

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA IGLESIA

BELÉN DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA- 2017

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL

Presentada por:

Bachiller: ALICIA YAJAIRA DÍAZ QUIROZ

Asesor:

Dr. MIGUEL ÁNGEL MOSQUEIRA MORENO

Cajamarca – Perú

2019

COPYRIGHT © 2019 by
ALICIA YAJAIRA DÍAZ QUIROZ
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS APROBADA:

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA IGLESIA BELÉN DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA - 2017

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL

Presentada por:

Bachiller: ALICIA YAJAIRA DÍAZ QUIROZ

JURADO EVALUADOR:

Dr. Miguel Ángel Mosqueira Moreno
Asesor

M.Cs. José Luis Marchena Araujo
Jurado Evaluador

M.Cs. Mauro Augusto Centurión Vargas
Jurado Evaluador

M.Cs. Manuel Lincoln Minchán Pajares
Jurado Evaluador

Cajamarca – Perú

2019



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



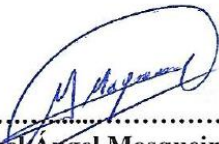
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

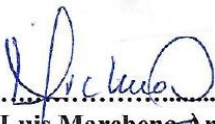
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las *4:00 pm.* horas, del día 23 de agosto de dos mil diecinueve, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **M.Cs. JOSÉ LUIS MARCHENA ARAUJO, M.Cs. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS, M.Cs. MANUEL LINCOLN MINCHÁN PAJARES**, y en calidad de Asesor el **Dr. MIGUEL ÁNGEL MOSQUEIRA MORENO** Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **“EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA IGLESIA BELÉN DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA - 2017”**, presentada por la **Bach. en Ingeniería Civil ALICIA YAJAIRA DÍAZ QUIROZ**

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó...*APROBAR*...con la calificación de *Diecisiete (17) Excelente*...la mencionada Tesis; en tal virtud, la **Bach. en Ingeniería Civil ALICIA YAJAIRA DÍAZ QUIROZ**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, con Mención en **INGENIERÍA CIVIL**

Siendo las *5:30 pm.* horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Miguel Ángel Mosqueira Moreno
Asesor


.....
M.Cs. José Luis Marchena Araujo
Jurado Evaluador


.....
M.Cs. Mauro Augusto Centurión Vargas
Jurado Evaluador


.....
M.Cs. Manuel Lincoln Minchán Pajares
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

En primer lugar, a **Dios** por regalarme la vida

A mis queridos padres, **Alfonso y Julia**,

A mis queridos hermanos,
Richard, Rosa, Valeria y Anthony,

A todos ellos que siempre me apoyan,
me dan fuerzas y ánimos
para seguir adelante
y lograr todo lo que me propongo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a mis padres y a todos mis hermanos que me apoyaron a lograr mis objetivos, quisiera agradecer también a mi profesor y guía, Miguel Ángel Mosqueira Moreno quien siempre me orientó, aconsejó, apoyó y me brindó su amistad en esta investigación a pesar de las dificultades que hubo durante el estudio de esta tesis, agradezco a la dirección de Cultura por permitirme el ingreso a la iglesia Belén, agradezco al ing. Alex Pacheco por el aporte de sus conocimientos y apoyo en el desarrollo de esta tesis, además quiero agradecer a todos y cada uno de los docentes que a lo largo de la maestría me han brindado su sabiduría y experiencias.

“La vulnerabilidad sísmica se define como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, resultando de la probable ocurrencia de un evento sísmico desastroso. Es una condición intrínseca de la estructura a sufrir daño ante la ocurrencia de un evento determinado y está asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño”.

(Safina, 2003)

ÍNDICE GENERAL

	Pag.
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
EPÍGRAFE	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS	xvi
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Justificación e importancia.....	10
1.3. Delimitación de la investigación.....	12
1.4. Limitaciones	13
1.5. Objetivos	13
CAPÍTULO II.....	15
MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial	15
2.2. Marco doctrinal de las teorías particulares en el campo de la ciencia en la que se ubica el objeto de estudio.	24
2.3. Marco conceptual	27
2.4. Definición de términos básicos	47
CAPÍTULO III.....	50
PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	50
3.1. Hipótesis	50

3.2. Variables/categorías.....	50
3.3. Operacionalización /categorización de los componentes de las Hipótesis.....	51
CAPÍTULO IV	52
MARCO METODOLÓGICO	52
4.1. Ubicación geográfica	52
4.2. Diseño de la investigación.....	53
4.3. Métodos de investigación	98
4.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidad de observación	100
4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información.....	100
4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	101
4.7. Equipos, materiales, insumos, etc.	102
4.8. Matriz de consistencia metodológica	103
CAPITULO V	104
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	104
5.1. Presentación de resultados.	104
5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados.....	131
5.3. Contrastación de hipótesis	136
CONCLUSIONES	138
RECOMENDACIONES.....	140
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141
Referencias	141
ANEXOS.....	150

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Fecha, Magnitud, Ciudades o Región y Consecuencias de los Sismos que marcaron en la historia.	5
Tabla 2: Monumentos Declarados Históricos en la Zona Monumental de Cajamarca.	30
Tabla 3: Cuadro de Coordenadas de La Iglesia Belén-Cajamarca	52
Tabla 4: Propiedades de la estructura	57
Tabla 5: Altura promedio.	58
Tabla 6: Peso total de la estructura.	59
Tabla 7: Parámetros Acción Sísmica.....	61
Tabla 8: Parámetros de la configuración en planta.....	68
Tabla 9: Parámetros de la configuración en elevación.....	70
Tabla 10: Datos del parámetro 8	72
Tabla 11: Escalas de calificación de la vulnerabilidad sísmica de Benedetti y Petrini.	83
Tabla 12: Valor del índice de vulnerabilidad sísmica.	84
Tabla 13: Tabla de Calificación de los parámetros a evaluar.....	97
Tabla 14: Calificación para la determinación el nivel de vulnerabilidad.....	98
Tabla 15: Calificación para la determinación el nivel de vulnerabilidad.....	105
Tabla 16: Cálculo de índice de vulnerabilidad	105
Tabla 17: Calificación para la determinación el nivel de vulnerabilidad.....	106
Tabla 18: Peso específico de las muestras de piedra.....	109
Tabla 19: Peso específico de las muestras de piedra alteradas.	110
Tabla 20: Resistencia a la compresión de las muestras de piedra sin alterar.	112
Tabla 21: Peso específico de las muestras de piedra alteradas	113
Tabla 22: Resumen del módulo de elasticidad de las muestras sin alterar.	114

Tabla 23:	Resumen del módulo de elasticidad de las muestras alteradas.	114
Tabla 24:	Esfuerzos cortantes de muros en la dirección paralela al sismo.	115
Tabla 25:	Esfuerzos cortantes de muros en la dirección perpendicular al sismo. ...	116
Tabla 26:	Esfuerzos cortantes de muros en la dirección perpendicular al sismo. ...	120
Tabla 27:	Esfuerzos cortantes de muros en la dirección paralela al sismo.	120
Tabla 28:	Desplazamientos máximos por sismo en la dirección X.....	124
Tabla 29:	Desplazamientos máximos por sismo en la dirección Y.....	125
Tabla 30:	Esfuerzos por peso propio de muros en X.	126
Tabla 31:	Esfuerzos por peso propio de muros en Y.	126
Tabla 32:	Resultados de análisis calidad de mano de obra y materiales.	129
Tabla 33:	Resultados de análisis del estado de conservación	130
Tabla 34:	Calificación de la vulnerabilidad sísmica aplicado a la iglesia Belén.	131

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura Nº 1: Zonas sísmicas según Norma Técnica E.030	1
Figura Nº 2: City Hall Tower antes y después del llamado "Temblor de San Francisco" en 1906. Estados unidos, california.	7
Figura Nº 3: Casona Toribio Casanova de Cajamarca, afectada por la falta de mantenimiento y factores ambientales.	9
Figura Nº 4: Iglesia Belén ubicada entre el Jr. Silva Santisteban y el Jr. Belén.....	10
Figura Nº 5: Modelo de Elementos Finitos de la Iglesia San Rocco.....	17
Figura Nº 6: Catedral de Mallorca.....	19
Figura Nº 7: Modelo de Elementos Finitos Aplicado al Palacio del Hijo del Faraón.	21
Figura Nº 8: Modelo de Elementos Finitos Aplicado a la Basílica Catedral y la Iglesia de la Sagrada Familia.	24
Figura Nº 9: Zona Monumental y Ambiente Monumental de Cajamarca	29
Figura Nº 10: Mapa de Peligros.....	31
Figura Nº 11: Columna de piedra.....	33
Figura Nº 12: Muro de Piedra iglesia Belén.	34
Figura Nº 13: Arcos de Piedra.	35
Figura Nº 14: Bóvedas de cañón.	35
Figura Nº 15: Cúpulas	36
Figura Nº 16: Cimborio.	37
Figura Nº 17: Pechina.....	37
Figura Nº 18: Contrafuertes.....	38
Figura Nº 19: Torres	39
Figura Nº 20: Cimentaciones.....	39
Figura Nº 21: Microlocalización de la Iglesia Belén de Cajamarca.....	52
Figura Nº 22: Conexión de muros tipo cajón en la estructura.	54

Figura N° 23:	Evaluación del parámetro 1 aplicado a la iglesia Belén.....	55
Figura N° 24:	Mampostería de piedra labrada artesanalmente.....	56
Figura N° 25:	Evaluación del parámetro 2 aplicado a la iglesia Belén.....	56
Figura N° 26:	Área en planta de la Iglesia Belén.....	58
Figura N° 27:	Área en planta de los muros resistentes en el eje X.....	59
Figura N° 28:	Área en planta de los muros resistentes en el eje Y.....	60
Figura N° 29:	Evaluación del parámetro 3 aplicado a la iglesia Belén.....	62
Figura N° 30:	Posición de la cimentación de la iglesia Belén.....	63
Figura N° 31:	Evaluación del parámetro 4 aplicado a la iglesia Belén.....	63
Figura N° 32:	Isométrico Torre Iglesia Belén.....	64
Figura N° 33:	Isométrico Cúpula iglesia Belén.....	65
Figura N° 34:	Arcada iglesia Belén.....	65
Figura N° 35:	Bóveda de cañón de la iglesia Belén.....	66
Figura N° 36:	Evaluación del parámetro 5 aplicado a la iglesia Belén.....	66
Figura N° 37:	Configuración en planta de la estructura a evaluar.....	67
Figura N° 38:	Configuración en planta de la estructura a evaluar.....	68
Figura N° 39:	Evaluación del parámetro 6 aplicado a la iglesia Belén.....	68
Figura N° 40:	Configuración en elevación de la estructura a evaluar.....	69
Figura N° 41:	Evaluación del parámetro 7 aplicado a la iglesia Belén.....	70
Figura N° 42:	Distribución de muros portantes en la Iglesia Belén.....	71
Figura N° 43:	Evaluación del parámetro 8 aplicado a la iglesia Belén.....	72
Figura N° 44:	Cúpula de piedra de la iglesia Belén.....	73
Figura N° 45:	Evaluación del parámetro 9 aplicado a la iglesia Belén.....	73
Figura N° 46:	Estructura de piedra fachada principal.....	74
Figura N° 47:	Estructura de piedra fachada principal.....	75
Figura N° 48:	Estatuas de yeso en el altar mayor.....	76
Figura N° 49:	Campanario.....	76
Figura N° 50:	linterna sobre cúpula.....	77

Figura N° 51:	Evaluación del parámetro 10 aplicado a la iglesia Belén.....	77
Figura N° 52:	Fisuras en los bloques de piedra de la iglesia Belén.....	79
Figura N° 53:	Deteriores en la fachada principal por golpes a la estructura.	79
Figura N° 54:	Ataques de hongos producto de la humedad.....	79
Figura N° 55:	Ataques químicos producto del excremento de aves en fachadas.	80
Figura N° 56:	Presencia de hongos producto de la humedad en cubiertas y contrafuertes.....	80
Figura N° 57:	Cobertura de la iglesia Belén de Cajamarca	80
Figura N° 58:	Cúpula de la iglesia Belén afectado por las hongos producto de la humedad.....	81
Figura N° 59:	Detalles y acabados interiores en buen estado.....	81
Figura N° 60:	Esculturas de yeso en buen estado de conservación.....	82
Figura N° 61:	Evaluación del parámetro 11 aplicado a la iglesia Belén.....	82
Figura N° 62:	Planta principal de la Iglesia Belén de Cajamarca.....	86
Figura N° 63:	Fachada principal de la Iglesia Belén de Cajamarca.....	87
Figura N° 64:	Vista lateral de la iglesia Belén	88
Figura N° 65:	Exploraciones realizadas dentro de la iglesia Belén obtenida de la dirección de Cultura de Cajamarca.	88
Figura N° 66:	Interior de la Iglesia Belén.....	89
Figura N° 67:	Modelo tridimensional en software GID.....	90
Figura N° 68:	Modelo tridimensional de la Iglesia Belén	91
Figura N° 69:	Espectro de aceleración para suelos intermedios.	93
Figura N° 70:	Parámetros del modelo de vulnerabilidad sísmica.	99
Figura N° 71:	Esquema del proceso de la investigación	101
Figura N° 72:	Control previo al ensayo.	108
Figura N° 73:	Determinación del peso específico de la piedra.	109
Figura N° 74:	Ensayo de compresión de las muestras de piedra.....	110
Figura N° 75:	Falla en la muestra luego de ser sometida a compresión axial	111

Figura N° 76: Gráfica esfuerzo vs deformación de las muestras de piedra sin alterar.	111
Figura N° 77: Gráfica esfuerzo vs deformación de las muestras de piedra afectadas por los factores ambientales.	112
Figura N° 78: Peso específico de las muestras de piedra alteradas.	113
Figura N° 79: Esfuerzos máximos cortantes de los muros en la dirección de X.....	117
Figura N° 80: Esfuerzos máximos cortantes de los muros laterales en la dirección de X.....	117
Figura N° 81: Esfuerzos máximos cortantes de los contrafuertes en la dirección de X	118
Figura N° 82: Esfuerzos máximos cortantes de los techos en la dirección de X	118
Figura N° 83: Esfuerzos máximos cortantes de los muros en la dirección de Y...	119
Figura N° 84: Esfuerzos máximos cortantes de los muros en la dirección de Y. ...	121
Figura N° 85: Esfuerzos máximos cortantes de los muros centrales en la dirección de X.....	121
Figura N° 86: Esfuerzos máximos cortantes de la arquería lateral en la dirección de Y.....	122
Figura N° 87: Esfuerzos máximos cortantes de los contrafuertes en la dirección de Y.	122
Figura N° 88: Esfuerzos máximos cortantes de la cúpula en la dirección de Y.	123
Figura N° 89: Desplazamientos máximos para el sismo en la dirección de X.	124
Figura N° 90: Desplazamientos máximos para el sismo generado en la dirección de Y.....	125
Figura N° 91: Esfuerzos máximos de compresión de muros en la dirección de X.	127
Figura N° 92: Esfuerzos máximos de compresión de muros en la dirección de X.	127
Figura N° 93: Esfuerzos máximos de compresión de muros en la cobertura.	128

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS

MC: Ministerio de cultura.

NTE: Norma Técnica de Edificaciones

INAH: Instituto Nacional de Antropología e Historia

RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Bóveda: *“Elemento espacial curvo para cubrir un claro”.* (Torres , 2014)

Betlemitas: *“Orden religiosa cuyo nombre oficial es orden de los hermanos de Nuestra Señora de Bettlehem”.* (Olson , 2013)

Coceo: *“Empuje lateral que un arco o bóveda ejercen sobre sus apoyos”.* (Olson , 2013)

Espadaña: *“Campanario formado por una sola pared, en la que están abiertos los huecos para colocar las campanas”.* (Torres , 2014)

Nave: *“Cada uno de los espacios entre muros o filas de arcadas que se extienden a lo largo de una iglesia”* (Torres , 2014)

Riesgo sísmico: *“Son las consecuencias sociales y económicas provocadas por un terremoto”.* (Benedetti, y otros, 1984)

RESUMEN

Los bienes inmuebles son considerados como patrimonio histórico y enlazan el pasado con el presente, quedando en la memoria del pasado para la comunidad cajamarquina, es por ello que para el desarrollo de esta tesis se ha tomado como caso de estudio la iglesia Belén de Cajamarca, donde se evaluó la vulnerabilidad sísmica de una construcción patrimonial histórica de piedra, Esta iglesia de mampostería de piedra se consideró representativa para la investigación debido a que es una estructura que aún se conserva desde hace 274 años, de la cual no se han hecho evaluaciones similares y no se sabe con exactitud cuál será su comportamiento frente a un sismo, aunque se presume que es bueno, debido a su conservación y estabilidad en el presente. La propuesta metodológica presentada en esta Tesis, está referida a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica por dos métodos, el primero a través de fichas de evaluación propuestas por Benedetti y Petrini y el segundo con la modelación de la estructura en el programa de análisis estructural SAP 2000, con los resultados obtenidos se hará uso de las tablas propuestas en la metodología de Mosqueira y Tarque, este análisis proporciono un acercamiento al comportamiento y nivel de vulnerabilidad de la iglesia. En el documento se detalla: un amplio estado del conocimiento, los estudios realizados en el mundo, estudios previos, propiedades mecánicas y pruebas de campo. En base a la metodología propuesta y el modelamiento de la estructura se determinó que la IGLESIA BELÉN DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA por el método cualitativo indica que es **medianamente vulnerable** y por el método cuantitativo indica que es **altamente vulnerable**, por lo que se deberán tomar medidas correctivas para evitar la pérdida del monumento al presentarse un evento sísmico

PALABRAS CLAVE: Vulnerabilidad sísmica, mampostería de piedra, monumento histórico.

ABSTRACT

Real estate is considered historical heritage and links the past with the present, remaining in the memory of the past for the community of Cajamarca, that is why for the development of this thesis has been taken as a case study Bethlehem Church of Cajamarca, where the seismic vulnerability of a historic stone heritage construction was evaluated, this stone masonry church was considered representative for the investigation because it is a structure that has been conserved for 274 years, of which no similar assessments have been made and it is not known exactly what will be their behavior in front of an earthquake, although it is presumed to be good, due to its conservation and stability in the present. The methodological proposal presented in this Thesis, is referred to the evaluation of seismic vulnerability by two methods, the first through evaluation sheets proposed by Benedetti and Petrini and the second with the modeling of the structure in SAP structural analysis program 2000, with the results obtained, we will make use of the tables proposed in the methodology of Mosqueira and Tarque to obtain valid conclusions, this analysis will give an approach to the behavior and level of vulnerability of the church. The document details: a broad state of knowledge, studies conducted in the world, previous studies, mechanical properties and field tests. Based on the proposed methodology and the modeling of the structure, it was determined that the CHILEAN BETHLEHEM OF THE CITY OF CAJAMARCA by the qualitative method indicates that it is moderately vulnerable and by the quantitative method indicates that it is highly vulnerable, so measures must be taken corrective measures to avoid the loss of the monument when a seismic event occurs.

KEY WORDS: Seismic vulnerability, stone masonry, historical monument.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Contextualización

Se conoce que nuestro país es altamente sísmico, está dividido en cuatro zonas de acuerdo a la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral y la información Neotectónico.; tal como lo dice el RNE en la norma técnica E.030 del año 2016; la ciudad de Cajamarca se ubica en la zona 3 (ver figura N° 1) y su factor de aceleración máxima $Z=0.35$, esta condición es una de las más severas y ha afectado hace varias épocas al patrimonio histórico y cultural que hoy son un símbolo patrimonial y marcan la historia de la ciudad. (RNE-NT E030, 2016)



Figura N° 1: Zonas sísmicas según Norma Técnica E.030
Fuente: RNE- NT E030, 2016

A nivel mundial muchos países cuentan con bienes inmuebles que les fueron heredados a través de la historia y arrebatadas por la inclemencia de la naturaleza, los peores enemigos de este tipo de construcciones antiguas son la falta de mantenimiento y los terremotos, que han dejado grandes pérdidas históricas y humanas sobre todo en aquellos que son altamente sísmicos como el caso de Italia, Grecia, Turquía, India, China, Japón, México, Chile y Perú, países que son herederos de una valiosa cultura antigua, los movimientos sísmicos siempre han existido y continuaran existiendo ya que es propio de la naturaleza, a nivel mundial se han registrado datos históricos de terremotos desde épocas muy remotas hasta la actualidad, entre sus variantes están los sismos de origen tectónico, de origen volcánico o producidos por el Hombre, siendo los más devastadores los sismos de origen tectónico. (Goytia et al, 2001)

“La conservación del patrimonio arquitectónico es una tarea compleja que necesita la participación multidisciplinaria para alcanzar buenos resultados”. En base a ello es imprescindible analizar las estructuras históricas en la totalidad de sus elementos, puesto que el valor de cada edificio no se basa solo en la apariencia de sus elementos, sino que ellos representan una manera de construir específica de una época y lugar determinado; de hecho, algunos monumentos históricos constituyen en sí mismos un logro desde el punto de vista estructural y su permanencia es una prueba de los conocimientos que los antiguos constructores tenían en su época. (Arechederra, 2010)

Generalmente en Cajamarca como en el resto del país los monumentos históricos son de adobe y piedra tallada, estas características hacen que su estudio en el proceso de análisis de la vulnerabilidad sea más complejo, el enorme número de combinaciones generadas por la geometría, la naturaleza y unidades, así como las características de los morteros, genera dudas sobre la

exactitud de la mampostería de piedra, existen muchos estudios e investigaciones que se han realizado centrándose en los elementos de piedra de forma experimental, lo cual es un aporte importante para realizar un mejor análisis en este tipo de edificaciones. (Laurenco, 2006)

La ciudad de Cajamarca cuenta con un sin número de iglesias que data de épocas antiguas, siendo muy importante la preservación de todos sus elementos, en los últimos años se han ido incorporando técnicas de evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico en países que han investigado para perpetuar su legado, dichos estudios centran la atención en la descripción de daños físicos como resultado de un acontecimiento sísmico. Como iniciativa de investigación y preservación histórica en la ciudad de Cajamarca, se empleó dos de los métodos que más se adaptan a nuestra realidad, empleando métodos cuantitativos y cualitativos para determinar la vulnerabilidad sísmica, uno de ellos fue propuesto por Benedetti y Petrini y el otro con la modelación de la estructura por elementos finitos, los resultados serán adaptados a las tablas de análisis empleadas en el método de análisis sísmico en albañilería confinada, propuesto por Mosqueira y Tarque para obtener conclusiones sobre la vulnerabilidad sísmica.

Dichos métodos fueron contrastados para corroborar como el sismo puede afectar a las iglesias, así tomar decisiones y acciones correctivas que en conjunto podrán evitar la destrucción del patrimonio, como modelo de análisis, se ha considerado una de las Iglesias más representativas del centro histórico de Cajamarca, debido a su antigüedad, majestuosidad y permanencia, dicho estudio dará un acercamiento al comportamiento de la estructura frente a eventos que podrían presentarse según las condiciones sísmicas de la zona.

1.1.2. Descripción del problema

Muchos países tienen una gran variedad de elementos históricos contruidos a través de la historia y causan una preocupación constante debido a los daños provocados por los sismos ocurridos desde épocas muy antiguas, dichos eventos sísmicos han venido azotando el legado histórico, los peores enemigos de las construcciones antiguas son la falta de mantenimiento y la inclemencia de la naturaleza, factores que han dejado grandes pérdidas históricas y humanas en países altamente sísmicos que como el nuestro se plaga de riqueza, estos países se sitúan muy cerca del cinturón de fuego del pacífico y destacan por su gran herencia cultural y antigua (Sanchez, 2013).

Debido a esta problemática producto de la naturaleza misma, muchos de los países altamente sísmicos están desarrollando investigaciones importantes sobre temas de vulnerabilidad sísmica de los monumentos históricos, con la finalidad de conservar y preservar el legado histórico. Los eventos sísmicos siempre van a ocurrir y es importante realizar estudios adaptando las nuevas tecnologías con métodos desarrollados, en países sísmicos que como el nuestro que tiene gran riqueza histórica, así evitaríamos seguir perdiendo gran parte de los monumentos históricos por la falta de prevención. hoy en día se ha incrementado dichos estudios que ayudan a evaluar el comportamiento sísmico y así ayuda a reducir los riesgos y perdidas del patrimonio.

En la tabla N° 1, podemos observar los diferentes eventos sísmicos más representativos ocurridos a lo largo de la historia, indicando la fecha, magnitud, el lugar y las consecuencias.

Tabla 1: Fecha, Magnitud, Ciudades o Región y Consecuencias de los Sismos que marcaron en la historia.

Fecha	Magnitud	Ciudades o Región	Consecuencias
1906, abril 18	8.3	Estados Unidos: California	700 muertos, llamado "Temblor de San Francisco". Ocasionó grandes daños; se observaron desplazamientos en el suelo. Después del temblor ocurrieron grandes incendios. Este fue el primer terremoto estudiado con detalle.
1906, agosto 16	8.6	Chile Valparaíso, Santiago	20.000 muertos
1908, diciembre 28	7.5	Italia: Regio	29.980 muertos
1920, diciembre 16	8.5	China Kansu y Stransi	200.000 muertos
1923, septiembre 1	8.3	Tokio Yokojawa	99.330 muertos, conocido como el terremoto de Kwanto. Tuvo desplazamientos de hasta 4.5 m y le sucedieron grandes incendios.
1927, mayo 22	8	China Nan Shan	200.000 muertos, grandes fallas, se sintió hasta Pekín.
1935, mayo 30	7.5	Paquistán Quetta	30.000 muertos, la ciudad de Quetta fue totalmente destruida.
1939, junio 25	8.3	Chile	28.000 muertos
1939, diciembre 28	7.9	Turquía Erzincan	30.000 muertos, se detectaron movimientos oscilatorios de 3.7 m de desplazamiento con movimientos trepidatorios menores.
1960, febrero 29	5.8	Marruecos Agadir	De 10.000 a 15.000 muertos, es uno de los temblores que más muertes ha ocasionado a pesar de ser baja su magnitud.
1960, mayo 22	8.5	Chile Concepción Valparaíso	De 6.000 a 10.000 muertos, causó muchas víctimas y grandes daños en Concepción y áreas circunvecinas, dejando cerca de 2.000.000 de damnificados y daños cuantificados en más de 300 millones de dólares. Produjo un maremoto que causó daños en Hawái y Japón.
1964, marzo 28	9.2	Alaska Anchorage	173 muertos, destrucción en Alaska. Se abrieron grietas en las carreteras y los vehículos en movimiento fueron sacados de su curso. Se estimó en 129 500 kilómetros cuadrados el área de daños y produjo un maremoto registrado en las costas de Hawái. Se quebrantó seriamente la economía de Alaska
1970, mayo 31	7.7	Perú: Huaraz, Chimbote, Yungay	De 50.000 a 70.000 víctimas, derrumbes e inundaciones. La peor catástrofe registrada en Perú.
1972, diciembre 23	5.8 6.2	Nicaragua Managua	De 4.000 a 6.000 muertos, miles de heridos. La ciudad de Managua fue casi totalmente destruida.
1976, febrero 4	6.2 7.5	Guatemala, Guatemala	3.000 muertos y se calculan 78.000 heridos.
1976, agosto 27	6.3 7.9	China Noreste	655.237 muertos cerca de 800.000 heridos y danos en el área de Tangshan. Este terremoto fue probablemente el más mortífero de los últimos 4 siglos y el 2º más fuerte que registra la historia moderna.

1984, octubre	7.1	Estados Unidos San Francisco	El sismo azotó el área de la Bahía entera de San Francisco causando daños tremendos en las edificaciones del distrito de Marina. El sismo causó el colapso de la autopista de Oakland y parte del puente de la Bahía de San Francisco.
1994, enero 17	6.6	Estados Unidos	Aprox. 78 muertos, sentido en el sureste de Estados Unidos y noroeste de México. Grandes daños en obras civiles y particulares. Las ciudades más dañadas fueron los Angeles y Santa Mónica, California.
2004, diciembre 24	9.1	Océano Pacífico, India, Sri Lanka y Tailandia	Se generó un tsunami, registrado olas que superaron los 30 metros de altura y arrasaron con todo a su paso, el número de víctimas es mayor a 230,000 y los daños materiales fueron cerca de 14 000 millones de dólares. (Caracota digital, 2017)
2005, octubre 8	7.5	Pakistán, cachemira	El temblor generó múltiples destrozos y derrumbes. De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), produjo pérdidas de más de 440 millones de dólares. (Caracota digital, 2017)
2010, enero 12	7.3	Haití, Puerto príncipe	Dejó casi en ruinas a la ciudad, 316.000 personas perdieron la vida más de dos millones quedaron sin hogar. (Caracota digital, 2017)
2010, febrero 27	8.8	Chile.	Se registró 500 víctimas mortales, dos millones de personas damnificadas y destrozos en medio millón de viviendas. Un fuerte tsunami impactó después la costa como consecuencia del terremoto y destruyó localidades ya afectadas por el sismo.
2011, marzo 11	9.0	Japón, Fukushima,	El terremoto produjo un posterior tsunami que arrasó con más de 21 mil personas. Asimismo, generó una crisis en la planta nuclear de Fukushima que obligó al desplazamiento de más de 57 mil personas por la radiación. (Caracota digital, 2017)
2011, octubre 23	7.2	Turquía	Dejó 600 muertos y más de 4 000 heridos (El Tiempo, 2017)
2014, agosto 3	6.1	China	Dejó 600 murtos y 2000 heridos. (El Tiempo, 2017)
2015, abril 2015	7.8	Nepal	Dejó de 8000 muertos y más de 2 millones de damnificados. (El Tiempo, 2017)
2016, abril 16	7.8	Ecuador Kathmandu	Dejó más de 600 muertos y más de 6.000 heridos. (El Tiempo, 2017)

Fuente: Goytia et al, 2001. Actualizado, El Tiempo, 2017, Caracota digital, 2017

Los eventos sísmicos son un tema de nunca acabar y alguna vez en nuestras vidas lo hemos observado, es por ello que en la historia se ha registrado un sin número de movimientos sísmicos que en su mayoría ha dejado consecuencias devastadoras y si mencionamos a una de las ciudades más bonitas de los Estados Unidos, “La París de América”, contaba con amplios barrios lujosos y preciosas casas victorianas, grandiosos monumentos, imponentes hoteles y una agitada vida cultural, sin embargo después del llamado "Temblor de San Francisco" el 16 de abril de 1906, gran parte de su identidad fue borrada por el desastre natural, en dicho evento uno de los

monumentos más representativos de la ciudad se vino abajo, la llamada torre City hall, tal como se puede apreciar en la Figura N°.2. (Goytia et al. 2001).



Figura N° 2: City Hall Tower antes y después del llamado "Temblor de San Francisco" en 1906. Estados Unidos, California.

Fuente: Domingo, 2010

En Chile en el año de 1960 se produjo la peor catástrofe de la historia de ese país, con una magnitud de 8.5 en Concepción y Valparaíso, dejando cerca de 300 millones de dólares en pérdidas según lo registrado por Goytia y Villanueva, (2001). Actualmente este país está preparado para enfrentar movimientos sísmicos gracias al avance de sus estudios en infraestructuras y prevención, por otro lado la gente está educada para accionar en el preciso momento de un movimiento telúrico, se sabe que en el año 2010, ocurrió un sismo de 8.8 grados en la escala de Richter en la zona centro y sur de Chile causando la muerte de 156 chilenos, cuatro años después en el 2014 se registró un sismo de 8.2 en la ciudad de Iquique con daños muy insignificantes. Es notorio el gran avance de la ingeniería sísmica en el país vecino que de alguna manera deja ver el interés para la preservación con estudios de ingeniería muy sofisticados, dicho país sin duda ha sabido conservar su patrimonio luego de los últimos acontecimientos sísmicos ocurridos.

El Perú no ha sido ajeno a estos eventos sísmicos ya que se encuentra en el cinturón de fuego del pacifico, registrando según el Instituto Nacional de Defensa Civil, sismos ocurridos entre los años 1471- 1490, el más antiguo registrado en la historia del Perú destruyó el primitivo asiento de la ciudad de Arequipa, una lamentable pérdida para nuestro país. (INDECI, 2005),

Las ciudades con gran riqueza cultural en nuestro país, se vieron afectadas, como es el caso de Cusco, donde ocurrió un evento sísmico, cuando la ciudad estaba más bella que nunca, sin embargo, todo desapareció en un segundo, el inesperado evento tuvo una magnitud en 6.0 grados en la escala de Richter, Unknown (2010), otra catástrofe ocurrida en Perú, sucedió 10 años después en la ciudad de Arequipa, con una magnitud de 6.2 grados, la más afectada fue la localidad de Caravelí, muchas de las calles quedaron en escombros, personas desaparecieron, y se perdió gran cantidad de infraestructura en la ciudad, 1940 se produjo uno de los terremotos más devastadores de la historia de Lima y Callao, con una magnitud de 8.2 grados en la escala de Richter, causando grandes destrozos, muertes y miles de heridos. (Comercio, 2015)

En la ciudad de Cajamarca no han ocurrido sismos de gran intensidad pero existe la posibilidad de que la energía acumulada sea liberada a través de un sismo con intensidades que varían de severo a destructor, como ya se ha mencionado líneas arriba, según la norma técnica peruana E.030 del año 2016, la ciudad se ubica en la zona 3, situándola en un nivel de alta sismicidad, sobre todo en las edificaciones más antiguas que se encuentran en la zona monumental de Cajamarca, donde existen elementos arquitectónicos muy antiguos que sin lugar a duda no tuvieron en cuenta ningún parámetro sismoresistente, y su antigüedad ha acumulado daños en la estructura haciéndolos muy vulnerables. (RNE-NT E030, 2016)

Cajamarca en la actualidad atraviesa por un acelerado proceso de deterioro del patrimonio cultural, en la figura N° 3, se puede apreciar la Casona Toribio Casanova, en completo estado de deterioro, siendo evidente la falta de interés por parte de los propietarios, ocupantes y autoridades, quienes están obligados a velar por la integridad y conservación de la estructura, tal como lo menciona la norma técnica A. 140 de Bienes Culturales Inmuebles en el artículo 32. (RNE - NT A140, 2006)



Figura N° 3: Casona Toribio Casanova de Cajamarca, afectada por la falta de mantenimiento y factores ambientales.

La Iglesia Belén es uno de los monumentos históricos más representativos del Arte Barroco de la ciudad que data del siglo XVIII, fue declarada como Monumento Histórico Nacional mediante Ley N° 9441 de fecha 26 de noviembre de 1941, la construcción ha sido realizada a base de piedra tallada artesanalmente, la fachada consta de tres cuerpos y la planta tiene forma rectangular y no se conoce el nivel de amenaza existente, es por ello que se pretende realizar el análisis de la vulnerabilidad sísmica para tener un patrón en cuanto a su comportamiento.



Figura N° 4: Iglesia Belén ubicada entre el Jr. Silva Santisteban y el Jr. Belén.

1.1.3. Formulación del problema

¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia Belén de la ciudad de Cajamarca?

1.2. Justificación e importancia

1.2.1. Justificación científica

La Ingeniería ha avanzado mucho en los últimos años desarrollando técnicas innovadoras para la investigación en ingeniería estructural, estas técnicas están basadas en leyes físicas y dinámicas que en conjunto aportan significativamente a la preservación de estructuras frente a la actividad sísmica de la tierra. Existen métodos matemáticos y empíricos desarrollados los cuales son aplicables a la evaluación de estructuras reales para que de esta manera se logre explicar la energía que se transmite en los elementos que en conjunto resisten a la fuerza sísmica, entre los métodos que existen, tenemos el método

del índice de vulnerabilidad sísmica que es un método cualitativo, y el método de elementos finitos que es método cuantitativo.

En la actualidad muchos países han buscado distintos métodos que ayudan a la estimación de la vulnerabilidad sísmica para estructuras ya construidas y muy antiguas, a nivel mundial es muy importante la preservación de la cultura a través de la conservación de los monumentos históricos es por ello que la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en las iglesias de mampostería de piedra son las estructuras más representativas que podemos encontrar en nuestra ciudad siendo ideal la evaluación para la toma de decisiones en la conservación del patrimonio.

1.2.2. Justificación técnica- práctica

Esta investigación esta netamente enfocada en conocer las características sísmicas de las iglesias de Cajamarca, las que se encuentran en el centro histórico, siendo imperante la preservación del patrimonio, pues no es un secreto que nos encontramos en una zona de alta sismicidad, por ello se plantea desarrollar el método del índice de vulnerabilidad ya que es un método adecuado para este tipo de estructuras de gran variedad de propiedades y configuraciones , adicional a ello se realizará la simulación de la estructura mediante elementos finitos usando el programa de análisis estructural SAP 2000, y con la finalidad de obtener conclusiones validas, se aplicó el método propuesto por Mosqueira y Tarque, con la combinación de ambos métodos se podrá conocer cuál es la probabilidad de daño de la estructura frente a acciones sísmicas, dichos resultados pueden aportar en la toma de decisiones para controlar los efectos más nocivos y evitar daños al patrimonio histórico de la ciudad de Cajamarca.

Los resultados que se obtendrán serán de utilidad para los profesionales de ingeniería, dedicados a la preservación y conservación del patrimonio histórico de la ciudad, también para la población ya que conservarán la identidad histórica, dicho estudio puede servir como modelo para investigaciones futuras, ampliando su aplicación a la evaluación de todas las estructuras de mampostería de piedra de la zona monumental de Cajamarca.

1.2.3. Justificación institucional y personal

La Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca en el programa de Maestría tiene la finalidad de fomentar, incentivar y capacitar a los alumnos a la Investigación Científica y la obtención de resultados que puedan dar respuestas y soluciones válidas a la problemática existente de la zona monumental de Cajamarca, a través de este estudio se podrá analizar la estructura y tener un patrón de evaluación que podrá replicarse en todas las edificaciones históricas de la ciudad de Cajamarca.

La elaboración de la tesis de maestría aportará a mi desarrollo profesional, mejorando habilidades y destrezas propias en el campo de la investigación y el conocimiento, así mismo aportará significativamente en aspectos de la realidad para dar solución a problemas, esta investigación dará a conocer la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia Belén de Cajamarca, cuyo interés es la preservación del patrimonio histórico y cultural de la ciudad.

1.3. Delimitación de la investigación

- El presente estudio abarcó solamente el análisis de la vulnerabilidad sísmica, sin intervenir en los sistemas de reforzamiento de la estructura.

- Solo se realizó el análisis de la iglesia Belén, que forma parte del complejo monumental de Belén.

- Se usó el modelo del Índice de Vulnerabilidad desarrollada en Italia por Benedetti y Petrini aplicada a la Iglesia Belén de Cajamarca ya que en nuestro país no contamos con una metodología para este tipo de estudios.

1.4. Limitaciones

- La caracterización de los elementos estructurales, ha sido realizado con una muestra de piedra de la misma naturaleza geológica a la usada en la iglesia Belén, debido a que no podemos extraer una muestra de piedra propia de la iglesia y teniendo en cuenta que el Ministerio de Cultura no permite la afectación de la estructura.

- Las construcciones adyacentes a la iglesia Belén no se encuentran independientes, están continuas, es por ello que para su evaluación se ha delimitado.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Determinar la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia Belén de la ciudad de Cajamarca.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la vulnerabilidad sísmica mediante el método cualitativo propuesto por Benedetti y Petrini, según los once indicadores de método: organización del sistema resistente, calidad del sistema resistente, posición del edificio y cimentación, diagramas horizontales, tipo de cubierta, estado de

conservación, edad, resistencia convencional, configuración en planta, configuración en elevación, distancia máxima entre muros.

- Determinar la vulnerabilidad sísmica mediante el método cuantitativo propuesto por Mosqueira y Tarque, método que evalúa los esfuerzos y las deformaciones en la estructura y con el apoyo de un modelo adecuado acorde con la geometría y características de los materiales en el programa de análisis estructural SAP 2000 se podrá obtener conclusiones adaptando los resultados a las tablas de análisis empleadas por el método de análisis sísmico en albañilería confinada, propuesto por Mosqueira y Tarque.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial

Mendoza, (2005) relata que con el proceso de colonización se trasladaron hacia América los estilos arquitectónicos Gótico y Barroco de las Catedrales Europeas. Dichas expresiones de arte antiguas fueron combinadas con creatividad criolla y nativas en la construcción de capillas, catedrales y templos cristianos en países conquistados, su influencia conservo los moldes originales con decorados de la arquitectura Gótica y Churrigueresca de los siglos XVI y XVII. Los diseñadores españoles, el impulso del trabajo indígena y los materiales originarios de la zona, los españoles edificaron centenares de iglesias en sus dominios para administrar e imponer la religión que trajeron consigo. Debido a este proceso colonizador muchos de los países en el mundo cuentan con un gran legado histórico de variedad de materiales, estilos y estructuras, las cuales se encuentran frente a una amenaza propia de la naturaleza, pues el planeta es un escenario donde existe una elevada sismicidad, sobre todo en el cinturón de fuego del pacífico, donde ha ocurrido la mayor cantidad de eventos sísmicos que han dejado grandes estragos en la mayoría de construcciones históricas, es por ello la preocupación de los distintos países de realizar investigación para la conservación de su patrimonio histórico.

En el mundo se han realizado diversas investigaciones referidas a la vulnerabilidad sísmica aplicadas a las construcciones históricas con diferente configuración, materiales y construcción, para ofrecer respuesta al comportamiento sísmico y frente a la conservación, restauración y

mantenimiento, a continuación, se detalla las distintas investigaciones en los países altamente sísmicos que cuentan con un gran legado patrimonial:

2.1.1. Antecedentes internacionales:

2.1.1.1. Investigaciones realizadas en Italia:

Entre las distintas investigaciones realizadas a nivel mundial, Italia cuenta con un gran legado histórico entre sus calles, debido a la presencia de edificios propios del Renacimiento. Es por ello que surgió la necesidad de estudiar el comportamiento de dichas estructuras históricas con el único interés de analizar la vulnerabilidad sísmica y preservación de la estructura. En Italia según Mallardo, et al (2008), se analizó el comportamiento sísmico de un importante palacio renacentista llamado Palacio de San Francesco o con su nombre más conocido, Palazzo Renata di Francia, Con el análisis no lineal en 3D se mostró que el edificio fallaba con acciones fuera del plano con bajos coeficientes sísmicos. Se analizó la fachada principal con 3 diferentes modelos en 2D no lineales, los análisis numéricos fueron comparados con el fin de tener una evaluación precisa de la vulnerabilidad sísmica en la fachada.

Otro método fue propuesto por Podesta (2005), quien considera a la mampostería como un modelo estratificado continuo construido en capas de morteros horizontales y verticales, a través de la homogeneización el modelo puede ser implementado usando elementos finitos, el modelo permitió el análisis de la estructura con un armazón ("shell") no lineal, tanto del tipo estático como dinámico, fue aplicado en la modelación de iglesia de San Rocco, en Sellano, obteniendo una excelente simulación y respuesta de la estructura bajo la acción sísmica.

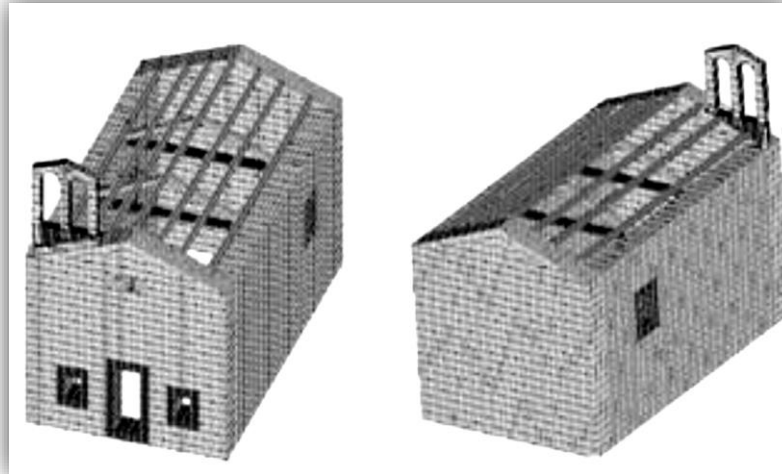


Figura N° 5: Modelo de Elementos Finitos de la Iglesia San Rocco.
Fuente: Podestá, 2005

Otras investigaciones realizadas en Italia, son las realizadas por Mazzolani (2008), quien desarrolló las pruebas experimentales y análisis numéricos, en cinco diferentes niveles: modelos completos a escala, modelos a gran escala, subsistemas, artefactos, materiales y elementos, en dicho análisis se obtuvo buenos resultados impulsando a los investigadores a usar estas técnicas para proteger las estructuras históricas ante acciones sísmicas.

2.1.1.2. Investigaciones realizadas en España:

España es un país de gran riqueza arquitectónica muy variada, es por ello que para los investigadores españoles resulta sumamente importante la investigación en temas de vulnerabilidad sísmica, la que aportará no solo en el conocimiento sino también en la preservación y reducción de pérdidas de su gran repertorio de construcciones y edificios históricos, Málaga es la ciudad más sísmica de la península ibérica y con los sismos ocurridos, se considera que el más catastrófico fue en los años de

1494 y 1680 donde gran parte de la ciudad y un valioso patrimonio histórico que vio seriamente afectado. (Goded, et al, 2007).

Goded, Buforn, Muñoz y Dávila en el año 2007, realizaron una investigación de los daños a los edificios históricos en el terremoto de 1980 denominado, "Estudio preliminar de los grados de daño a los monumentos históricos a partir de índices de vulnerabilidad", y los compararon con los daños realmente observados, dicho estudio se presentó en el 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica en Girona. En el estudio reevaluaron los daños sísmicos producidos por estos sismos en Málaga, encontrando que de la investigación en iglesias los resultados de lo real con lo observado son muy parecidas, sin embargo, en los castillos y monasterios la diferencia es mayor; gracias a lo detallado de la información recopilada, se pudo conocer su estado de conservación, reparaciones realizadas, calidad de los materiales, etc.

Otra de las investigaciones importantes fue realizada en la isla de Mallorca, donde se encuentra uno de los castillos medievales más importantes de España, con el sismo ocurrido en el año de 1851, se produjo daños a la estructura, es por ello que Martínez (2007), introdujo un método para evaluación de edificios históricos de gran tamaño, a través de la medición de vibraciones ambientales en la estructura. Con este método se permite calibrar los modelos complejos de diferentes materiales, para realizar análisis estructurales no lineales, con la consideración de acciones sísmicas más adecuadas para el sitio.



Figura Nº 6: Catedral de Mallorca
Fuente: Martínez, 2007

2.1.1.3. Investigaciones realizadas en Portugal:

En Portugal existe un gran legado arquitectónico, muchos edificios han sido dañados por los diferentes terremotos en los años de 1531, 1755, 1926 y 1998, investigadores han trabajado en la caracterización de los monumentos históricos. Oliveira en el año 1992 realizó una base de datos con los daños provocados por el terremoto de Azores en 1980. Para el estudio las iglesias fueron clasificadas según sus dimensiones, para cada categoría se definió el tipo de material, el tipo de diseño estructural y los elementos estructurales, el tipo de techo, dimensiones principales y geometría, etc. Otro tipo de información importante incluye la existencia de cambios, reparaciones hechas, la importancia primordial de esta base de datos es para tomar atención sobre el estado de deterioro de estructuras históricas por los terremotos ocurridos. (Oliveira, 2003)

Otra importante investigación fue la desarrollada por TOSQA entre los años de 1994 a 1996, con el desarrollo de un proyecto para colaborar en los planes de emergencia en Portugal, el cual aportó dando una visión del comportamiento sísmico de centros históricos urbanos, con dicha investigación se clasificó la tipología de las construcciones y la vulnerabilidad con experiencias de terremotos anteriores. (D'Ayala et al, 1997)

En el año 2006, una importante investigación en edificios históricos tipo iglesia fue desarrollada por los investigadores, Laurence y Roque, donde aplicaron una metodología simple para la detección de edificios en riesgo, la cual fue aplicado a 58 iglesias ubicadas en la zona sísmica de su país, a través de simulaciones avanzadas con programas de computador con una adecuada caracterización de la estructura, los resultados indicaron que el área de los muros resistente y la altura promedio son independientes a la sismicidad. (Laurenco, P; Roque, J, 2006)

2.1.1.4. Investigaciones realizadas en Jordania:

En la ciudad de Petra, Jordania, se encuentra uno de los palacios más importantes, el Palacio del Hijo del Faraón, fue construida entre los años 30 A.C. y 40 D.C. con mampostería de piedra, Bani-Hani y Barakat. (2006), en donde se hizo un análisis dinámico de elementos finitos para comprender la situación actual de la estructura, para ello extrajeron las propiedades geométricas y mecánicas de estudios preliminares y los escenarios de reparación propuestos. Se diseñaron medidas simples de reparación en 2D y 3D, respetando el valor histórico del edificio.

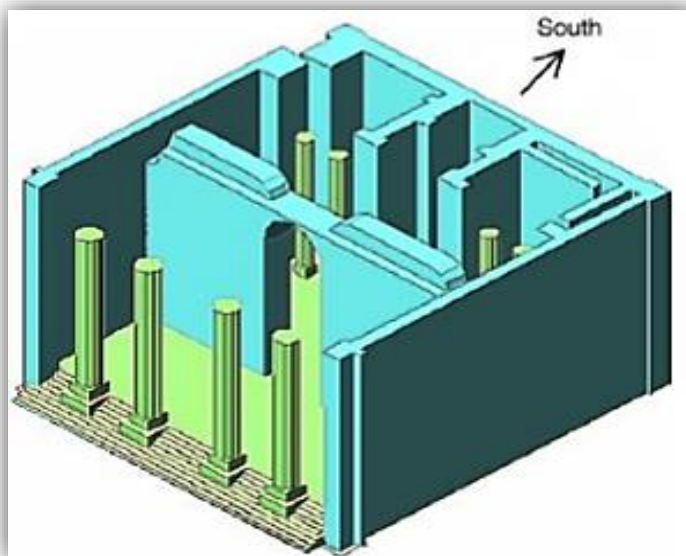


Figura Nº 7: Modelo de Elementos Finitos Aplicado al Palacio del Hijo del Faraón.
Fuente: Bani-Hani y Barakat, 2006

2.1.1.5. Investigaciones realizadas en Irán:

Irán cuenta con un gran legado de estructuras de mampostería de ladrillo y de piedra, estas han sido construidas entre el siglo X y el siglo XII, las cuales son afectadas por los terremotos que han destruido gran parte de su arquitectura, es por ello que el investigador Maheri (2004), realizó un importante estudio sobre el comportamiento sísmico y la vulnerabilidad sísmica de las estructuras, basándose en la revisión de fuentes históricas e informes sobre daños a los edificios más importantes, obteniendo un comparativo de los resultados obtenidos en los edificios que aunque son diferentes tienen características comunes.

2.1.1.6. Investigaciones realizadas en México:

México es un país que posee un abundante número de edificios históricos de mampostería y que forman parte de su patrimonio cultural declarados por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH).

Los edificios antiguos que datan entre los siglos XVI y XIX, han presentado múltiples niveles y tipos de daños.

De La Torre, O. et al. (2004), realizó la evaluación de reparaciones en edificios históricos mexicanos en los últimos 50 años, dicho estudio resultados diversos resultados, evidenciando en para algunos edificios históricos las reparaciones fueron acertadas y eficientes, sin embargo, otro tanto mostro resultados desfavorables, cambiando el comportamiento local dando lugar a más fallas. El aporte más importante de este estudio muestra que la proximidad entre el período asociado al modo fundamental de vibración y el suelo de esta tipología de edificios, amplifica la respuesta dinámica, lo que da lugar a un mayor deterioro en las características mecánicas de los elementos. Concluyeron que las soluciones tradicionales que han probado tener mayor efectividad, son las que añaden elementos de refuerzo locales distribuidos uniformemente a lo largo de las naves.

2.1.1.7. Investigaciones realizadas en Chile:

Chile al igual que el Perú tiene una arquitectura muy parecida, debido a la influencia de los españoles en el siglo XVII, La primera investigación en la conservación de estructuras patrimoniales fue en el 2008, con un trabajo de tesis sobre la vulnerabilidad de edificios históricos en Valparaíso. Gracias a esta investigación se creó una metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios históricos de elementos de piedra, el estudio además evalúa los palacios de la zona histórica de Valparaíso para comparar los resultados con los de otros países altamente sísmicos y amplio legado histórico. (Sturm, 2008)

2.1.2. Antecedentes nacionales

2.1.2.1. Investigaciones realizadas en Perú:

El Perú es uno de los países que cuenta con una historia cultural muy antigua con la existencia de templos y ruinas incaicas, además de iglesias y casonas de la influencia española, Una investigación importante, fue realizada en la Catedral de Cusco la cual tiene una antigüedad de 457 años y su construcción tuvo un largo proceso de 108 años aproximadamente, es una clara inspiración española, esta estructura ha sufrido sismos importantes que han provocado el colapso parcial de las estructuras, está compuesta por 3 templos unidos, construidos en distintas etapas, su estructura conformada por muros de adobe, pilares y bloques de piedra. (Proaño et al. 2003).

Proaño et al. (2003), estudio tres modelos numéricos basados en un análisis de elementos finitos de la Basílica Catedral y la Iglesia de la Sagrada Familia. simulando las propiedades de los materiales, a través de los ensayos realizados a las probetas extraídas de la estructura, también se hizo un análisis de la mecánica de suelos de 4 calicatas ubicadas en el interior, 8 ensayos de penetración dinámica (DPL), encontrando un buen suelo de fundación. En conclusión, el análisis muestra que, si bien la estructura posee cierta capacidad para resistir acciones sísmicas, ésta podría no soportar un sismo importante ya que posee demasiado peso en comparación a la capacidad resistente y escasa ductilidad.

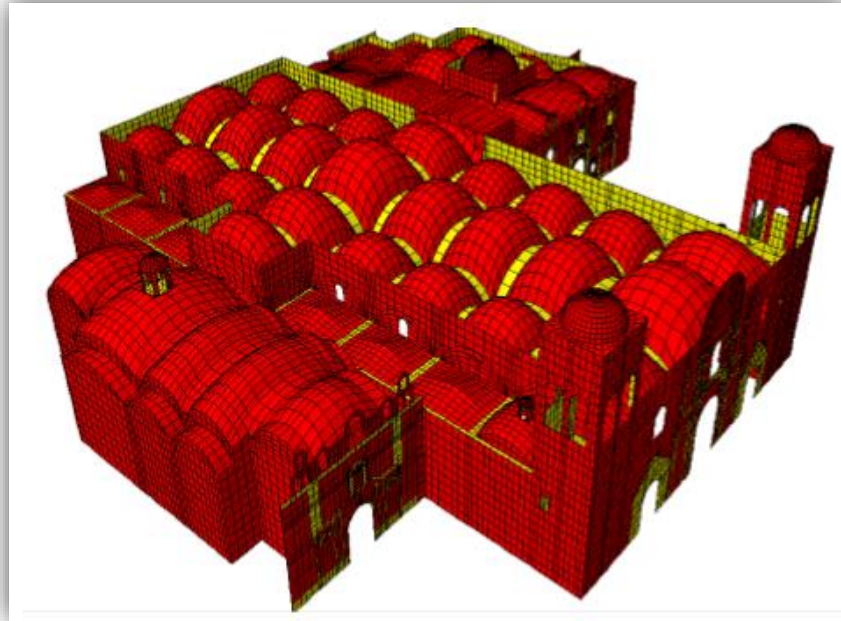


Figura N° 8: Modelo de Elementos Finitos Aplicado a la Basílica Catedral y la Iglesia de la Sagrada Familia.
Fuente: Proaño et al. 2003

2.2. Marco doctrinal de las teorías particulares en el campo de la ciencia en la que se ubica el objeto de estudio.

2.2.1. Metodología de análisis para determinar la vulnerabilidad sísmica:

Para poder evaluar la vulnerabilidad sísmica, los investigadores durante 20 años han desarrollado técnicas y procedimientos en distintos tipos de estructuras como: edificios, componentes de líneas vitales, estructuras esenciales, centrales nucleares y edificios patrimoniales, entre otros, lo que dio lugar a un sin número de propuestas importantes para evaluar la vulnerabilidad a diferentes niveles de detalle, gracias a estos estudios se logrado replicar en muchos países. Por otro lado están los países en vías de desarrollo y con un deficiente control de normatividad, en los que no se ha podido minimizar lo la vulnerabilidad sísmica de edificios existente de una manera adecuada, este factor genera que ante la presencia de un movimientos sísmicos de intensidad

moderada a alta, el número de pérdidas de vidas humanas y la magnitud de los daños físicos, sociales y económicos, han originado verdaderas catástrofes (Bonett, 2003)

Debido a la gran importancia que existe en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de diferentes estructuras, se han obtenido diferentes metodologías de evaluación, de las que se divide técnicas cualitativas y técnicas cuantitativas, son métodos de evaluación existentes según Safina, (2002).

2.2.1.1. Métodos empíricos:

Este método es el más asequible y económicos de aplicar, está basado en la experiencia sobre el comportamiento de tipos de edificaciones durante el sismo y la caracterización de deficiencias sísmicas, son aplicables cuando el edificio a evaluar cuenta con limitada información, estos métodos incluyen a los de inspección y calificación con puntajes. (Safina, 2002)

2.2.1.2. Métodos de categorización o caracterización:

La metodología aplicada en este tipo de método está basada en función a la tipología de la edificación en clases de vulnerabilidad, los resultados son subjetivos por lo que generalmente es limitado a evaluaciones preliminares, son enfoques menos exigentes; en esta categoría existe el método propuesto por la EMS-98. (Safina, 2002)

2.2.1.3. Métodos inspección y puntaje:

Son métodos amigables y subjetivos que varían en función al evaluador, permiten identificar y caracterizar las deficiencias sísmicas

potenciales, asignando valores numéricos (puntos) a cada componente significativo de la misma, en función a su importancia relativa, la cual determina el índice de vulnerabilidad, son aplicables con una misma tipología de regiones de sismicidad, permite una evaluación preliminar orientativa, la misma que permitirá la jerarquización relativa a nivel de vulnerabilidad sísmica de cada edificación. En zonas con moderada sismicidad esta metodología es muy representativa. (Safina, 2002)

2.2.1.4. Métodos analíticos o teóricos:

Este tipo de metodología está asociada con la resistencia estimada de las estructuras a los movimientos del terreno utilizando modelos mecánicos de respuesta estructural e involucrando como datos las características mecánicas de las estructuras. Es uno de los métodos más exigentes, laboriosos, costosos y bastante exigentes, dependen del grado de sofisticación de la evaluación, de la información y de la idealización adecuada de los modelos. (Safina, 2002)

2.2.1.5. Métodos experimentales

Son los métodos más exactos realizados por lo general en "in situ", orientados a determinar las propiedades dinámicas y otras características esenciales de la estructura, involucrando aspectos tan importantes como la interacción suelo estructura, elementos estructurales, entre otros importantes para un mejor resultado. (Safina, 2002)

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Estructuras religiosas históricas y su importancia:

Una de las más grandes y ceremoniosas construcciones heredadas a lo largo de la historia que ha pasado de generación en generación, son los Monumentos Históricos de tipo religioso que en la actualidad forman parte del patrimonio histórico; sin embargo, el paso del tiempo, los factores ambientales, los efectos del sismo, la falta de mantenimiento y conservación, hacen que se presente serios problemas estructurales, convirtiéndolos en elementos susceptibles y débiles ante los efectos tan nocivos de los terremotos, por ello podrían colapsar rápidamente, sin opciones a reparaciones y lamentablemente se perdería un valioso legado arquitectónico y puede ocasionar la pérdida de vidas humanas.

Es importante reconocer que a partir de la construcción de la catedral de San Pedro en Roma, las edificaciones de tipo religiosas comenzaron a extenderse por todas las regiones importantes de Europa, después del siglo XV, en dicha época se edificaron elevadas torres con cúpulas y ventanales, debido al desarrollo de la ideología cristiana, se introdujo en las edificaciones de tipo religiosas, espaciosas naves interiores, altares y coros muy bien equipados; la arquitectura de dicha época se engalanó con lo mejor de las creaciones artísticas del Renacimiento, Gótico y Barroco. (Mendoza, 2005)

A nivel mundial podemos observar el legado heredado de los antepasados, a través de los monumentos históricos de bella arquitectura que representa la identidad de una ciudad; son elementos y símbolos tangibles, importantes de la historia de un pueblo, donde queda la huella de una serie de eventos que constituyen las memorias del nacimiento de una sociedad, que

sobreviven en medio del ambiente urbano y las construcciones modernas, convirtiéndolas en un gran atractivo turístico para los visitantes y propios. Muchas veces al visitar una ciudad hemos podido observar sus edificaciones y hemos percibido características variadas, esto según la zona y la cantidad de recursos. Las estructuras históricas tienen gran variedad de materiales empleados, la configuración y forma también es diferente. (Sanchez, 2013)

Es evidente que la arquitectura religiosa tiene una gran importancia en los distintos países, pero son las catedrales de las ciudades de México, de Lima, del Cusco, de Chuquisaca, de Buenos Aires, de Córdoba, de Quito, las que atesoran lo mejor de la Arquitectura Colonial, están también en estas catedrales y en las principales iglesias como las de la Merced, San Francisco, Santo Domingo, San Agustín y San Pedro de Lima, la suntuosidad del arte del tallado y del enlucido en pan de oro de los altares, de los retablos tanto externa como internamente, y de las hornacinas que caracterizan a las construcciones religiosas en América. (Mendoza, 2005)

La ciudad de Cajamarca es conocida como Patrimonio Histórico y Cultural de las Américas, por la Organización de Estados Americanos (OEA) y según Cerna et al. (2016) indica que fue declarada como Monumento Histórico, mediante ley N° 23494, el 14 de noviembre de 1986, esto debido a que nuestra ciudad fue el escenario de la fusión entre dos culturas. Representa un reto para las instituciones públicas y privadas, así como para la población en su conjunto, comprometiéndolos en la conservación, mantenimiento y recuperación del patrimonio cultural de Cajamarca, en la figura N° 9, podemos observar la delimitación de la zona monumental y el ambiente urbano monumental de la ciudad de Cajamarca.

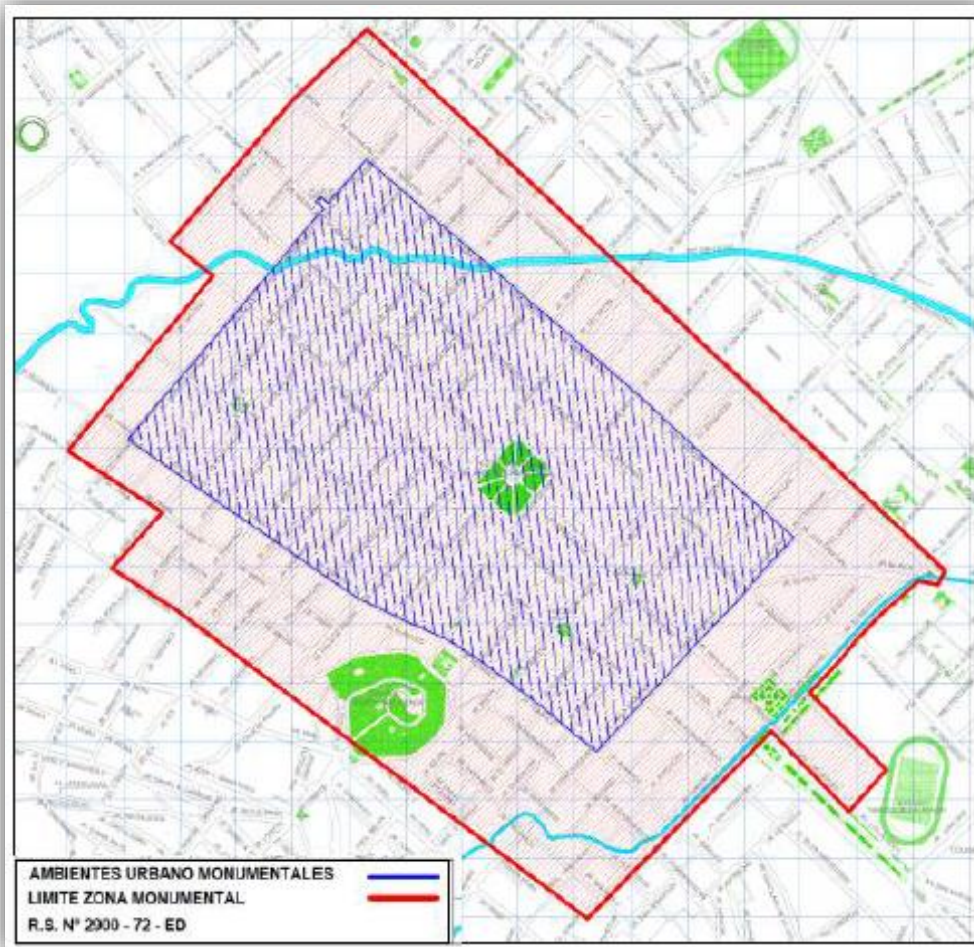


Figura N° 9: Zona Monumental y Ambiente Monumental de Cajamarca
Fuente: Cerna et al., 2016

Según Cerna et al. (2016), la ciudad de Cajamarca cuenta con 124 Monumentos Históricos registrados como tales, de las cuales 102 son arquitecturas de tipo civil doméstica, 11 son arquitecturas de tipo civil pública y 10 son arquitecturas de tipo religiosa, tales como: la Iglesia Belén, Iglesia de San Francisco, Iglesia de la Recoleta, Antiguo Convento de la Recoleta, Catedral e Iglesia del Sagrario, Iglesia de Nuestra Señora de los Dolores, Iglesia y Monasterio de la Concepción y la Iglesia Parroquial de San José. Ver Tabla N°2.

Tabla 2: Monumentos Declarados Históricos en la Zona Monumental de Cajamarca.

MONUMENTOS DECLARADOS EN LA ZONA MONUMENTAL DE CAJAMARCA			
TIPO DE MONUMENTO	CANTIDAD TOTAL	SUB TOTAL	TIPO DE DECLARACION
ARQUITECTURA CIVIL Y DOMESTICA	102	20	R.S N°2900 -1972-ED 12/28/1972
		1	R.M. N°0928 -1980-ED 07/23/1980
		68	R.M. N°543 -1986-ED 08/27/1986
		11	R.M. N°796 -1986-ED 30/12/1986
		1	Ley No. 158 10
		1	R.D.N N°103 -2006-INC 26/0 1/2006
ARQUITECTURA ECLESIASTICA Y RELIGIOSA	10	4	R.S N°2900 -1972-ED 12/2 8/1972
		4	Ley No. 94 41
		2	R.M. N°543 -1986-ED 08/2 7/1986
EDIFICIOS PÚBLICOS	11	1	Ley N°9441 26/11/1 941
		7	R.S N°2900 -1972-ED 12/2 8/1972
		2	R.M. N°796 -1986-ED 30/12/1986
		1	R.M. N°543 -1986-ED 08/27/1986

Fuente: Cerna et al. 2016

Uno de los fenómenos que podría ocasionar graves daños a los monumentos históricos, sobre todo los de tipo religioso en la ciudad de Cajamarca, son los sismos, aunque nuestra ciudad se encuentre en un estado de silencio sísmico, dicha acumulación de energía, podría ser devastador, en la zona monumental de Cajamarca existe un conjunto de bienes inmuebles de alto valor arquitectónico y artístico que varían en diferentes rango de peligro ante fenómenos sísmicos tal como se muestra en la figura N° 10, (INDECI, 2006)

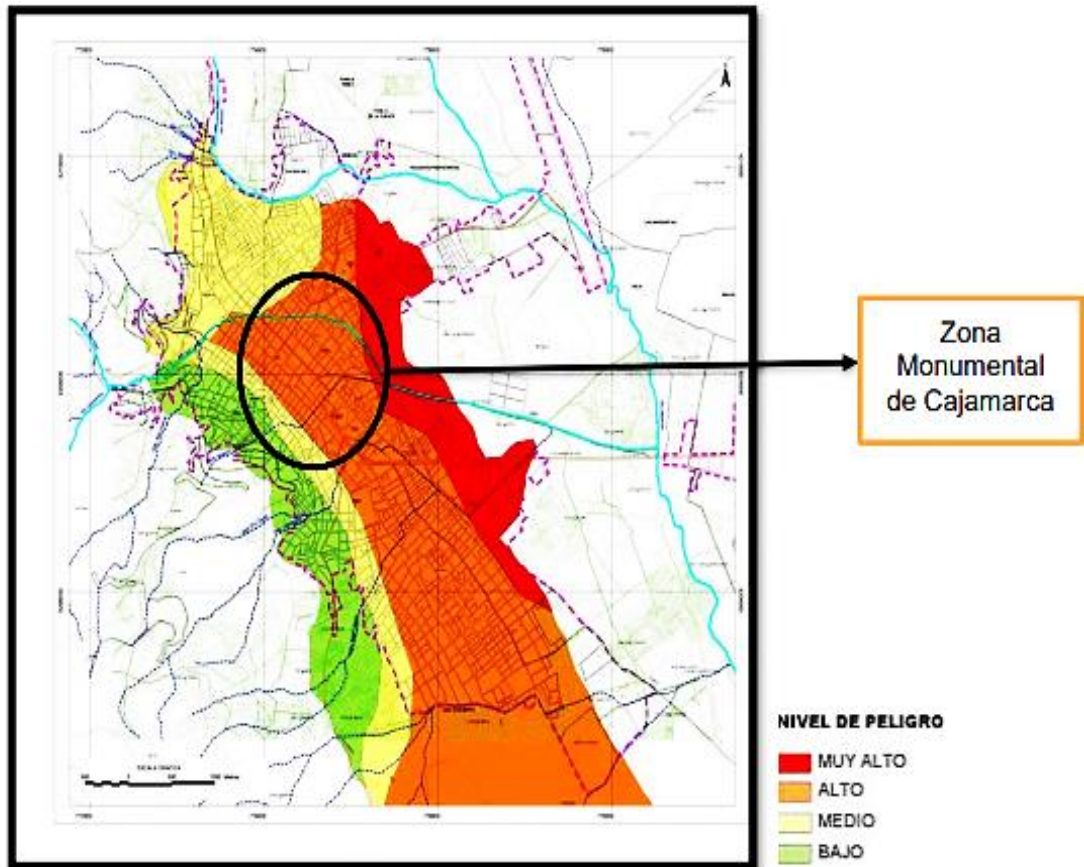


Figura N° 10: Mapa de Peligros
Fuente: INDECI - PNUD, 2006

2.3.2. Iglesias de mampostería de piedra de la época colonial:

Según Mendoza (2005), las iglesias de dicha época fueron construidas por órdenes de los españoles quienes seguían un patrón Europeo, de forma rectangular, sobre un terreno que en la mayoría de los casos es cuadrada, de aproximadamente 100 m x 100 m, la puerta principal mira hacia la plaza, hacia los lados de los edificios religiosos se construyen, uno o dos torres para el campanario, con cuatro ventanas. Los materiales empleados para los bellos edificios arquitectónicos son principalmente la piedra, el adobe y en algunos casos calicanto. El espacio interior se divide en tres partes diferenciadas: el altar mayor, la nave central y el coro.

Cerna et al. (2016), hace mención que la arquitectura de Cajamarca se edificó bajo los siguientes estilos arquitectónicos: Manierismo, Barroco y Neoclásico. En las iglesias coloniales cajamarquinas de mampostería de piedra se manifestó el estilo Barroco, el cual se caracteriza por una recargada ornamentación del tallado de piedra de cantería, Las iglesias destacadas de la época de la colonia, construidas en la zona monumental, son bellos ejemplares del estilo Barroco, entre las más grandiosas tenemos Iglesia y Convento La Recoleta, Iglesia Santa Catalina (Catedral de Cajamarca), Iglesia san Antonio de la Orden de San Francisco, Iglesia y Hospitales de Nuestra Señora de la Piedad de la Orden de Belén.

2.3.3. Elementos estructurales de una iglesia colonial:

Las iglesias coloniales que se extendieron por todo el territorio peruano en el proceso de la colonización, cuentan con una arquitectura de características muy similares en muchos de los casos, pues los elementos estructurales de las iglesias según Hurtado y León (2008) son por lo general columnas, muros, vigas, arcos, bóvedas, cúpulas, contrafuertes, techos y cimentación, dichas estructuras son un claro ejemplo de la inspiración española la cual se adaptó al medio, influenciadas por el arte barroco :

2.3.3.1. Columnas de mampostería de piedra

Son los elementos estructurales que brindan el soporte a la estructura, encargada de soportar peso y trasladarlo a la cimentación, estos elementos están sujetos a esfuerzos de compresión, las columnas son de bloques de piedra y de sillares, la adición de capiteles y pedestales favoreció la transmisión de cargas hacia los cimientos, las columnas tienen una función además decorativa, la capacidad de carga depende considerablemente de

la resistencia de los materiales, y es afectado significativamente por los factores externos como el clima, los movimientos sísmicos y la falta de conservación y mantenimiento, estos elementos estructurales de mampostería muestran claros daños cuando llegan a condiciones cercanas al colapso y tienen un tipo de falla frágil. (Hurtado y León, 2008)

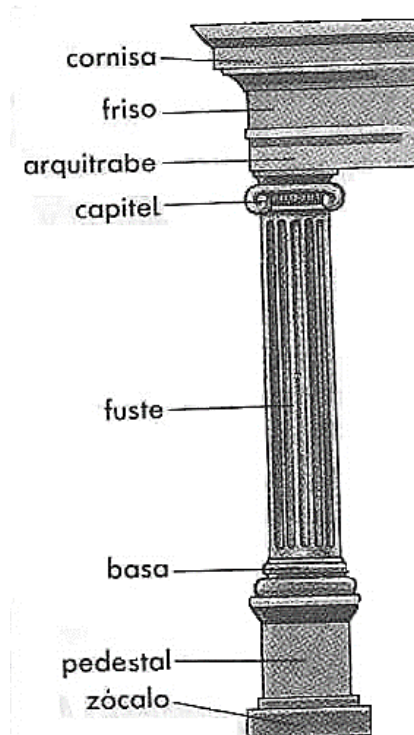


Figura Nº 11: Columna de piedra.
Fuente: DICTER, sf

2.3.3.2. Muros de mampostería de piedra

Estos elementos también forman parte importante de las estructuras antiguas, ya que al igual que las columnas, soportan el peso de la estructura, los muros son capaces de absorber los empujes laterales, el efecto del viento y los movimientos sísmicos; la resistencia a cargas axiales está gobernada por los mismos factores que influyen en las columnas. Los muros de las estructuras antiguas donde se emplean piedras, por lo general varían en

espesores de 80 cm a 120 cm de ancho, los que se forman por la sucesión de hiladas de piedra, la cual eran colocadas a manera de cajas rectangulares, contenían un relleno de piedra angulara amarrada con mortero de cal, arena de tezontle, arcilla y caliche, esta configuración las hacía muy resistentes. (Hurtado y León, 2008)



Figura N° 12: Muro de Piedra iglesia Belén.

2.3.3.3. Vigas y arcos

Por lo general en estructuras de mampostería, las vigas cuentan con una geometría circular a la distribución de las piedras acuñándolas unas contra otras, formando un arco circular, lo que permite que las cargas que se transmiten a los apoyos mediante esfuerzos de compresión, sean resistidas eficazmente por los elementos verticales de mampostería. Los arcos son la forma más eficaz de cubrir claros de mampostería. (Hurtado y León, 2008)

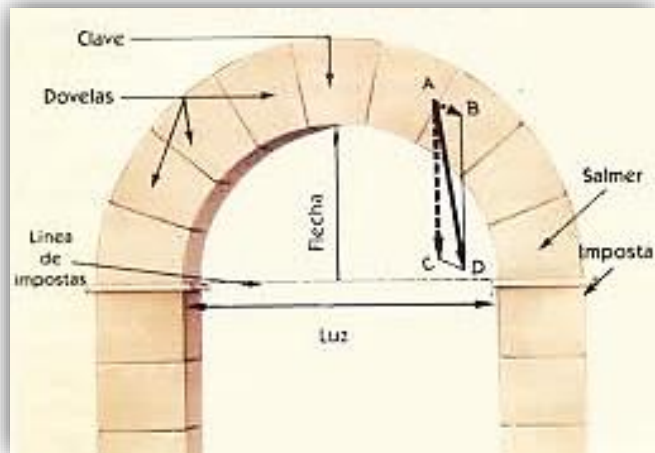


Figura N° 13: Arcos de Piedra.
Fuente: DICTER, sf

2.3.3.4. Bóvedas

Las bóvedas de mampostería de piedra son las estructuras que forman el techo completo y tienen forma de arco, por lo general, se puede visualizar como una sucesión de arcos adosados, un aspecto crítico en las bóvedas de las estructuras antiguas son la rigidez de sus apoyos, debido a la insuficiente capacidad de la mampostería de piedra para resistir esfuerzos de tensión, no es común que la bóveda trabaje como viga, para rigidizar el elemento se tiene especial concentración en los apoyos y en los ángulos de inclinación. (Hurtado y León, 2008)

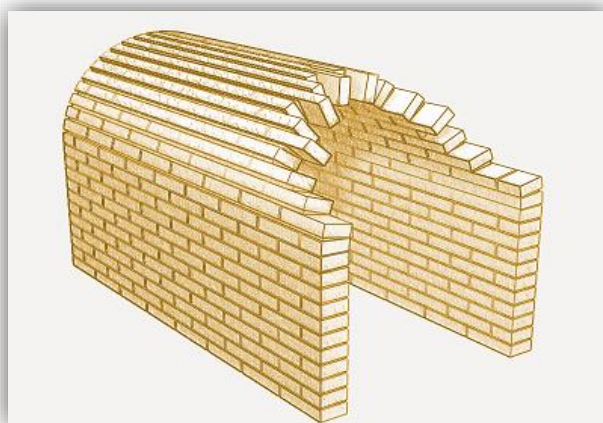


Figura N° 14: Bóvedas de cañón.
Fuente: CYPE, 2018

2.3.3.5. Cúpulas

Las cúpulas en las iglesias coloniales son muy comunes, están constituidos por anillos circulares, cuyas piedras son proyectadas hacia adentro de la hilada anterior, hasta cerrar el claro, en la construcción de este tipo de elementos se emplearon piedras de geometría compleja, además se emplearon cimbras y apuntalamientos ya sean totales o parciales. Estructuralmente las cúpulas son consideradas como cascarones o estructuras espaciales que transmiten cargas producidas por su propio peso, presentan esfuerzos de compresión en dos direcciones. El daño producido de este tipo de elementos se debe principalmente a los esfuerzos tangenciales y en la parte superior por compresión, dichos esfuerzos generan agotamientos, los elementos de apoyo de la cúpula son de gran utilidad, para absorber tensiones y evitar los agrietamientos. (Hurtado y León, 2008)



Figura N° 15: Cúpulas
Fuente: Perez, 2015

2.3.3.6. Cimborio

Es el elemento que se eleva en el crucero de un templo, y puede presentar diversas formas y acabados, cumple dos funciones importantes, la de iluminar el interior del edificio y realza el eje central del espacio religioso, donde se cruzan los dos brazos de la cruz latina, que forma una especie de crucero. (Garcia, sf)

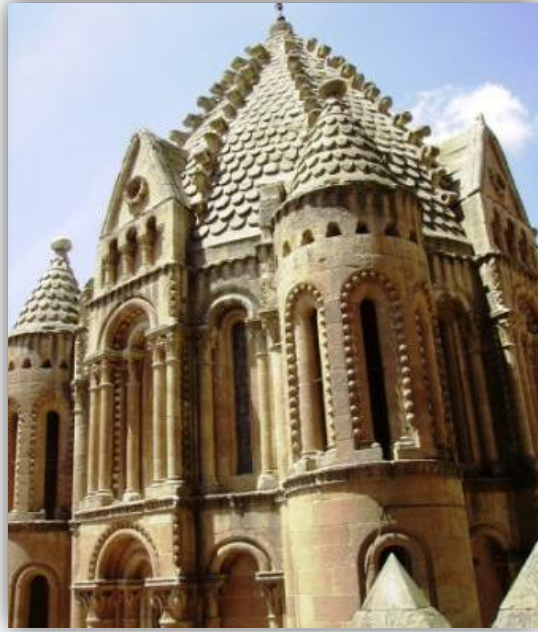


Figura Nº 16: Cimborio.
Fuente: Perez, 2015

2.3.3.7. Pechina

Surge de la solución constructiva a partir de triángulos curvilíneos que son la base en la que se apoya la cúpula de forma que ésta pueda superponerse a una base cuadrangular. Estos elementos permiten el paso del cuadrado de la planta al círculo en altura. (Masartes, 2017)

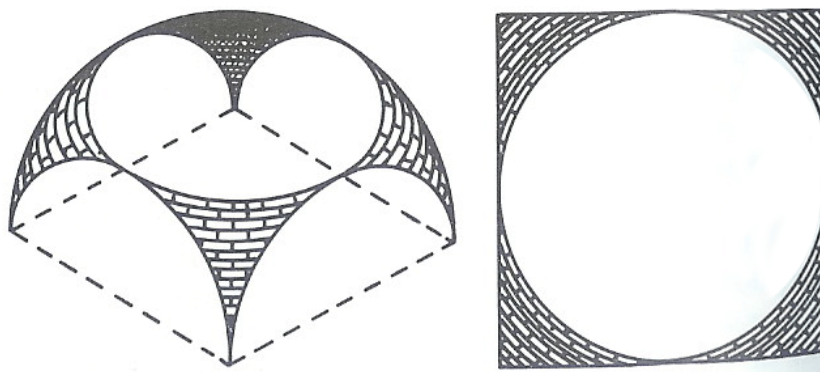


Figura Nº 17: Pechina
Fuente: Masartes, 2017

2.3.3.8. Contrafuertes

Debido a los empujes laterales producidos en los muros de mampostería, que son generados por el coceo de las bóvedas, arcos y fuerzas producidas por sismo o viento se utilizan los contrafuertes. El peso propio del muro absorbe los empujes transversales y equilibra el momento de volteo y con el objetivo de contrarrestar los efectos del volteo se recurre a la colocación de contrafuertes, son elementos estructurales exteriores a través de los cuales se transmite los empujes laterales hacia el suelo, su geometría puede ser rectangular o trapezoidal del mismo material que el muro. (Hurtado y León, 2008)

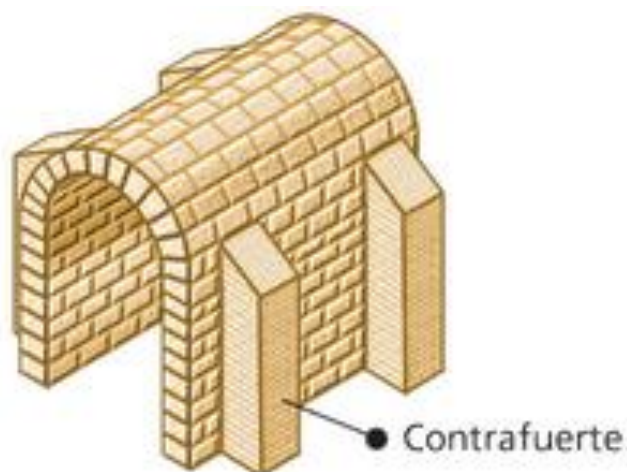


Figura Nº 18: contrafuertes
Fuente: Perez, 2015

2.3.3.9. Torre

Es habitual colocar una torre en el exterior unida a la iglesia o separada, que servía para llamar a la oración o como torre de vigía, las torres campanario son elementos que dominan todo el paisaje convirtiéndose en el lugar más alto de población, en la construcción de estas torres por lo general de forma cuadrada, las torres, con sus múltiples funciones y significados, constituyen una estructura arquitectónica con una entidad propia perfectamente definida, independiente al edificio al que quedan adosadas,

su emplazamiento varia, casi siempre se ubican al pie del templo unidas por un lado meridional. (Azanza, 2012)

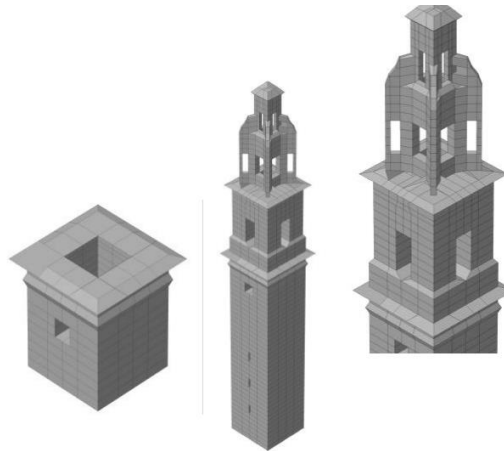


Figura N° 19: Torres
Fuente: Azanza, 2012

2.3.3.10. Cimentación

Es ampliamente conocido que los cimientos en las estructuras han sido consolidados con el único objetivo de transmitir las cargas de los elementos estructurales al suelo, por lo general su resistencia es menor que los elementos estructurales resistentes, para la construcción de las estructuras antiguas de piedra se buscó un lugar en donde la roca estuviera a la vista, así evitar la cimentación propiamente dicha, en todo caso el suelo debería ser de buena calidad y la cimentación con un mayor espesor que los muros y columnas. (Hurtado y León, 2008)

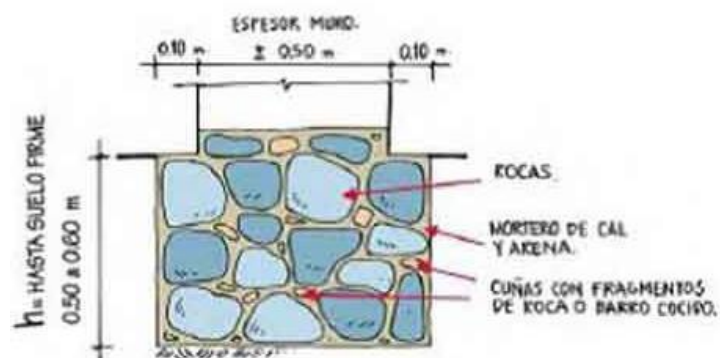


Figura N° 20: Cimentaciones
Fuente: Perez, 2015

2.3.4. Materiales una iglesia colonial:

Los materiales que se emplearon en la construcción de las iglesias de la época colonial, fueron resistentes y se encontraban cercanos a la zona de trabajo, en la mayoría de iglesias de la ciudad de Cajamarca se emplearon materiales, tales como: elementos pétreos, tierra, madera, metales, cal arena etc., a continuación, se detalla los de mayor uso e importancia en las iglesias, según la tipología en estudio.

2.3.4.1. Piedra

En las iglesias de estilo barroco de la época colonial de la zona monumental de Cajamarca predomina el uso de piedra, ya que es considerado como el material más resistente y duradero para ser empleado como mampostería en las edificaciones de dicha época, la piedra es considerada como un elemento estructural la cual era extraída de las canteras de la zona, las que serían labradas para obtener elementos similares y poder formar estructuras con la superposición de estos. Según Cortez, (2002) en una de sus investigaciones, desarrolló una metodología para la evaluación sismoresistente, donde menciona que el tipo de piedra usada en los elementos estructurales, de los edificios se ha escogido conforme a sus propiedades: la durabilidad y la facilidad de ser trabajada para darle la forma deseada, siendo la durabilidad más importante que la resistencia, ya que la resistencia es un factor crítico al momento de la elección de la piedra.

En la construcción de este tipo de edificaciones religiosas, las rocas a emplear se dividían en tres categorías: ígneas, sedimentarias y metamórficas, las rocas tienen una resistencia a la compresión que puede

variar entre 100 kg/cm² y 1000 kg/cm², y la resistencia a la tensión está en el orden del 10% de compresión y el módulo de elasticidad es cercano a 1000 veces la resistencia a la compresión, dependiendo del origen de la roca. (Hurtado y León, 2008)

2.3.4.2. Mortero

En las estructuras históricas, el mortero es sumamente importante para poder estabilizar los muros como el elemento de pega entre los bloques de piedra, según Sánchez (2013), menciona que el mortero cumple tres funciones, rellenar las juntas impidiendo el paso del agua, regulariza el asiento entre bloques y reparte las cargas uniformemente, colabora a reducir las sollicitaciones horizontales hacia la cimentación.

Según Hurtado y León (2008), indica que el material más utilizado es el barro, sin embargo, presenta problemas de debilidad y degradación por su exposición, su composición está formada por la adición de materia orgánica y en algunos casos cal, fue muy utilizada en las edificaciones de América latina, sobretodo en la época colonial.

Según López et al, (2003), menciona que otro tipo de mortero muy comúnmente utilizado en iglesias, son los morteros de cal y arena, además de ser empleados en la unión de los bloques para formar los muros, lo cual los hacía más resistentes y durables, se empleó en enlucidos y en estucos que cubren pisos, escalinatas, fachadas, por lo general las arenas utilizadas eran de origen volcánico.

Los morteros de cal y arena son de fraguado lento y puede durar muchos años, lo que permite que los elementos se deformen y se acomoden a cambios de forma, este tipo de morteros alcanzan resistencia entre 5 y 20 kg/cm², son muy durables, sin embargo también son afectados por la intemperie, presentan problemas de carbonatación, los romanos mejoraron su consistencia incorporando puzolana al mortero, la cual agregó muchos beneficios como la reducción del tiempo de endurecimiento, mejora la resistencia, la permeabilidad y la durabilidad. (Hurtado y León, 2008)

2.3.5. Aspectos generales de los sismos:

Según Zelaya (2007), define el sismo como *“un movimiento o la vibración del suelo, causado por la energía mecánica emitida de los mantos superiores de la corteza terrestre, en una repentina liberación de la deformación acumulada en un volumen limitado”*. el desencadenamiento de una vibración puede originarse por el paso de un vehículo ubicándolo como un movimiento leve (microsismo) o por una erupción volcánica y los movimientos de la corteza terrestre que puede ser intensos (macrosismo).

2.3.5.1. Características del sismo.

Tras la aparición de este fenómeno de origen natural tenemos dos elementos que son claves a la hora de estudiar los daños producidos por un sismo, el hipocentro y el epicentro.

Hipocentro: Un sismo originado en un pequeño volumen, debajo de la tierra, el cual puede ser representado como un punto es denominado hipocentro, para fines de estudio (Zelaya, 2007).

Epicentro: La proyección vertical, sobre la superficie de la tierra, del punto que representa el hipocentro, se denomina epicentro. La propagación del sismo presenta características diferentes en función al tipo de onda con la que hace el recorrido por la superficie terrestre, entre las existentes se presenta las ondas primarias, y el tipo de ondas superficiales, la cual tiene otra subdivisión según las vibraciones. Zelaya (2007) hace mención a los siguientes tipos de ondas.

Ondas primarias (P): Son ondas de tipo corporales, que hacen que las partículas vibren en la dirección de propagación de las ondas produciendo sólo compresión y dilatación. Estas ondas pueden transmitirse a través de medios, Sólidos, Líquidos y Gaseosos. Estas ondas son de tipo sonoro y su velocidad de propagación varía entre 1 Km/seg, para suelos blandos no consolidados y 14 Km/seg, para la parte más profunda del manto. (Zelaya, 2007)

Ondas secundarias o de corte (S): Al igual que las ondas primarias, este tipo de ondas son corporales, hace que las partículas vibren perpendicularmente a su dirección de propagación, Estas ondas sólo se transmiten a través de sólidos. La velocidad de propagación de estas ondas es aproximadamente la mitad de la velocidad de las ondas primarias. (Zelaya, 2007).

Ondas Love (L): Este tipo de onda es superficial, son un tipo de ondas de corte horizontal, que produce vibraciones perpendiculares a la dirección de transmisión de la energía. (Zelaya, 2007).

Ondas Rayleigh (R): Al igual que las ondas love este tipo de ondas son superficiales, hacen que las partículas vibran en un plano vertical. Las ondas sísmicas recorren grandes distancias, los sismos pueden ser registrados por unos aparatos llamados Sismógrafos, situados generalmente muy lejos del epicentro. La onda Rayleigh se mueve a lo largo del terreno como una ola que viaja a través de un lago u océano. Mientras avanza, mueve al terreno de arriba abajo. (Zelaya, 2007).

2.3.6. Vulnerabilidad sísmica en estructuras históricas tipo religioso:

La mayor cantidad de edificios históricos religiosos fueron construidos en la época de la colonia, por órdenes de los españoles, quiénes impusieron sus creencias religiosas, este tipo de elementos históricos son muy representativos en muchos países de América, los cuales han sido seriamente afectados por los eventos sísmicos ocurridos en la historia, muchos de ellos se han perdido y otros se encuentran susceptibles ante la presencia de un nuevo evento sísmico.

Según datos históricos relatados por Mendoza (2005), en la revista antropológica de su autoría, la mayoría de las iglesias construidas en los siglos XVI y XVII han resistido con remociones en sus estructuras y escaso mantenimiento, han llegado hasta nuestros días como huellas evidentes de la implementación de la nueva religión europea en la parte rural del Perú, frente al deterioro de las paredes, de los techos y de las torres de los campanarios, los mismos campesinos de las poblaciones andinas se han encargado de reforzarlo y reparar dichas estructuras. Sólo cuando los fenómenos naturales destructivos han hecho sentir sus efectos, la reparación de estos monumentos de la religiosidad cristiana no ha tenido respuesta inmediata, por lo que se vienen reconstruyendo lentamente. El devastador terremoto de 1970, que asoló buena

parte del departamento de Ancash, destruyó a la mayoría de las iglesias coloniales de estos pueblos de la región. Este movimiento telúrico dejó sólo polvo y escombros en poblaciones íntegras: Huaraz, Yungay, Llanganuco y muchas otras poblaciones de todo el territorio de este inmenso departamento centro-andino fue afectado duramente. Sin embargo, no todas las edificaciones se vinieron abajo, junto con las típicas casas de adobe y tejas que caracterizan a estos pueblos.

Algunas iglesias como la iglesia de Chacas fueron afectada considerablemente, sin embargo, se mantuvo en pie, pero tuvo trabajo de reconstrucción, que se extendieron desde 1981 a 1985, otro de los templos que fue reconstruido después del terremoto fue la iglesia de la soledad de Huaraz la cual fue reconstruida además de las también viviendas familiares, resistieron y siguen en pie. (PERU.com, 2016)

Es indiscutible que la mayor amenaza para una estructura antigua, sobre todo para las iglesias de mampostería de piedra son los fenómenos naturales, como los sismos, adicional a ello están los factores ambientales y la indiferencia de la sociedad que no ha sabido cuidar el patrimonio histórico de la ciudad, las autoridades no han concentrado sus fuerzas para dar una adecuada conservación y mantenimiento que de alguna manera evitará serios daños estructurales de presentarse un sismo catastrófico que arrebatase a los cajamarquinos la belleza de sus monumentos arquitectónicos.

Caicedo, et al (1994) define a la vulnerabilidad sísmica como una característica intrínseca de cada estructura, que depende del criterio que se empleó para su diseño, pero es independiente del peligro sísmico de la ubicación de la estructura. Además, hace mención de que "*las estructuras o tipo de*

estructuras, tiene su propia función de vulnerabilidad y la determinación de ésta es variada para comportamientos estructurales distintos”

Existen dos tipos de vulnerabilidad en estructuras históricas, la cual está dividida por la **vulnerabilidad estructural**, la que se asocia a la susceptibilidad de los elementos estructurales que pueden sufrir daño debido a un sismo, se llama daño estructural a la que comprende el deterioro físico de aquellos elementos que forman la parte resistente. (Safina, 2002)

El segundo tipo es la **vulnerabilidad no estructural**, asociada a la susceptibilidad de los elementos o componentes no estructurales que pueden sufrir daño debido a un sismo, lo que se llama daño sísmico no estructural, entre los elementos no estructurales presentes en la estructura están las tabiquerías, puertas, ventanas, etc. (Cardona, 1999)

Se ha observado en experiencias pasadas que las estructuras dentro de una misma tipología estructural experimentan un daño más severo que otras, a pesar de estar ubicadas en la misma zona, al grado de daño que sufre una estructura ocasionada por un sismo se denomina vulnerabilidad y se puede calificar los edificios en más vulnerables o menos vulnerables frente a un evento sísmico, Yopez et al, (1995). Por ello es importante realizar el estudio de cada una de las edificaciones históricas ya que cada una posee características propias, las que definirán el nivel de vulnerabilidad.

2.3.7. Tipos de daños en iglesias:

Las iglesias de mampostería de piedra se encuentran dentro de las estructuras más vulnerables, debido principalmente a su antigüedad, y daños

acumulados, esto sin considerar la falta de conservación y mantenimiento, al presentarse un sismo genera daños a la estructura las cuales deberán ser reforzadas evitando que estas causen variaciones en la configuración inