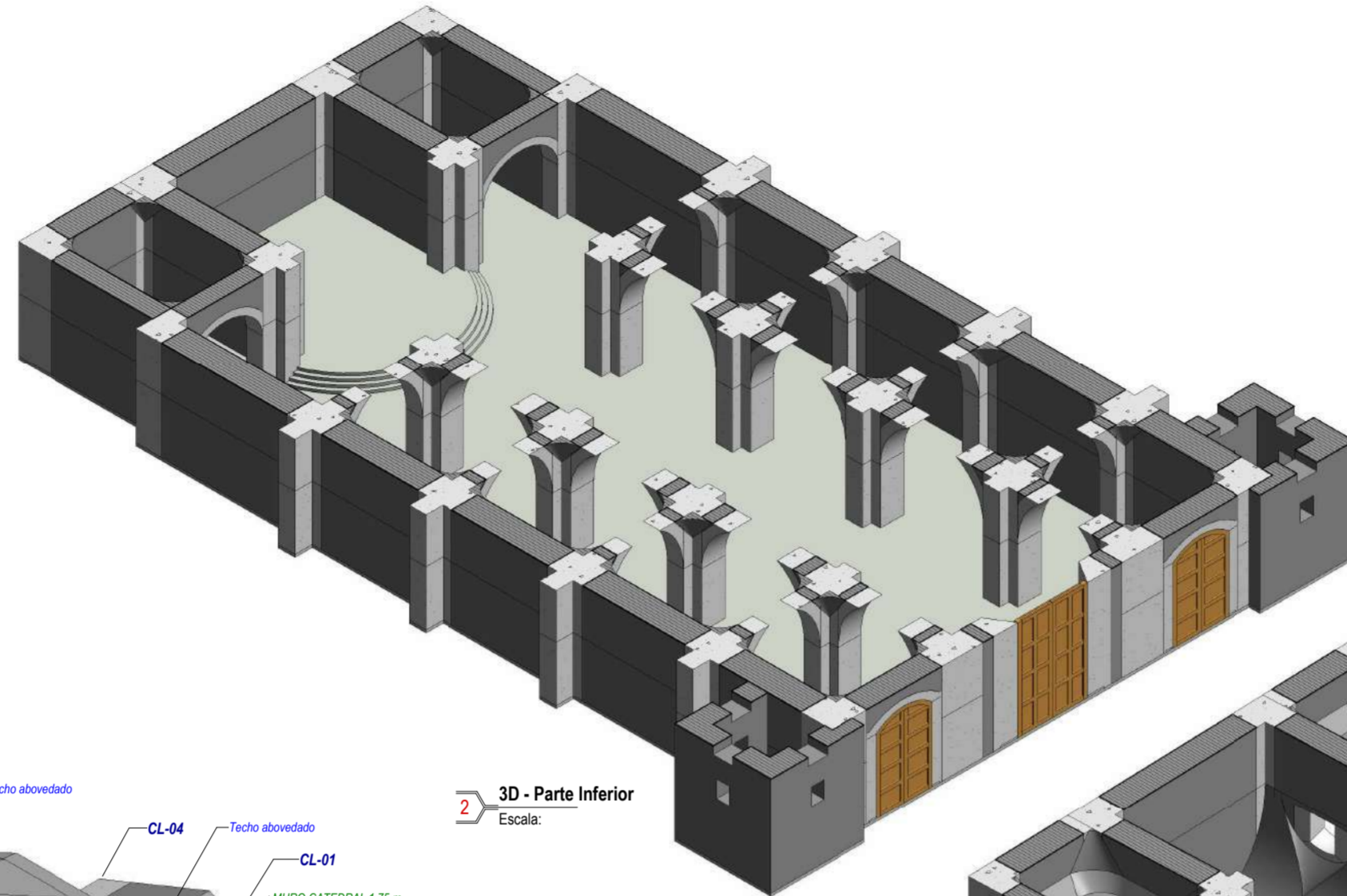


Oeste  
Escala: 1:100

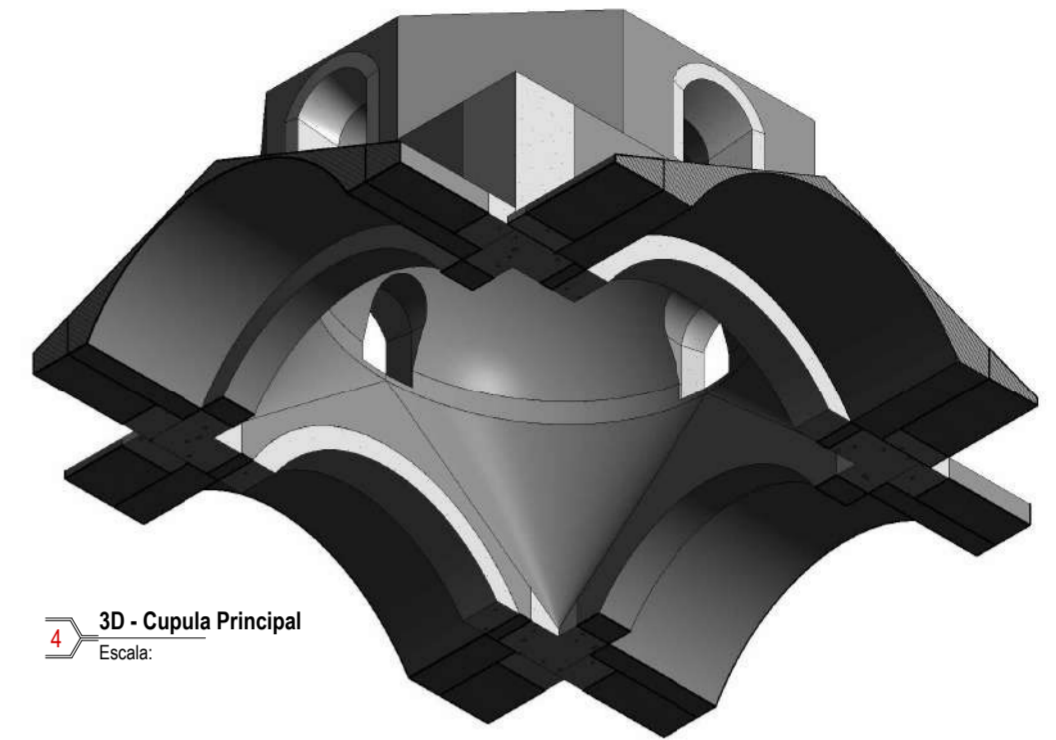
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS : "EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL"			
ESTRUCTURA ALZADOS			
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUAMANGA 1977	PRESENTADO POR: Bach. FRANZ TONY BALDEON VALDEZ	ASESOR: Ing. ROLANDO CISNEROS AYALA	NO. PLANO: C-10
	FECHA: INDICADA	FECHA: JUNIO 2023	
UBICACION: DPTO. AYACUCHO	PROV.: HUAMANGA	LUG.: PLAZA MAYOR DE HUAMANGA	
DPTO.: AYACUCHO	REVISADO:	APROBADO:	



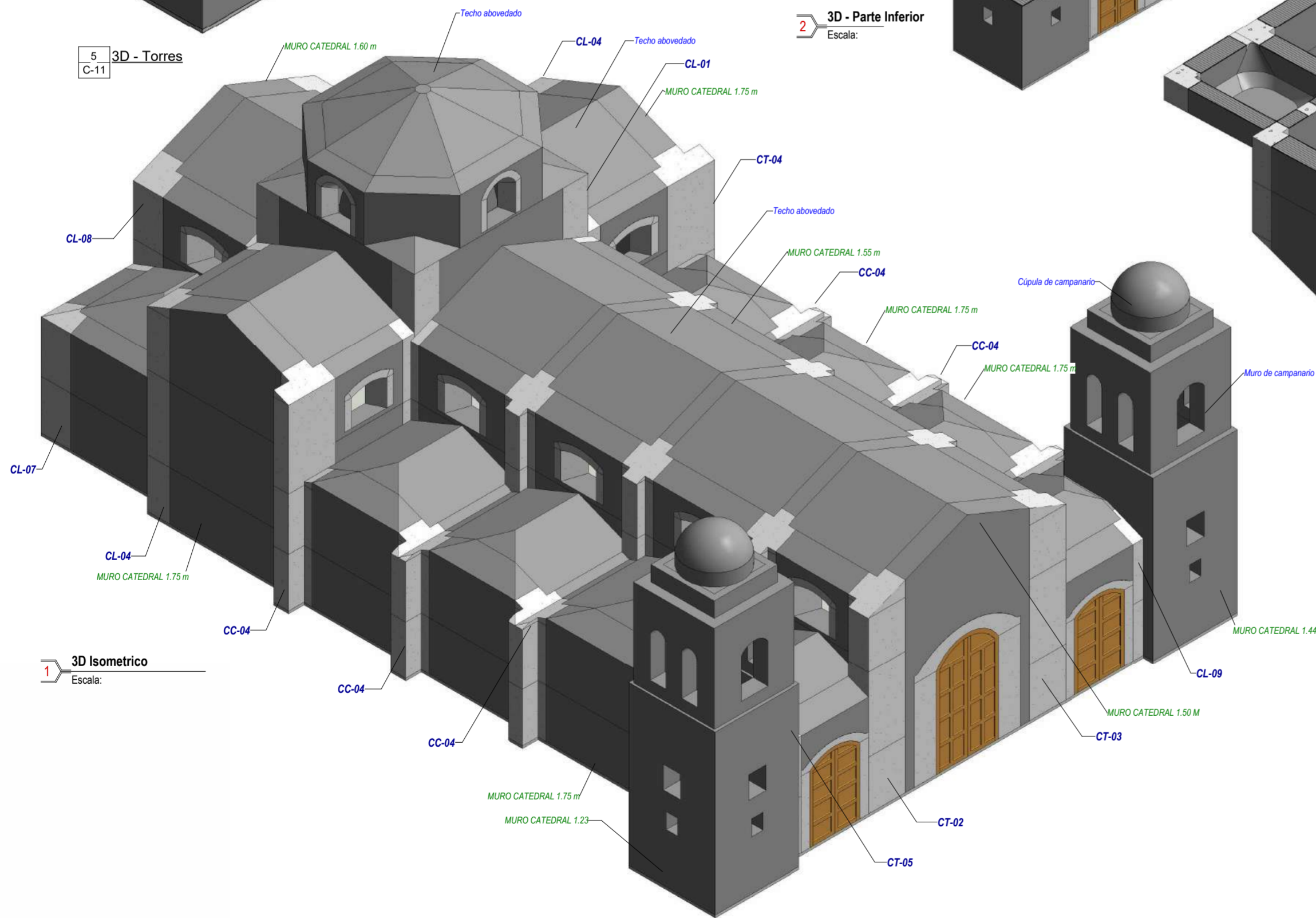
5 3D - Torres  
Escala: C-11



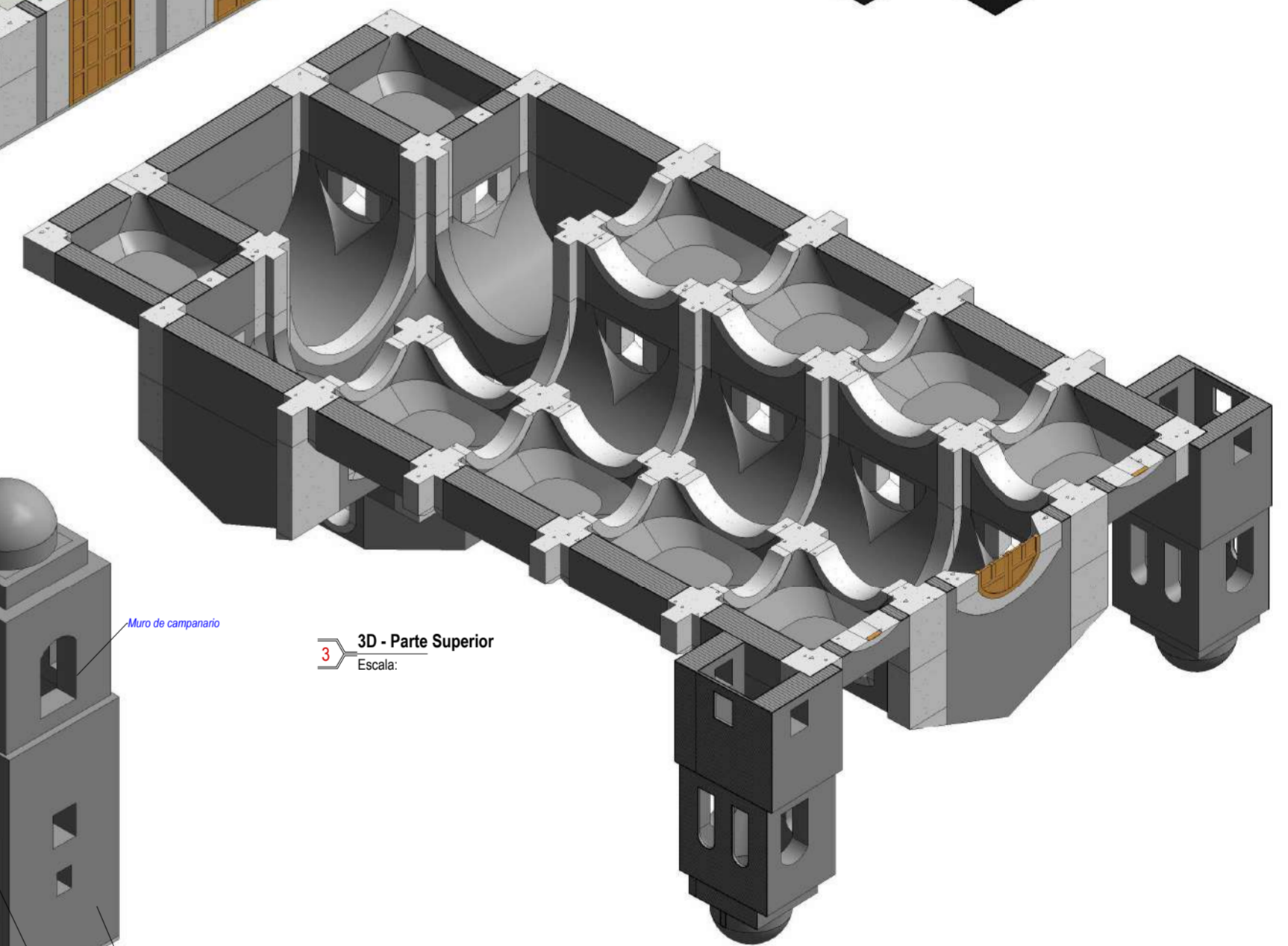
2 3D - Parte Inferior  
Escala:



4 3D - Cupula Principal  
Escala:



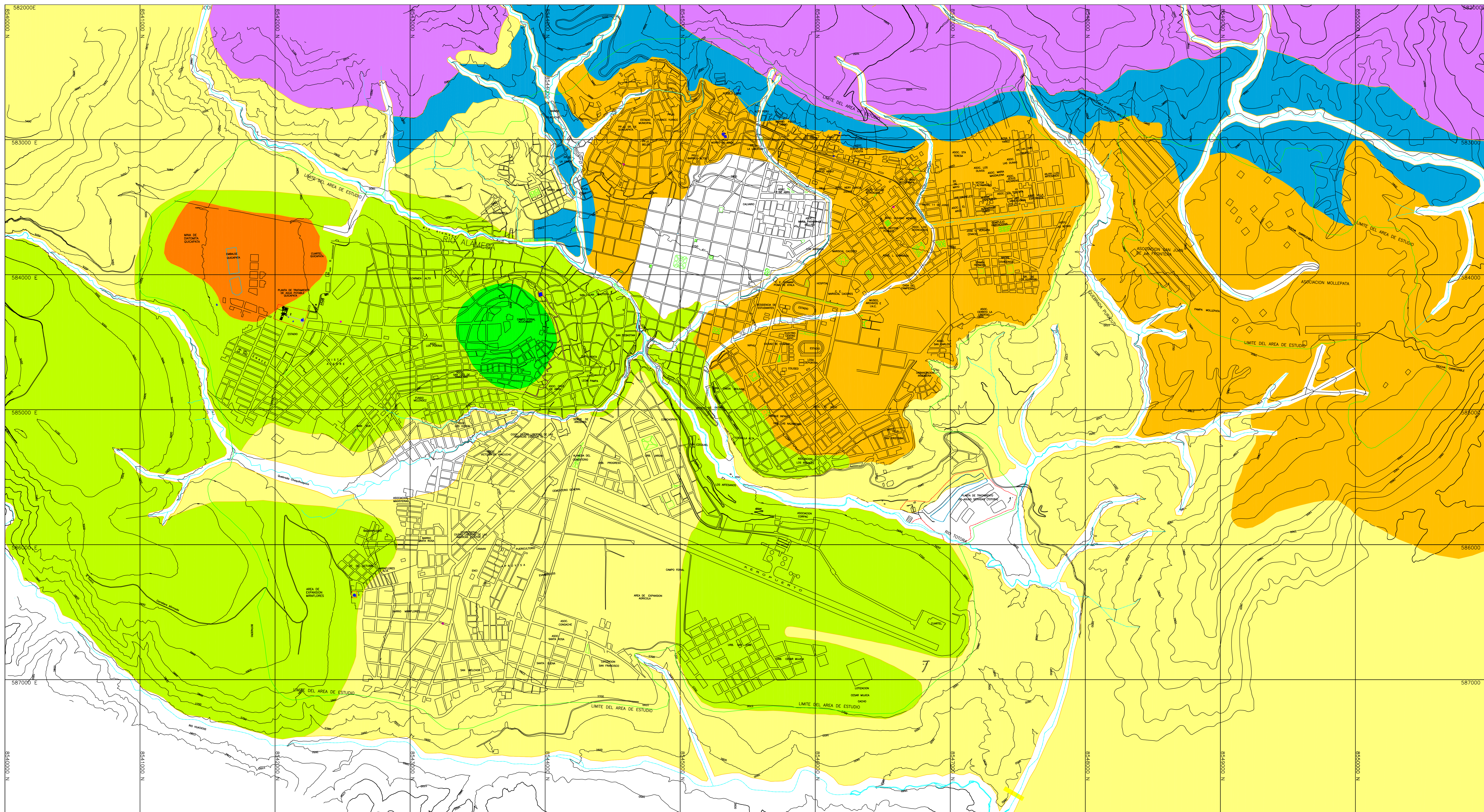
1 3D Isométrico  
Escala:



3 3D - Parte Superior  
Escala:

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
TESIS : "EVALUACIÓN DE ESFUERZOS ANTE LA ACCIÓN DE UN SISMO RARO DE LA BASÍLICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL"			
ESTRUCTURA 3D ISOMÉTRICO			
	PRESENTADO POR: Bach. FRANZ TONNY BALDEON VALDEZ	ASESOR: Ing. ROLANDO CISNEROS AYALA	Nro PLANO  <b>C-11</b>
	ESCALA: INDICADA	FECHA: JUNIO 2023	
	UBICACION: DPTO.: AYACUCHO	PROV.: LUG.: PLAZA MAYOR DE HUAMANGA	
DPTO.: AYACUCHO	REVISADO:	APROB:	

### **B.1.3 Planos de Geomorfología y estratigrafía procedentes de Proyecto INDECI-PNUD PER/ 02/ 051 Ciudades Sostenibles (s.f.)**



**LEYENDA**

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Qr-Al, Fl Depósito fluvial, aluvial		Tq-q Diatomitas Quiccapote
	Qp-La Depósitos lacustres		Ts-Vn Volcánico Molinoyaco
	Qp-Co Depósitos conglomeráticos		Ts-Ay3 Formación Ayacucho (M3) (Arenisca Tobacco)
	Qv-Vo Volcánico Acuchimay		Ts-Ay2 Formación Ayacucho (M2) (Toba Volcánica Dactilosa)

**INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL**

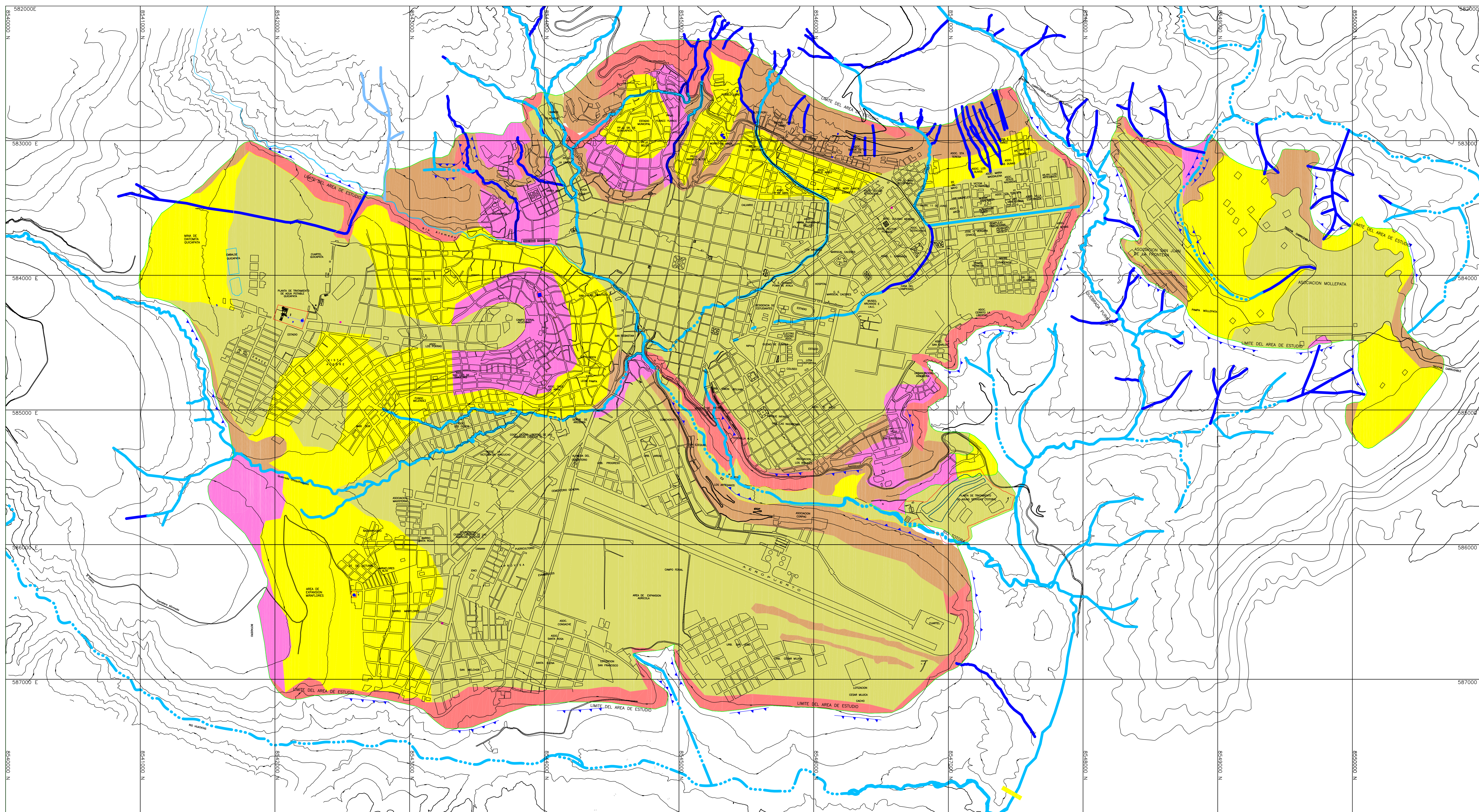
PROYECTO: **PER/02/051 CIUDADES SOSTENIBLES**

ESTUDIO: **MAPA DE PELIGROS DE LA CIUDAD DE AYACUCHO**

MAPA: **GEOLOGÍA LOCAL**

PLANO: **02**

DISEÑO: J.C.H.C.    DIBUJO: R.C.G.    REVISADO: E.M.E.    APROBADO:    ESCALA: 1/15 000    FECHA: JUNIO 2003



LEYENDA

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
[Yellow box]	Terreno de pendiente muy suave (0° a 5°)
[Light Green box]	Terreno de pendiente suave (5° a 10°)
[Pink box]	Terreno de pendiente media (10° a 15°)
[Brown box]	Terreno de pendiente moderada (15° a 30°)
[Red box]	Terreno de pendiente fuerte (30° a 60°)
[Dark Red box]	Terreno de pendiente muy fuerte (>60°)
[Blue dashed line]	Zona de ríos y/o quebradas
[Blue solid line]	Zona de ríos y/o quebradas

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
[White box with black border]	Zona fuera del área de estudio. Zona donde por sus características topográficas, hidrográficas, geológicas y geotécnicas no se ha previsto estudio urbanístico.

**INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL**

PROYECTO: **PER/02/051 CIUDADES SOSTENIBLES**

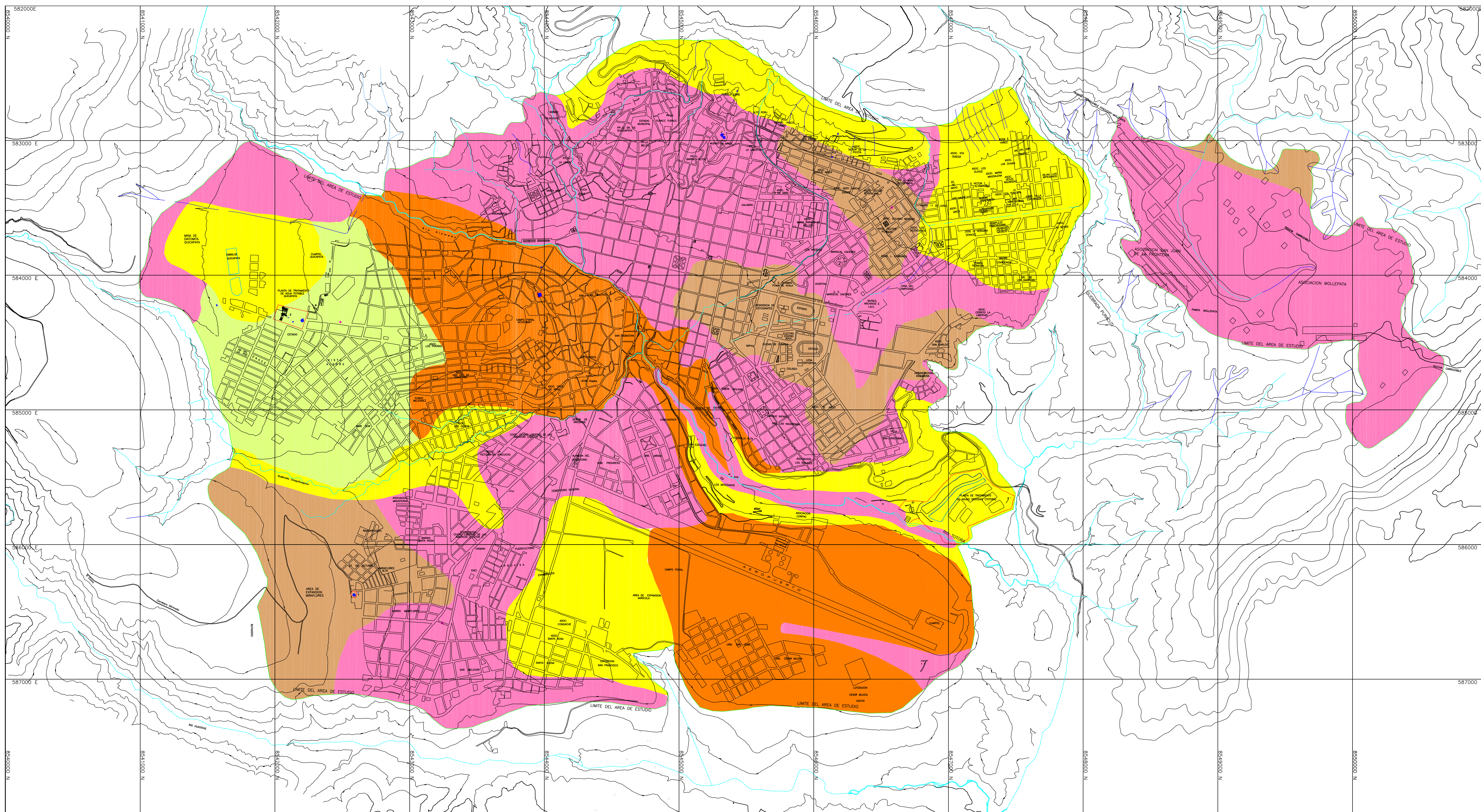
ESTUDIO: **MAPA DE PELIGROS DE LA CIUDAD DE AYACUCHO**

MAPA: **GEOMORFOLOGÍA LOCAL**

PLANO: **03**

DISEÑO: E.M.E.    DIBUJO: R.C.G.    REVISADO: E.M.E.    APROBADO:    ESCALA: 1/15 000    FECHA: JUNIO 2003





**LEYENDA:**

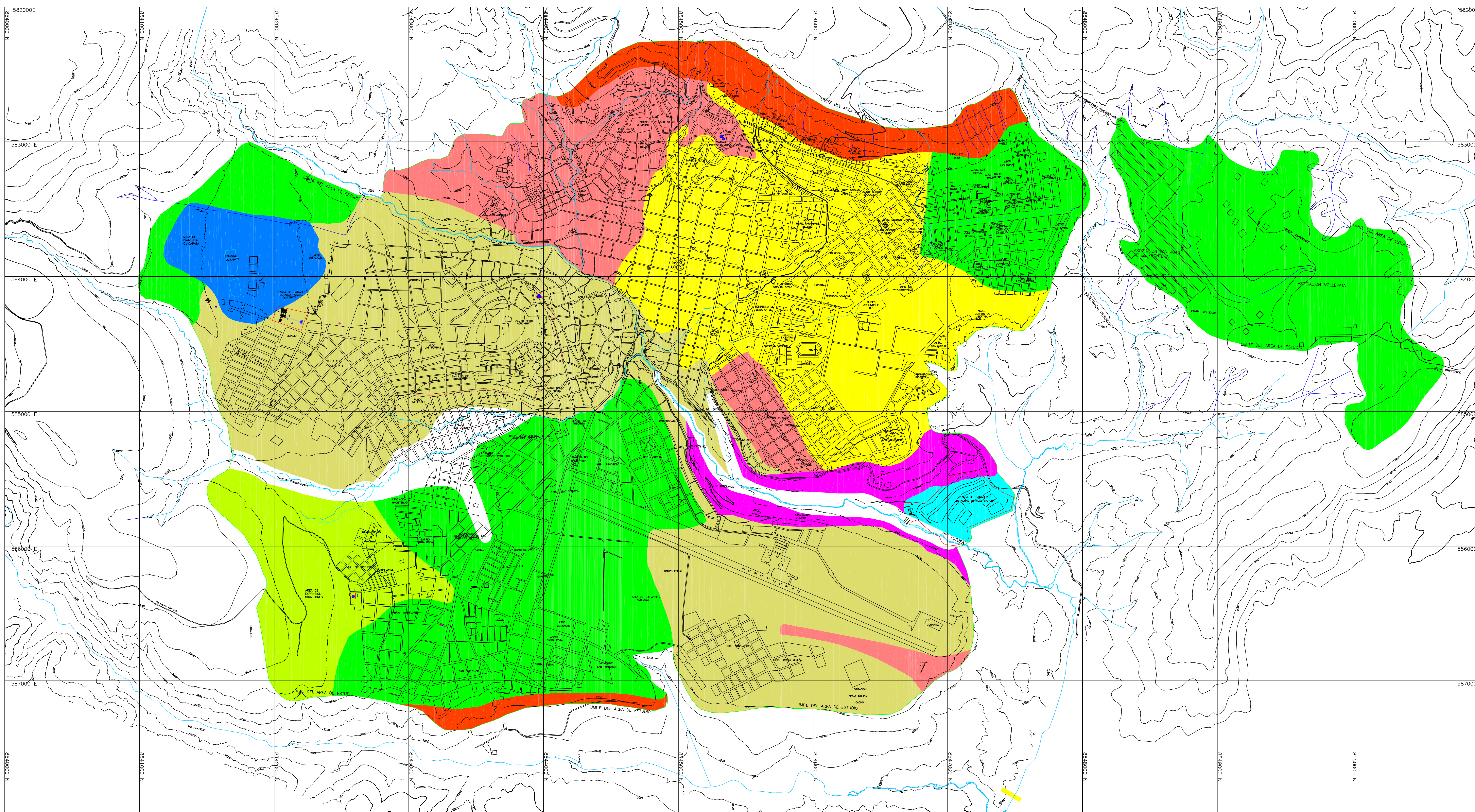
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Zona fuera del área de estudio. Zona donde por sus características topográficas, hidrológicas, geológicas y geotécnicas no se ha previsto edificación urbana.

COLOR	CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO
Yellow	1.00 a 1.50 Kg/cm <sup>2</sup>
Pink	1.50 a 2.00 Kg/cm <sup>2</sup>
Light Green	2.00 a 2.50 Kg/cm <sup>2</sup>
Orange	2.50 a 3.00 Kg/cm <sup>2</sup>
Brown	Mayor a 4.00 Kg/cm <sup>2</sup>

**PARÁMETROS DE CÁLCULO**  
 Profundidad de cimentación = 1.00 m  
 Ancho de zapata = 1.00m  
 Asentamiento total permisible = 1"  
 Carga vertical máxima = 30 Tn

**INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL**

PROYECTO:	PER/02/051 CIUDADES SOSTENIBLES		PLANO:
ESTUDIO:	MAPA DE PELIGROS DE LA CIUDAD DE AYACUCHO		<b>07</b>
MAPA:	CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS		
DISEÑO:	DIBUJO:	REVISADO:	APROBADO:
E.M.E	R.C.G.	E.M.E	
ESCALA:			FECHA:
1/15 000			JUNIO 2003



LEYENDA

CLASIFICACIÓN	COLOR	DESCRIPCIÓN
Suelo Tipo I	Red	Aglomerado volcánico, andesita Acuchimay y roca basalto de estructura vacuolar envuelta en limo de baja plasticidad sobre terrenos de pendiente desde muy suave a fuerte (0° a 60°); con muy buena capacidad portante.
Suelo Tipo II	Yellow	Grava limosa formada por la mezcla de piedras angulosas de origen volcánico y limo-arenoso de baja plasticidad sobre terrenos de pendiente desde muy suave a suave (0° a 10°); con muy buena capacidad portante.
Suelo Tipo III	Light Green	Grava Limo Arenosa formada por la mezcla de piedras subredondeadas de origen sedimentario antiguo y reciente y limo-arenoso de baja plasticidad sobre terrenos de pendiente muy suave (0° a 5°); con buena capacidad portante.
Suelo Tipo IV	Green	Limo Inorgánico de baja a alta plasticidad de consistencia firme, estable ante cambios en el contenido de humedad de origen lacustrino muy consolidado, sobre terrenos de pendiente desde muy suave a suave (0° a 10°); con regular a buena capacidad portante.
Suelo Tipo V	Light Red	Arena limosa formada por alteración de areniscas tobáceas, de compacidad media a Densa, sobre terrenos de pendiente desde muy suave a media (0° a 15°); con buena capacidad portante.
Suelo Tipo VI	Magenta	Limo inorgánico de baja plasticidad de consistencia firme formada por alteración de Tobas, sobre terrenos de pendiente moderada (15° a 30°); con regular capacidad portante.
Suelo Tipo VII	Light Green	Grava arena limosa bien graduada de origen aluvial y/o fluvial; de compacidad suelta a media, sobre terrenos de pendiente muy suave (0° a 5°); con regular capacidad portante.
Suelo Tipo VIII	Red	Grava arena limosa bien graduada de origen sedimentario antiguo (conglomerado pleistocénico) de compacidad media a densa, sobre terrenos de pendiente moderada (15° a 30°); susceptible a erosión hídrica y acción sísmica; con regular capacidad portante.
Suelo Tipo IX	Blue	Limo inorgánico de alta plasticidad, baja densidad y bajo peso específico, susceptible a cambios de volumen por variación de la humedad y acción hídrica, media compresibilidad, emplazado sobre la cantera de Diatomita de pendiente muy suave a suave (0° a 10°); con baja capacidad portante.
Suelo Tipo X	Cyan	Limo inorgánico de baja plasticidad de origen sedimentario reciente, sobre terrenos de pendiente muy suave (0° a 5°), con regular capacidad portante.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
[Empty Box]	Zona fuera del área de estudio. Zona donde se han caracterizado topografía, hidrología, geología y geotecnia en su grado apropiado, urbanística.

**INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL**

PROYECTO: PER/02/051 CIUDADES SOSTENIBLES

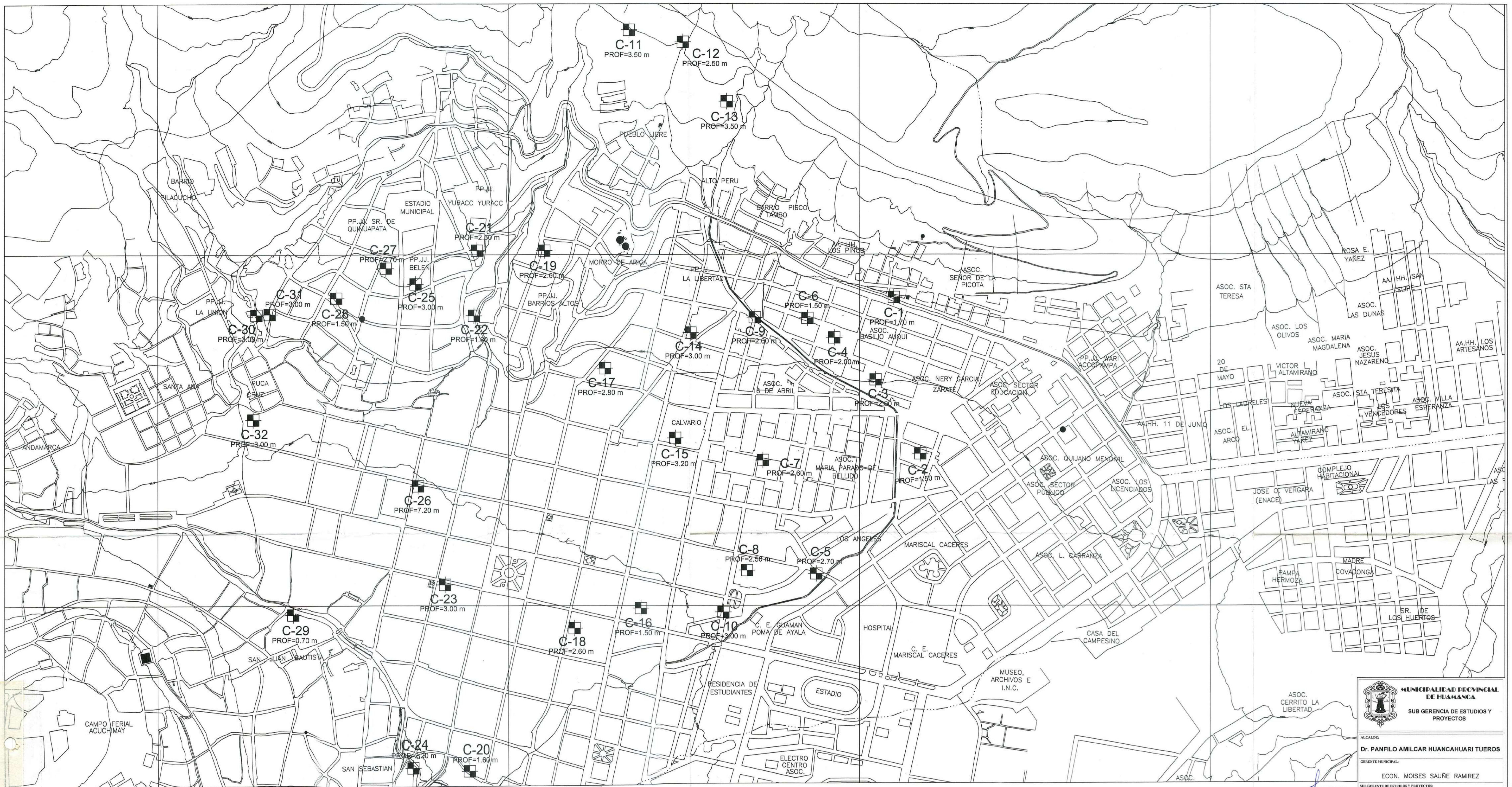
ESTUDIO: MAPA DE PELIGROS DE LA CIUDAD DE AYACUCHO

MAPA: GEOTÉCNICO

PLANO: **09**

DISEÑO: E.M.E.    DIBUJO: R.C.G.    REVISADO: E.M.E.    APROBADO:    ESCALA: 1/15 000    FECHA: JUNIO 2003

## **B.1.4 Ubicación de calicatas para EMS en el centro histórico de la ciudad de Huamanga**



UBICACIÓN DE CALICATAS

N°	DENOMINACIÓN	PROYECTO	SECTOR	UBICACIÓN	PROFUNDIDAD (m)
1	C-1	Red de Agua Potable de Ayacucho	Via Libertadores	Estación de Bomberos Piscotambo	1.70
2	C-2	Red de Alcantarillado de Ayacucho	Asoc. Andrés A. Cáceres	Mz A Lote 4	1.50
3	C-3	Red de Alcantarillado de Ayacucho	Urb. Basilio Auqui	Mz A Lote 1	2.00
4	C-4	Centro Educativo Corazón de Jesús	Asoc. 18 de Abril	Av. J. A. Sucre s/n	2.00
5	C-5	Centro Educativo N°3019 Meravelas	Cercado	Prolg. Garcilazo N°600	2.70
6	C-6	Red de Alcantarillado de Ayacucho	Urb. Basilio Auqui	Mz I Lote 9	1.60
7	C-7	Centro Educativo Inicial N° 320 Emadi	Urb. María P. Bellido Emadi	Paje, Gregorio s/n	2.60
8	C-8	Complejo Educativo Ex - Penal	Cercado	Av. Maravillas S/N	2.50
9	C-9	Red de Agua Potable de Ayacucho	Barrio Libertad	Jr. 22 de Junio 322	2.00
10	C-10	Drenaje Pluvial de Ayacucho	Quinua	Jr. Guinua N°341	3.00
11	C-11	Tesis Augusto Choquehuancacha	Pueblo Libre - Cerro Picota	Pueblo Libre-Cerro Picota	3.50
12	C-12	Tesis Augusto Choquehuancacha	Pueblo Libre - Cerro Picota	Pueblo Libre-Cerro Picota	2.50
13	C-13	Tesis Augusto Choquehuancacha	Pueblo Libre - Cerro Picota	Pueblo Libre-Cerro Picota	3.50
14	C-14	Drenaje Pluvial de Ayacucho	Huamanga	Jr. Huamanga N°455	3.00
15	C-15	Drenaje Pluvial de Ayacucho	Quinua	Jr. Sucre N° 213	3.20
16	C-16	Centro Educativo Luis Garranza	Cercado	Jr. Asambleas N° 325	1.50
17	C-17	Centro Educativo Los Libertadores	Barrio Calvario	Jr. José Olaya s/n	2.80
18	C-18	Centro Educativo 9 de Diciembre	Cercado	Jr. Bellido No 541-561	2.80
19	C-19	Red de Agua Potable de Ayacucho	Barrios Altos	Jr. Córdoba s/n	2.00
20	C-20	Pavimentación Jr. Gloria	Cercado	Jr. Cuzco y Jr. Arequipa	1.80
21	C-21	Centro Educativo Francisco Bolognesi	PP.JJ. Yuracc Yuracc	Jr. Javier Heraud y Jr. Los Andes	2.50
22	C-22	Red de Agua Potable de Ayacucho	Quinuapata	Prolg. San Martín N°216	1.80
23	C-23	Centro Educativo Mariscal Sucre	Cercado	Jr. Dos de Mayo y Jr. San Martín	3.00
24	C-24	Red de Alcantarillado de Ayacucho	Ayacucho	Jr. Glorieta N° 293	2.20
25	C-25	Drenaje Pluvial de Ayacucho	Barrio Belén	Jr. César Vallejo N° 325	3.00
26	C-26	Pabellones Beneficencia Pública	Cercado	Jr. C. F. Vivanco y Grau	7.20
27	C-27	Centro Educativo N° 107 Belén	Barrio Belén	Calle San Cristóbal	2.70
28	C-28	Red de Agua Potable de Ayacucho	Quinuapata	Jr. Ciro Alegria N°102	1.50
29	C-29	Red de Agua Potable de Ayacucho	Puerto Tenorio	Jr. Moore s/n	2.00
30	C-30	Drenaje Pluvial de Ayacucho	Filacucho	Parte Baja Quebrada	3.00
31	C-31	Drenaje Pluvial de Ayacucho	Barrio Belén	Jr. Luis Carranza s/n	3.00
32	C-32	Drenaje Pluvial de Ayacucho	Libertad	Entrada a Quebrada Seca	3.00

LEYENDA:

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
■	CALICATA (C-11) PROFUNDIDAD EN METROS ESTUDIO ANTICUENTE CANAL DE CARGA ADMISIBLE DE LOS SUELOS DEL DISTRITO DE AYACUCHO.

**MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE HUAMANGA**  
SUB GERENCIA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

ALCALDE:  
**Dr. PANFILO AMILCAR HUANCHAHUARI TUEROS**

GERENTE MUNICIPAL:  
**ECON. MOISES SAUÑE RAMIREZ**

GERENTE DE ESTUDIOS Y PROYECTOS:  
**ING. JUAN CARLOS MUNAYLLA QUISPE**

PROYECTO:  
CONSTRUCCIÓN Y MEDIDAMENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DE LA MARJEN IZQUIERDA DEL RIO ALAMIDA Y EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE AYACUCHO EN EL TRAMO DE LOTE 86, CALVARIO Y CERCO

COLECTOR:  
**GENERAL**

PLANO:  
**UBICACION DE CALICATAS**

ESCALA:  
INDICADO

FECHA:  
**ABRIL 2013**

UBICACION:  
**DICTAMEN**

FECHA:  
**23 ABR 2013**

DEPARTAMENTO : **AYACUCHO**  
PROVINCIA : **HUAMANGA**  
DISTRITO : **AYACUCHO**

RESPONSABLE DE PROYECTO:  
**Ing. Sandro Paredes Chanhualla**

LAMINA:  
**UC-01**

## **Documentos importantes**

### **C.1 Solicitudes recibidas y respuestas**

**SOLICITO: PERMISO PARA LA  
REALIZACION DE MEDICIONES Y  
PRUEBA EN LA CATEDRAL PARA  
TESIS**

**PADRE CESAR SAMANEZ BERNA**

**CAPELLÁN DE LA BASILICA CATEDRAL DE HUAMANGA**

BALDEON VALDEZ, Franz Tonny con DNI N° 70418604, Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil con código de estudiante N° 16090539, con domicilio en AA.HH. Covadonga MZ D3 lote 01, en esta ciudad; ante usted me presento y expongo los siguientes:

Como Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, y realizando la investigación para la presentación de mi tesis: **"EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL"** requiero información técnica referente a la construcción de la de la Catedral de Huamanga.

Esto debido a que entre los datos que necesito para realizar mis cálculos estructurales es necesario conocer las propiedades físicas y mecánicas de las rocas usadas en la construcción, por lo cual es de mi interés tomar medidas, tomar fotos y realizar el ensayo con esclerómetro. Estas actividades no suponen ningún peligro para la edificación, son cuidadosas y no destructivas.

Por consiguiente, solicito a su persona me otorgue el permiso para realizar mis mediciones y prueba, con una duración aproximada de dos horas, la cual no interferirá en las actividades eclesiásticas de la Catedral.

Adjunto las copias de los documentos necesarios que argumentan de mi solicitud.

Por lo expuesto:

Ruego a Ud. Señor Capellán acceder a mi solicitud, por ser justo.

Ayacucho, 09 de mayo de 2023

Atentamente,

  
Bach. BALDEÓN VALDEZ, Franz Tonny  
DNI N°: 70418604

Cel. N° 926420260  
Email: ing.pc.ftbv@gmail.com



  
Pbro. César A. Samanez Berna  
CAPELLAN



PERÚ

Ministerio de Cultura

DIRECCIÓN DESCONCENTRADA DE  
CULTURA AYACUCHO

DIRECCIÓN DESCONCENTRADA DE  
CULTURA AYACUCHO

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

"Huñulla, hawka kawsakuypi wiñarina wata" / "Mayacht'asiña, sumankaña, nayraqataru sarantañataki mara"

"Osarentsi akametsatabakantajeityari antantayetanyarori kametsari"

**Señor(a):**

**FRANZ TONNY BALDEON VALDEZ**

Presente.-

**Asunto : REMITE INFORMACION A SU CORREO ELECTRONICO**

**Referencia : EXPEDIENTE N° 63424-2023**

De mi consideración

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para expresarle mis cordiales saludos y en atención al documento de la referencia, remito a su correo electrónico para su conocimiento y fines el **INFORME N° 142-2023-DDC AYA-JPN/MC y anexos**, emitido por la Arquitecta de la DDC Ayacucho, referente a la Catedral de Ayacucho, distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho.

Sin otro particular, hago propicia la oportunidad para expresarle los sentimientos de mi consideración y deferente estima.

Atentamente,  
Documento firmado digitalmente

**CARLOS CIRILO CONDORI CASTILLO**  
DIRECCIÓN DESCONCENTRADA DE CULTURA AYACUCHO

«CCC/jhr»



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

"Huñulla, hawka kawsakuypi wiñarina wata" / "Mayacht'asiña, sumankaña, nayraqataru sarantañataki mara"

"Osarentsi akametsatabakantajeityari antantayetantyarori kametsari"

- A :** **CARLOS CIRILO CONDORI CASTILLO**  
DIRECCIÓN DESCONCENTRADA DE CULTURA  
AYACUCHO
- De :** **JANELLY IRENE PAUCARA NUÑEZ**  
DIRECCIÓN DESCONCENTRADA DE CULTURA  
AYACUCHO
- Asunto :** Informe sobre información técnica de la Catedral de Ayacucho, distrito de Aycucho, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho.
- Referencia :** PROVEIDO N° 003588-2023-DDC AYA/MC (10MAY2023)

De mi consideración, ante usted expongo lo siguiente:

**I) CONSIDERACIONES GENERALES:**

La unidad inmobiliaria denominada **Catedral de Ayacucho** y ubicada en el **Portal Municipal, distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho**, se encuentra en el listado de Monumentos Integrantes del Patrimonio Cultural de la Nación de Ayacucho, mediante Resolución Suprema N°2900 con fecha 28 de diciembre de 1972 (publicada en el diario oficial El Peruano el 23/01/1973). Asimismo, se emplaza en el área dentro de la **Ambiente Urbano Monuemental<sup>2</sup> y Zona Monumental de Ayacucho<sup>3</sup>**, declarada a través de la resolución antes citada; igualmente forma parte del Centro Histórico de Ayacucho constituida mediante Ordenanza Municipal N°061-2004-MPH/A de fecha 27 de octubre de 2004; por lo tanto, se encuentra amparado por la Ley General del Patrimonio Cultural de la Nación–N° 28296 y sujeto a las restricciones establecidas en la misma.

**II) ANTECEDENTES:**

- Expediente N°63424-2023, con fecha 02 de mayo de 2023, mediante formulario virtual por parte del Sr. Franz Tonny Baldeón Valdez.
- PROVEIDO N° 003588-2023-DDC AYA/MC, con fecha 10 de mayo de 2023.

**III) DE PEDIDO:**

De acuerdo al Numeral 4.2 de la Directiva 001-2019-SG/MC "Procedimiento en atención de las solicitudes de acceso a la Información Pública en el Ministerio de Cultura es obligación de el/la funcionario(a) poseedor de la información evaluar la procedencia de lo solicitado y de ser el caso elaborar el informe correspondiente cuando dicha información se encuentra dentro de las excepciones que establece la Ley. Asimismo, con Decreto Supremo N°021-2019-JUS se aprueba el Texto Único Ordenado de la ley 27806, Ley de transparencia y acceso a la información pública. Por consiguiente, el área de Patrimonio histórico de la DDC Ayacucho informa que se tiene la siguiente información:



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

"Huñulla, hawka kawsakuyi wiñarina wata" / "Mayacht'asiña, sumankaña, nayraqataru sarantañataki mara"

"Osarentsi akametsatabakantajeityari antantayetantyarori kametsari"

- A) Planos de Levantamiento Arquitectónico de la Catedral de Ayacucho.
- B) Actualización de Planos de Perfil Urbano 2022 del Portal Municipal.
- C) Resolución Suprema N°2900 con fecha 28 de diciembre de 1972, para declaratoria de monumento la Catedral de Ayacucho.

#### IV) **RECOMENDACIONES:**

Que la DDC haga suyo el presente informe y comunique al administrado (Franz Tonny Baldeón Valdez, teléfono 929420260, correo electrónico [ing.pc.ftbv@gmail.com](mailto:ing.pc.ftbv@gmail.com)) el presente informe y los anexos (estos últimos en forma digital), para fines de su competencia.

Es todo cuanto se informa para su conocimiento y fines que se sirva determinar, salvo mejor parecer.

Atentamente,  
(Firma y sello)

JPN  
cc.: cc.:

---

**Mesa de Partes Virtual - V1654201688 - COPIA VIRTUAL DE LOS E.M.S DE EXPEDIENTE TÉCNICO PARA ELABORACIÓN DE TESIS UNIVERSITARIA**

---

Municipalidad Provincial de Huamanga &lt;munihuamanga1@gmail.com&gt;

2 de junio de 2022, 15:28

Responder a: noreply@munihuamanga.gob.pe

Para: mesadepartes@munihuamanga.gob.pe

Cco: ing.pc.ftbv@gmail.com

Estimado Tonny BALDEON VALDEZ, **su documento** ha sido recibido correctamente por nuestra **Mesa de Partes Virtual**.

**REMITENTE:****Persona: Natural**

Nombres y Apellidos: Tonny BALDEON

DNI N°: 70418604

Correo: [ing.pc.ftbv@gmail.com](mailto:ing.pc.ftbv@gmail.com)

Teléfono: 929420260

Domicilio: Lima 06

**Razón social:****RUC:****DOCUMENTO REMITIDO:**

Tipo: Solicitud

Número:

Folios: 63

Asunto: COPIA VIRTUAL DE LOS E.M.S DE EXPEDIENTE TÉCNICO PARA ELABORACIÓN DE TESIS UNIVERSITARIA

N° de expediente: **V1654201688**

--

**Ud. ha indicado estar de acuerdo** en recibir información en esta cuenta de correo electrónico, gracias por usar nuestra plataforma

---

 solicitud-COPIA-DE-EXPEDIENTE-1.pdf  
9720K

# D

## Estudios de Mecánica de Rocas

### D.1 Muestreo de Resistencia con Esclerómetro



# INGEPARCH

INGENIEROS ESPECIALISTAS EN GEOTÉCNIA

## MUESTREO DE RESISTENCIA CON ESCLEROMETRO

EVALUACION DE ESFUERZO ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL EN EL DISTRITO DE AYACUCHO, PROVINCIA DE HUAMANGA, DEPARTAMENTO DE AYACUCHO  
ESTRUK: COLUMNA P-03

**“EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL EN EL DISTRITO DE AYACUCHO, PROVINCIA DE HUAMANGA, DEPARTAMENTO DE AYACUCHO”**

**CODIGO: ACAD-02\_INF-01\_LABCON**

**MAYO 2023**

## MUESTREO DE RESISTENCIA DE ROCA CON ESCLEROMETRO EN ROCA

PROYECTO: "EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL

ESCLERÓMETRO MARCA: "CONTROLS"      SERIE:      20003689  
 MODELO: 32-D0561/C      "ROCK CLASSIFICATION HAMMER"

GPS: GARMIN G6S  
 FECHA DE ENSAYO      : AYACUCHO, 10 DE MAYO DEL 2023

**INGEPARCH**

ING. JAVIER CHAVEZ PERALTA  
 CONSULTOR EN GEOTECNIA, CONCRETO Y PAVIMENTO  
 CIP N° 66377

UBICACIÓN:	LATITUD      13°09'38" S	CATEDRAL DE AYACUCHO	
	LONGITUD    74°13'30" W		
	ALTITUD      2748.00		

ESTACION N° 01

### VALORES DE REBOTE IN-SITU

COLUMNA 03							
PUNTO	Valor de Rebote	PUNTO	Valor de Rebote	PUNTO	Valor de Rebote	PUNTO	Valor de Rebote
1	36	6	32	11	36	16	36
2	18	7	38	12	37	17	33
3	32	8	32	13	34	18	35
4	30	9	33	14	34	19	34
5	41	10	35	15	35	20	35

ESTACION N° 02

### VALORES DE REBOTE IN-SITU

BASE DE COLUMNA 09							
PUNTO	Valor de Rebote	PUNTO	Valor de Rebote	PUNTO	Valor de Rebote	PUNTO	Valor de Rebote
1	32	6	28	11	36	16	31
2	33	7	17	12	26	17	37
3	30	8	30	13	35	18	34
4	34	9	38	14	32	19	33
5	33	10	16	15	25	20	32

### VALORES DE REBOTE IN-SITU

BASE DE COLUMNA 10							
PUNTO	Valor de Rebote	PUNTO	Valor de Rebote	PUNTO	Valor de Rebote	PUNTO	Valor de Rebote
1	37	6	36	11	36	16	29
2	36	7	34	12	36	17	35
3	32	8	39	13	45	18	33
4	44	9	36	14	42	19	32
5	35	10	26	15	30	20	41

### VALORES DE REBOTE IN-SITU

BASE DE COLUMNA 19							
PUNTO	Valor de Rebote	PUNTO	Valor de Rebote	PUNTO	Valor de Rebote	PUNTO	Valor de Rebote
1	41	6	37	11	39	16	32
2	43	7	56	12	38	17	39
3	52	8	47	13	38	18	38
4	42	9	44	14	35	19	36
5	39	10	43	15	33	20	37

### MUESTREO DE RESISTENCIA DE ROCA CON ESCLEROMETRO EN ROCA

PROYECTO: "EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL"

ESCLERÓMETRO MARCA: "CONTROLS" SERIE: 20003689  
 MODELO: 32-D0561/C "ROCK CLASSIFICATION HAMMER"

GPS: GARMIN G6S

#### VALORES DE REBOTE IN-SITU

ESTACION Nº 05							
BASE DE COLUMNA 18							
PUNTO	Valor de Rebo	PUNTO	Valor de Rebo	PUNTO	Valor de Rebote	PUNTO	Valor de Rebote
1	45	6	48	11	42	16	39
2	38	7	43	12	37	17	39
3	41	8	41	13	38	18	36
4	39	9	37	14	41	19	33
5	38	10	38	15	39	20	34

#### VALORES DE REBOTE IN-SITU

ESTACION Nº 06							
BASE DE COLUMNA 15							
PUNTO	Valor de Rebo	PUNTO	Valor de Rebo	PUNTO	Valor de Rebote	PUNTO	Valor de Rebote
1	33	6	28	11	35	16	36
2	32	7	35	12	32	17	33
3	38	8	33	13	35	18	38
4	18	9	24	14	40	19	31
5	29	10	29	15	32	20	40

**INGEPARCHI**

ING. JAMIER CHAVEZ PERALTA  
 CONSULTOR EN GEOTECNIA CONCRETO Y PAVIMENTO  
 CIPM 85327

## MUESTREO DE RESISTENCIA DE ROCA CON ESCLEROMETRO EN ROCA

PROYECTO: "EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL"

ESCLERÓMETRO MARCA: "CONTROLS"      SERIE:      20003689  
 MODELO: 32-D0561/C      "ROCK CLASSIFICATION HAMMER"

GPS: GARMIN G6S

### CORRECCION DE VALORES DE REBOTES

**INGEFARCHI**

Para un promedio, eliminamos los 5 rebotes más altas y los 5 rebotes más bajas

ING. JAVIER CHAVEZ PERALTA  
 CONSULTOR EN GEOTECNIA CONCRETO Y PAVIMENTO  
 CIP N° 55377

#### ESTACION N° 01

#### REBOTES CORREGIDOS

REBOTE "R"		HACIA ABAJO				HORIZONTAL		REBOTE CORREGIDO
		HACIA ABAJO		HACIA ARRIBA		HORIZONTAL		
		$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = +90^\circ$	$\alpha = +45^\circ$		$\alpha = 0^\circ$	
33	0°					- 2.98	30.02	
33	0°					- 2.98	30.02	
34	0°					- 2.94	31.06	
34	0°					- 2.94	31.06	
34	0°					- 2.94	31.06	
35	0°					- 2.90	32.10	
35	0°					- 2.90	32.10	
35	0°					- 2.90	32.10	
35	0°					- 2.90	32.10	
36	0°					- 2.86	33.14	

#### ESTACION N° 02

#### REBOTES CORREGIDOS

REBOTE "R"		HACIA ABAJO				HORIZONTAL		REBOTE CORREGIDO
		HACIA ABAJO		HACIA ARRIBA		HORIZONTAL		
		$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = +90^\circ$	$\alpha = +45^\circ$		$\alpha = 0^\circ$	
30	0°					- 3.10	26.90	
30	0°					- 3.10	26.90	
31	0°					- 3.06	27.94	
32	0°					- 3.02	28.98	
32	0°					- 3.02	28.98	
32	0°					- 3.02	28.98	
33	0°					- 2.98	30.02	
33	0°					- 2.98	30.02	
33	0°					- 2.98	30.02	
34	0°					- 2.94	31.06	

#### ESTACION N° 03

#### REBOTES CORREGIDOS

REBOTE "R"		HACIA ABAJO				HORIZONTAL		REBOTE CORREGIDO
		HACIA ABAJO		HACIA ARRIBA		HORIZONTAL		
		$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = +90^\circ$	$\alpha = +45^\circ$		$\alpha = 0^\circ$	
33	0°					-2.98	30.02	
34	0°					-2.94	31.06	
35	0°					-2.90	32.10	
35	0°					-2.90	32.10	
36	0°					-2.86	33.14	
36	0°					-2.86	33.14	
36	0°					-2.86	33.14	
36	0°					-2.86	33.14	
36	0°					-2.86	33.14	
37	0°					-2.82	34.18	

## MUESTREO DE RESISTENCIA DE ROCA CON ESCLEROMETRO EN ROCA

PROYECTO: "EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL

ESCLERÓMETRO MARCA: "CONTROLS"      SERIE:      20003689  
 MODELO: 32-D0561/C      "ROCK CLASSIFICATION HAMMER"

GPS: GARMIN G65

### ESTACION Nº 04

#### REBOTES CORREGIDOS

REBOTE "R"		HACIA ABAJO					HORIZONTAL		REBOTE CORREGIDO
		HACIA ABAJO		HACIA ARRIBA		HORIZONTAL			
		$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = +90^\circ$	$\alpha = +45^\circ$	$\alpha = 0^\circ$			
37	0°					-	2.82	34.18	
38	0°					-	2.78	35.22	
38	0°					-	2.78	35.22	
38	0°					-	2.78	35.22	
39	0°					-	2.74	36.26	
39	0°					-	2.74	36.26	
39	0°					-	2.74	36.26	
41	0°					-	2.65	38.35	
42	0°					-	2.60	39.40	
43	0°					-	2.55	40.45	

### ESTACION Nº 05

#### REBOTES CORREGIDOS

REBOTE "R"		HACIA ABAJO					HORIZONTAL		REBOTE CORREGIDO
		HACIA ABAJO		HACIA ARRIBA		HORIZONTAL			
		$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = +90^\circ$	$\alpha = +45^\circ$	$\alpha = 0^\circ$			
38	0°					-	2.78	35.22	
38	0°					-	2.78	35.22	
38	0°					-	2.78	35.22	
38	0°					-	2.78	35.22	
39	0°					-	2.74	36.26	
39	0°					-	2.74	36.26	
39	0°					-	2.74	36.26	
39	0°					-	2.74	36.26	
41	0°					-	2.65	38.35	
41	0°					-	2.65	38.35	

### ESTACION Nº 06

#### REBOTES CORREGIDOS

REBOTE "R"		HACIA ABAJO					HORIZONTAL		REBOTE CORREGIDO
		HACIA ABAJO		HACIA ARRIBA		HORIZONTAL			
		$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = +90^\circ$	$\alpha = +45^\circ$	$\alpha = 0^\circ$			
31	0°					-	3.06	27.94	
32	0°					-	3.02	28.98	
32	0°					-	3.02	28.98	
32	0°					-	3.02	28.98	
33	0°					-	2.98	30.02	
33	0°					-	2.98	30.02	
33	0°					-	2.98	30.02	
35	0°					-	2.90	32.10	
35	0°					-	2.90	32.10	
35	0°					-	2.90	32.10	

**INGEPARCHI**

ING. JAVIER CHAVEZ PERALTA  
 CONSULTOR EN GEOTECNIA, CONCRETO Y PAVIMENTO  
 CIP N° 55327

## CALCULO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE LA ROCA

PROYECTO: "EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL

$$\text{Log}(\sigma_c) = 0.00088\gamma R + 1.01$$

Donde:

- $\sigma_c$  = Resistencia a compresión simple de la capa superficial de la roca (Mpa)
- $\gamma$  = Densidad seca de la roca (KN/m<sup>3</sup>)
- R = Índice de rebote

CALCULO DE "R"

$$R = M_a = \frac{N}{\sum \frac{1}{n}}$$

**COLUMNA 03**

N	Rebote corregido (n)
1	30.02
2	30.02
3	31.06
4	31.06
5	31.06
6	32.10
7	32.10
8	32.10
9	32.10
10	33.14

**BASE COLUMNA 09**

N	Rebote corregido (n)
1	26.90
2	26.90
3	27.94
4	28.98
5	28.98
6	28.98
7	30.02
8	30.02
9	30.02
10	31.06

**COLUMNA 10**

N	Rebote corregido (n)
1	30.02
2	31.06
3	32.10
4	32.10
5	33.14
6	33.14
7	33.14
8	33.14
9	33.14
10	34.18

**COLUMNA 19**

N	Rebote corregido (n)
1	34.18
2	35.22
3	35.22
4	35.22
5	36.26
6	36.26
7	36.26
8	38.35
9	39.40
10	40.45

**COLUMNA 18**

N	Rebote corregido (n)
1	35.22
2	35.22
3	35.22
4	35.22
5	36.26
6	36.26
7	36.26
8	36.26
9	38.35
10	38.35

**COLUMNA 15**

N	Rebote corregido (n)
1	27.94
2	28.98
3	28.98
4	28.98
5	30.02
6	30.02
7	30.02
8	32.10
9	32.10
10	32.10

**INGEPARCHI**

ING. JAVIER CHAVEZ PERALTA  
CONSULTOR EN GEOTECNIA CONCRETO Y PAVIMENTO  
CIP N° 55327

ESTACION N° 01	R =	31.44702
ESTACION N° 02	R =	28.91935
ESTACION N° 03	R =	32.47342
ESTACION N° 04	R =	36.58317
ESTACION N° 05	R =	36.22697
ESTACION N° 06	R =	30.05693

**DENSIDAD DE LA ROCA:**  $\gamma = 14.216 \text{ KN/m}^3 = 1,450.03 \text{ Kg/m}^3$  (Dato)\*

\*: Tobas volcánica, su aplicacion en la construccion de viviendas - Ing. Hugo Nielson - INTEMIN

### RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE LA ROCA

$$\text{Log}(\sigma_c) = 0.00088\gamma R + 1.01$$

#### ESTACION N° 01

$$\begin{aligned} \text{Log}(\sigma_c) &= 1.40 \\ \sigma_c &= 25.32 \text{ Mpa} &= 258.15 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

#### ESTACION N° 02

$$\begin{aligned} \text{Log}(\sigma_c) &= 1.37 \\ \sigma_c &= 23.54 \text{ Mpa} &= 240.02 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

#### ESTACION N° 03

$$\begin{aligned} \text{Log}(\sigma_c) &= 1.42 \\ \sigma_c &= 26.08 \text{ Mpa} &= 265.89 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

#### ESTACION N° 04

$$\begin{aligned} \text{Log}(\sigma_c) &= 1.47 \\ \sigma_c &= 29.35 \text{ Mpa} &= 299.31 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

#### ESTACION N° 05

$$\begin{aligned} \text{Log}(\sigma_c) &= 1.46 \\ \sigma_c &= 29.05 \text{ Mpa} &= 296.26 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

#### ESTACION N° 06

$$\begin{aligned} \text{Log}(\sigma_c) &= 1.39 \\ \sigma_c &= 24.32 \text{ Mpa} &= 248.02 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

<b>RESISTENCIA PROMEDIO =</b>	<b>26.28 Mpa</b>	<b>=</b>	<b>267.94 Kg/cm<sup>2</sup></b>
-------------------------------	------------------	----------	---------------------------------

**INGEPARCHI**

ING. JAVIER CLAVEZ PERALTA  
CONSULTOR EN GEOTECNIA CONCRETO Y PAVIMENTO  
CIP N° 55587

# PANEL FOTOGRAFICO

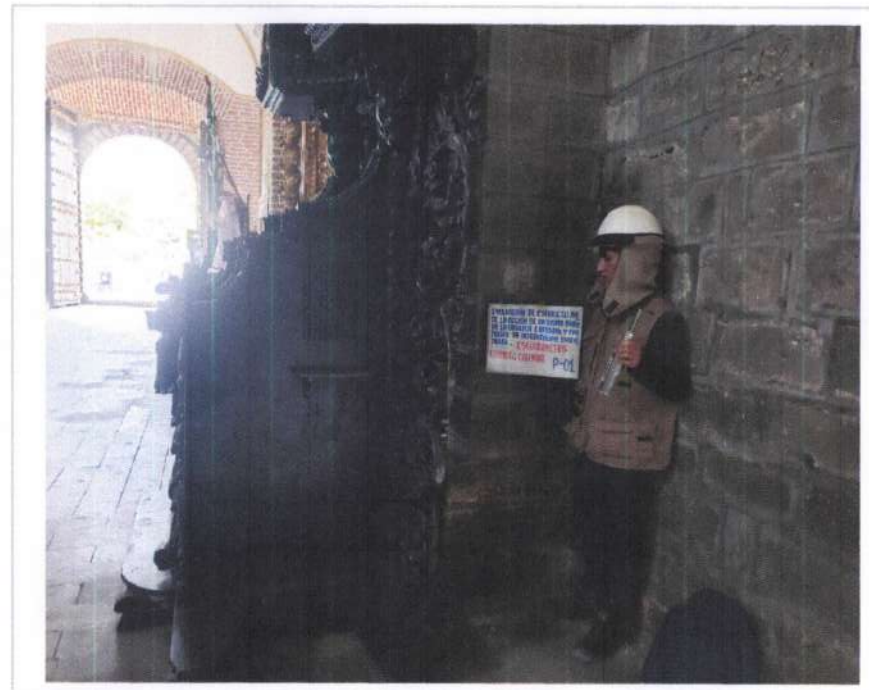
**INGEPARCH**

ING. JAVIER CHAVEZ BERALTA  
CONSULTOR EN GEOTECNIA, CONCRETO Y PAVIMENTO  
CIP N° 5527

**ENSAYO DE MARTILLO DE REBOTE DE SCHMIDT ( ESCLEROMETRÍA )**

**PROYECTO: "EVALUACIÓN DE ESFUERZOS ANTE LA ACCIÓN DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL EN EL DISTRITO DE AYACUCHO, PROVINCIA DE HUAMANGA, DEPARTAMENTO DE AYACUCHO"**

**ESCLEROMETRÍA ( P-01)**



**PUNTO 01**

**INGEPARCH**

CONSULTOR EN GEOTECNIA, CONCRETO Y PAVIMENTO  
CIP N° 55327

## ENSAYO DE MARTILLO DE REBOTE DE SCHMIDT ( ESCLEROMETRÍA )

PROYECTO: "EVALUACIÓN DE ESFUERZOS ANTE LA ACCIÓN DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL EN EL DISTRITO DE AYACUCHO, PROVINCIA DE HUAMANGA , DEPARTAMENTO DE AYACUCHO"

### ESCLEROMETRÍA ( P-02)



### PUNTO 02

**ENSAYO DE MARTILLO DE REBOTE DE SCHMIDT ( ESCLEROMETRIA )**

PROYECTO: "EVALUACIÓN DE ESFUERZOS ANTE LA ACCIÓN DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL EN EL DISTRITO DE AYACUCHO, PROVINCIA DE HUAMANGA , DEPARTAMENTO DE AYACUCHO"

**ESCLEROMETRÍA ( P-04)**



**PUNTO 04**

**ENSAYO DE MARTILLO DE REBOTE DE SCHMIDT ( ESCLEROMETRÍA )**

**PROYECTO: "EVALUACIÓN DE ESFUERZOS ANTE LA ACCIÓN DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL EN EL DISTRITO DE AYACUCHO, PROVINCIA DE HUAMANGA, DEPARTAMENTO DE AYACUCHO"**

**ESCLEROMETRÍA ( P-05)**

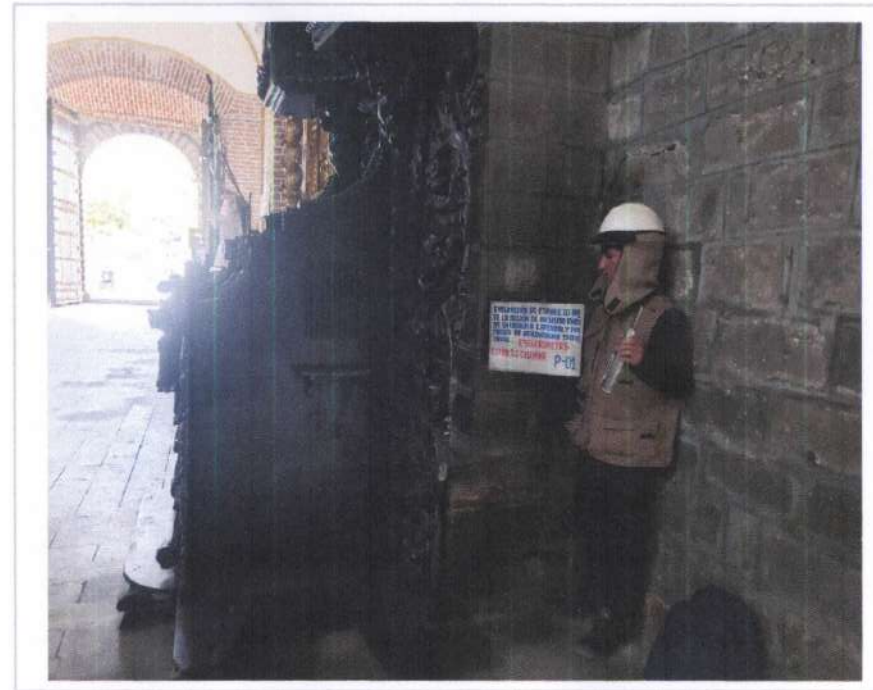


**PUNTO 05**

**ENSAYO DE MARTILLO DE REBOTE DE SCHMIDT ( ESCLEROMETRÍA )**

**PROYECTO: "EVALUACIÓN DE ESFUERZOS ANTE LA ACCIÓN DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL EN EL DISTRITO DE AYACUCHO, PROVINCIA DE HUAMANGA , DEPARTAMENTO DE AYACUCHO"**

**ESCLEROMETRÍA ( P-06)**



**PUNTO 06**

# CROQUIS DE UBICACION DE ENSAYO

**INGEPARCH**

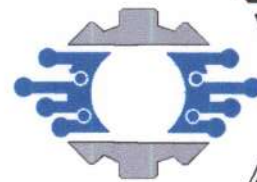
ING. JAVIER CHAVEZ PERALTA  
CONSULTOR EN GEOTECNIA, CONCRETO Y PAVIMENTO  
CIP N° 22227

# CROQUIS DE UBICACION DE ENSAYOS



LEYENDA (ESCLEROMETRIA)	
SIMBOLOGIA	DESCRIPCION
	6 COLUMNAS ENSAYADAS
	COLUMNAS
	UBICACION DE ENSAYOS

**INGEPARCH**  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETO Y PAVIMENTO



<b>PROYECTO</b>	EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL EN EL DISTRITO DE AYACUCHO, PROVINCIA DE HUAMANGA, DEPARTAMENTO DE AYACUCHO*	
<b>ESPECIALIDAD</b>	ESTRUCTURAS	<b>PROFESIONAL RESPONSABLE:</b> ING. JAVIER CHAVEZ PERALTA
<b>PLANO:</b> CROQUIS DE UBICACION DE ENSAYOS	<b>UBICACION:</b> REGION : AYACUCHO PROVINCIA : HUAMANGA DISTRITO : AYACUCHO	
<b>FECHA:</b> MAYO 2023		

LÁMINA:  
**CU-01**

EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL

Franz Tonny BALDEON VALDEZ

# CERTIFICADO DE CALIBRACION

CERTIFICADO  
VÁLIDO CON LA  
CONDICIÓN DEL  
VISTO BUENO ANUAL



VÁLIDO HASTA  
**JUNIO  
2023**

VÁLIDO HASTA  
**JUNIO  
2024**

**organismo de certificación**

Los detalles respecto a la veracidad de este certificado pueden ser obtenidos al CERTIND SA. Teléfono: +4021.313.36.51 / E-mail: office@certind.ro  
La falsificación de este documento se castiga en conformidad con la ley.



# CERTIFICADO

## CERTIND

Confirma que el sistema de gestión de

### INGEPARCH S.A.C.

con dirección en: Jr. Maria Parado de Bellido Nro. 583 int. 9  
Cercado Ayacucho - Hamanga - Ayacucho - Peru

es conforme con los requisitos

### ISO 9001:2015

teniendo el alcance de certificación

Servicios de consultoría técnica en geotecnia, geología y geofísica.  
Servicio de ensayos de campo y laboratorio de suelos, roca, concreto y pavimento.  
Servicios de controles de calidad en materiales de construcción tanto en laboratorio como en el terreno. Servicios de capacitación técnica en geotecnia, geología y geofísica.

### Certificado nº: 22790 C

Certificación presente: 29.06.2022

Última actualización: 01.07.2022

Duración de vencimiento del ciclo de certificación: 28.06.2025 con la condición del visto bueno anual del certificado

La recertificación debe ser finalizada hasta la fecha del vencimiento del ciclo de certificación

El organismo de certificación reserva el derecho de suspender, retirar o cancelar el presente certificado si en las auditorías de vigilancia se observa que no fueron respetadas las condiciones desde la fecha de la certificación inicial

**CERTIND SA - ORGANISMO DE CERTIFICACIÓN**

**Palacio Ugir 1903, Calle George Enescu 27-29, distrito 1, Bucarest, Rumania**

**GERENTE GENERAL  
Violeta Sergentu**

## LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.

Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao  
(+51 1) 562 1263 Cel: 986 654 547 - 943 827 118  
www.pinzuar.com.co



### NA-6271-002 R0

Pag. 1 de 3

## Certificado de Calibración - Laboratorio de Metrología

*Certificate of Calibration*

Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

Este certificado de calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados reportados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

El usuario es responsable de la calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.

<b>SOLICITANTE</b> <i>Customer</i>	INGEPARCH S.A.C.
<b>DIRECCIÓN</b> <i>Address</i>	JR. MARIA PARADO DE BELLIDO NRO. 583 INT. 9 CERCADO AYACUCHO - HUAMANGA - AYACUCHO
<b>CIUDAD</b> <i>City</i>	AYACUCHO
<b>INSTRUMENTO</b> <i>Instrument</i>	ESCLERÓMETRO ANALÓGICO
<b>FABRICANTE</b> <i>Manufactured by</i>	CONTROLS
<b>MODELO</b> <i>Model</i>	32D0561/C
<b>NÚMERO DE SERIE</b> <i>Identification number</i>	20003689
<b>CODIGO INTERNO</b> <i>Internal code</i>	No presenta
<b>RANGO DE MEDICIÓN</b> <i>Measurement range</i>	0
<b>FECHA DE CALIBRACIÓN</b> <i>Date of calibration</i>	2022 - 06 - 28
<b>FECHA DE EXPEDICIÓN</b> <i>Date of Issue</i>	2022 - 06 - 30
<b>NÚMERO DE PÁGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS</b> <i>Number of pages of this certificate and documents attached</i>	3

### FIRMAS AUTORIZADAS

*Authorized Signatures*

**Felix Jaramillo Castillo**

Responsable Laboratorio de Metrología

**ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO**  
Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura

EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL

Franz Tonny BALDEON VALDEZ

**LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.**

Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao  
(+51 1) 562 1263 Cel: 986 654 547 - 943 827 118  
www.pinzuar.com.co

**Certificado de Calibración - Laboratorio de Metrología***Certificate of Calibration***NA-6271-002 R0***Pág. 2 de 3***DETALLES DE LA CALIBRACIÓN**

<b>Solicitante</b>	INGEPARCH S.A.C.
<b>Lugar de Calibración</b>	Laboratorio de Metrología PINZUAR Ltda.
<b>Método Empleado</b>	Comparación Directa
<b>Instrumentos de Referencia</b>	Yunque / D041-16 DE INCOBEST
<b>Método Empleado</b>	Comparación Directa

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN**

Se procede a la toma de lecturas del esclerómetro comparando según la norma ASTM C805, en el yunque con una dureza media de 59,8 HRC  $\pm$  1 HRC.

<b>Dimensión</b>	<b>Valor Nominal***</b>	<b>Valor medido</b>	<b>Error</b>	<b>Incertidumbre Expandida</b>
<b>Índice de Rebote</b>	80 und	79,60 und	-0,40 und	1,9 und

**ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO**  
Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura

EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL

Franz Tonny BALDEON VALDEZ

**Certificado de Calibración - Laboratorio de Metrología**

**NA-6271-002 R0**

*Certificate of Calibration*

*Pág. 3 de 3*

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN**

Los resultados de la calibración están dados para cada pieza en las tablas de resultados ubicadas en las páginas No. 2

**INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN**

La incertidumbre expandida de la medición reportada (página No. 2, Tabla de resultados), se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura "k" y la probabilidad de cobertura aproximadamente al 95 %. Basados con el documento: JCGM 100:2008. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First Edition. September 2008.

**CONDICIONES AMBIENTALES**

**Temperatura:** 20 °C ± 1 °C  
**Humedad Relativa:** 60 % HR ± 10 % HR

**TRAZABILIDAD**

El Laboratorio de Metrología de Pinzuar Ltda. asegura el mantenimiento de la trazabilidad de los patrones al Sistema Internacional de Unidades S.I.

**OBSERVACIONES**

1. Los certificados de calibración sin las firmas no tienen validez.
2. El usuario es responsable de la recalibración de los instrumentos de medición a intervalos apropiados.
3. Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido, sin obtener permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.
4. Los resultados contenidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos.
5. Se anexa con el certificado la estampilla de calibración No. **NA-6271-002**



**Felix Jaramillo Castillo**

*Responsable Laboratorio de Metrología*

## **D.2 Propiedades mecánicas de muestra de roca Carmen Alto**



LABORATORIO DE  
MECANICA DE ROCAS  
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n  
Telef.(066) -312510 Anexo 151  
Ayacucho - Perú

## RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

TESISTA: Franz Baldeón Valdéz  
TESIS: Evaluación de esfuerzos ante la acción de un sismo raro de la basílica catedral y propues de intervención estructural.

ESTRUCTURA: MUESTRA: Basílica catedral

PROCEDENCIA: Lugar: Basílica catedral Provincia: Huamanga  
Distrito: Ayacucho Depto: Ayacucho

MUESTRA	PROBETA			CARGA DE ROTURA	RESISTENCIA COMPRESION UNIAxIAL		OBSERVACIONES
	Diámetro cm.	Longitud cm.	Area cm <sup>2</sup>		Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	
	Basílica catedral	5.42	10.41	23.07			

FECHA: 10 de mayo del 2023

OBSERVACION: (\*) Corregida según Prodyakonov (L/D=2)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS  
FIMGC-UNSC  
  
ING. GROVER RUBINA SALAZAR  
RESPONSABLE

EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL

Franz Tonny BALDEON VALDEZ



LABORATORIO DE  
MECANICA DE ROCAS  
FIMGC-UNSCH

Av. Independencia S/N  
Telef. (066) 312510 Anexo 151  
Ayacucho - Perú

### PROPIEDADES FISICAS DE LA ROCA (ASTM C-97-02)

TESISTA : Franz Tonny Baldeón Valdéz  
TESIS: Evaluación de esfuerzos ante la acción de un sismo raro de la basílica catedral y propuesta de intervención estructural.

PROCEDENCIA: Lugar: Basílica catedral  
Distrito: Ayacucho

Provincia: Huamanga  
Depto: Ayacucho

Muestra: Basílica catedral

MUESTRA	VOLUMEN cm <sup>3</sup>	PESO NATUR. gr.	PESO SECO gr.	PESO SATUR. gr.	DENSIDAD gr./cm <sup>3</sup>	ABSORCION %	POROSIDAD %	NOMBRE DE ROCA
Basílica catedral	17.85	36.30	36.10	38.10	2.02	5.54	11.20	Brecha volcánica basáltica

FECHA: 10 de mayo del 2023

LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS  
FIMGC-UNSCH  
  
ING. GROVER RUBINA SALAZAR  
RESPONSABLE



LABORATORIO DE  
MECANICA DE ROCAS  
FIMGC - UNSCH

Av. Independencia s/n  
Telef (064) - 812510 - Anexo 151 Ayacucho -Perú

### ENSAYO DE DETERMINACION DEL MODULO ELASTICO Y COEFICIENTE DE POISSON

TESISTA : Franz Baldeón Valdéz  
TESIS: Evaluación de esfuerzos ante la acción de un sismo raro de la basílica catedral y propuesta de intervención estructural.

ESTRUCTURA:

Distrito: Ayacucho  
Provincia: Huamanga  
Departamento: Ayacucho

MUESTRA	
Procedencia:	Basílica catedral
Roca:	Brecha volcánica basáltica
Código de muestra:	
Tramo:	
Diámetro (cm)	5.42
Longitud (cm)	10.41
Area (cm <sup>2</sup> )	23.07
Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	256.77
50% de la resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	78.39
Deformación axial (mm. X 10 <sup>-3</sup> )	1.36
Deformación transversal (mm. X 10 <sup>-3</sup> )	0.25
Módulo elástico (Kg/cm <sup>3</sup> )	57,636.03
Módulo elástico (MPa)	5,650.59
Coefficiente de Poisson	0.18
Observaciones:	

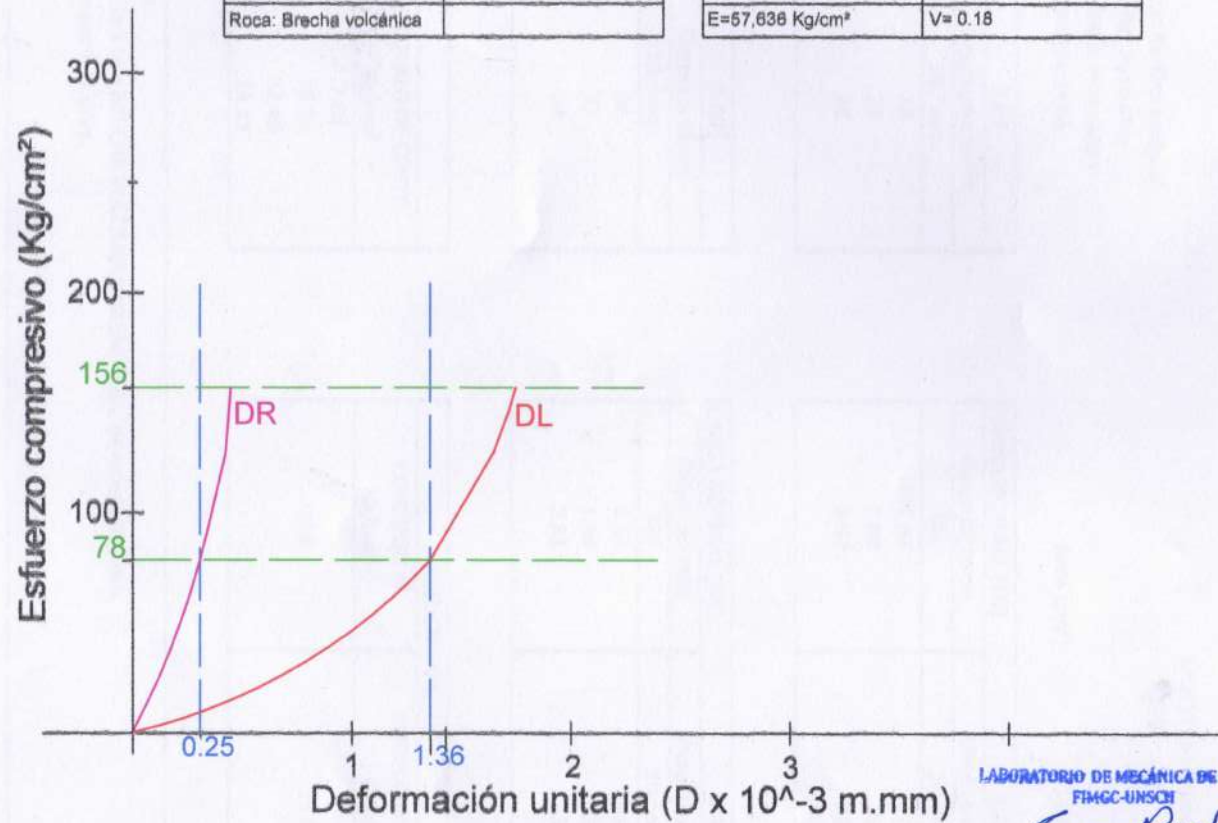
Fecha: 10 de mayo del 2023

LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS  
FIMGC-UNSC  
*Franz Rubina Salazar*  
ING. FROVIER RUBINA SALAZAR  
RESPONSABLE

### CONSTANTES ELASTICAS

Muestra: M-1	
Diametro: 542 mm.	Longitud: 1,041 mm.
Roca: Brecha volcánica	

Gc= 156.77 Kg/cm <sup>2</sup>	Gt= 78.39 Kg/cm <sup>2</sup>
DL= 1.36 x 10 <sup>-3</sup> m.m	DR=0.25 x 10 <sup>-3</sup> mm.
E=57,636 Kg/cm <sup>2</sup>	V= 0.18



LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS  
 FMGC-UNSCH  
  
 ING. GROVER RUBINA SALAZAR  
 RESPONSABLE



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
(ASTM D-4554)**

TESISTA: Franz Baldeón Valdéz  
TESIS: Evaluación de esfuerzos ante la acción de un sismo raro de la basílica catedral y propuesta de intervención estructural.

ESTRUCTURA: MUESTRA: Basílica catedral  
PROCEDENCIA: Lugar: Basílica catedral  
Distrito: Ayacucho  
Provincia: Huamanga  
Depto: Ayacucho

Area (cm<sup>2</sup>) 19.40

CARGA NORMAL (KN): 3.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 <sup>-2</sup> mm.
1.24	26
1.37	27
1.50	28

CARGA NORMAL (KN): 4.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 <sup>-2</sup> mm.
1.67	31
1.80	32
1.93	33

CARGA NORMAL (KN): 5.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 <sup>-2</sup> mm.
2.11	36
2.24	37
2.37	38

CARGA NORMAL (KN): 6.00	
Carga de corte	Desplazamiento
KN	10 <sup>-2</sup> mm.
1.53	41
1.66	42
2.81	43

RESUMEN	
ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO DE CORTE
Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
15.77	7.88
21.03	10.14
26.28	12.46
31.54	14.77

RESULTADOS	
COHESION ©	ANGULO FRICCION Φ
Kg/cm <sup>2</sup>	Grados
0.98	23.6°

DESCRIPCION DE LA MUESTRA:  
La muestra de roca corresponde a una BRECHA VOLCANICA BASALTICA , de color gris claro.  
La roca es medianamente compacto y duro.

FECHA: 10 de mayo del 2023

LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS  
FIMGC-UNSC  
*Franz Rubina*  
ING. GROVER RUBINA SALAZAR  
RESPONSABLE

## RESULTADOS ENSAYO CORTE DIRECTO

TESIS: "Evaluación de esfuerzos ante la acción de un sismo raro de la basílica catedral y Propuesta de intervención estructural."

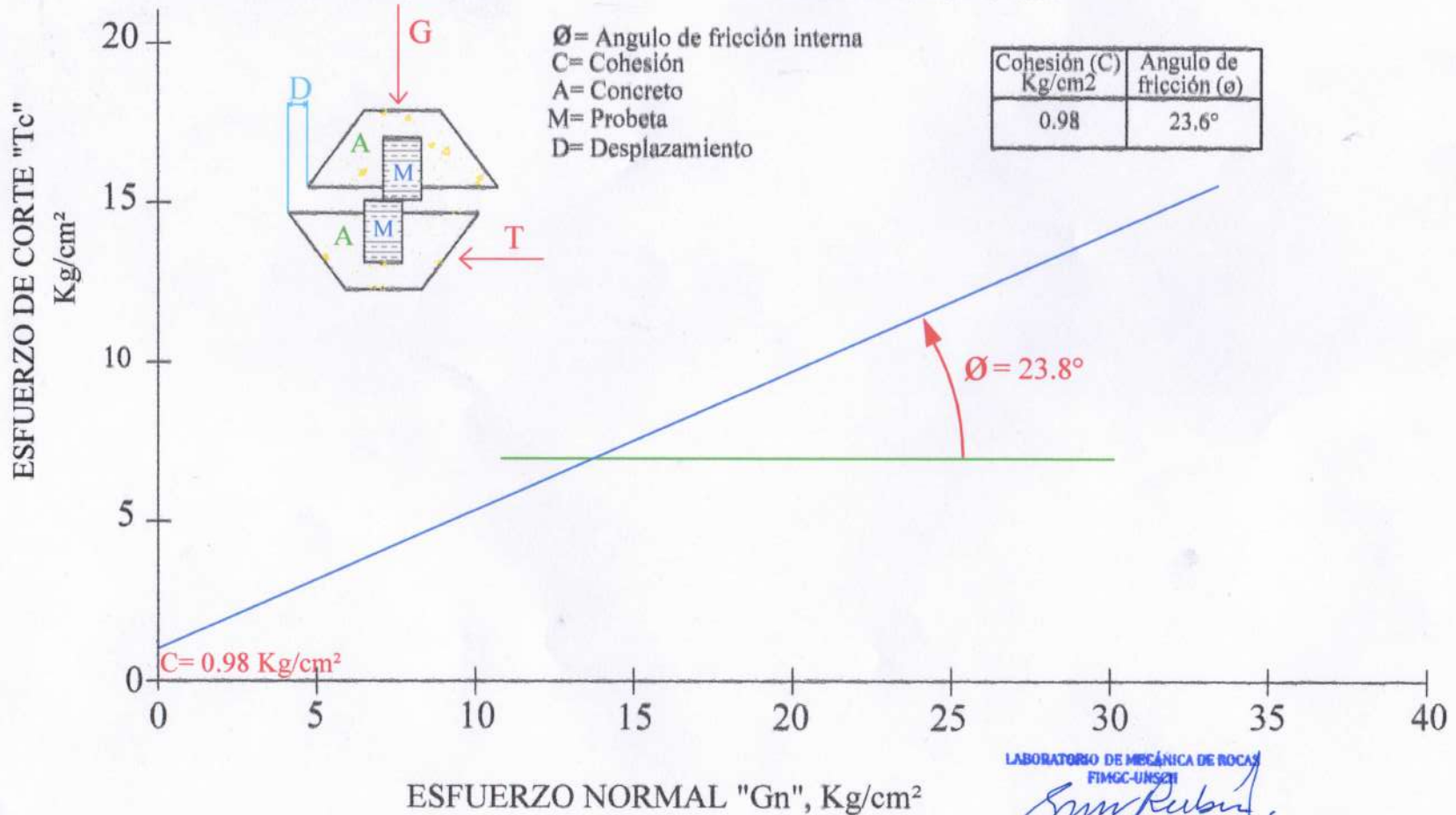
ESTRUCTURA:

UBICACION: Lugar: Basílica catedral  
 Distrito: Ayacucho

Provincia: Huamanga  
 Departamento: Ayacucho

MUESTRA: Basílica catedral  
 FECHA: 10 de mayo del 2023

ROCA: Brecha volcánica basáltica



LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS  
 FIMGC-UNSCIT  
*San Rubén*  
 ING. GROVER ROBINA SALAZAR  
 RESPONSABLE

EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL 1

Franz Tonny BALDEON VALDEZ



**ACTA N° 005-2024-FIMGC: ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga de la ciudad de Ayacucho, a los 12 días del mes de enero de 2024, siendo las 10:00 am, reunidos en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, bajo la presidencia del Mg. Edward LEÓN PALACIOS en representación del Decano de la FIMGC y los miembros Mg. Rubén Américo YACHAPA CONDEÑA, Mg. Rolando CISNEROS AYALA, actuando como secretario docente el MSc. Edmundo CANCHARI GUTIÉRREZ, para proceder a la sustentación de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, del bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil:

FRANZ TONNY BALDEÓN VALDEZ

Quien presentó la tesis denominada:

“EVALUACIÓN DE ESFUERZOS ANTE LA ACCIÓN DE UN SISMO RARO DE LA BASÍLICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL”

Los señores miembros del jurado, luego de expuesto el tema y absueltas las preguntas, lo declaran:

APROBADO CON NOTA 15 (QUINCE)

Siendo las 11:06am del día 12 de enero de 2024, culmina el acto de sustentación de tesis. Firman los miembros del jurado de tesis en señal de conformidad.

Mg. Edward LEÓN PALACIOS  
Presidente

Mg. Rolando CISNEROS AYALA  
Miembro

Mg. Rubén Américo YACHAPA CONDEÑA  
Miembro

MSc. Edmundo CANCHARI GUTIÉRREZ  
Secretario docente de la FIMGC

cc:  
Archivo

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN****CONSTANCIA N° 003-2023-FIMGC/ASIH**

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, de la Escuelas Profesional de **Ingeniería Civil** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 476-2023-FIMGC-UNSCH-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

**Apellidos y Nombres** : FRANZ TONNY BALDEÓN VALDEZ  
**Escuela Profesional** : INGENIERÍA CIVIL  
**Título de la Tesis** : "EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL"  
**Evaluación de la Originalidad** : 8 % Índice de Similitud  
**Identificador de la entrega** : 2265276176


Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 28 de diciembre del 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

  
Msc. Ing. Alex Sander IRCANAUPA HUAMANI  
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado  
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil

Con depósito para Sustentación y Tramites  
Cc. Archivo.

# EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL

*por* Franz Tonny BALDEON VALDEZ

---

**Fecha de entrega:** 28-dic-2023 06:13a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2265276176

**Nombre del archivo:** Tesis\_Franz\_Tonny\_BANDEON\_VALDEZ.pdf (23.97M)

**Total de palabras:** 14367

**Total de caracteres:** 187466

# EVALUACION DE ESFUERZOS ANTE LA ACCION DE UN SISMO RARO DE LA BASILICA CATEDRAL Y PROPUESTA DE INTERVENCION ESTRUCTURAL

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

8%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	2%
2	documents.mx Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Trabajo del estudiante	1%
4	dgasa.uaeh.edu.mx:8080 Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.unesum.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	www.scribd.com Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%

---

8

Submitted to Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) - Sede Ecuador

Trabajo del estudiante

<1 %

9

repositorio.unsch.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

10

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo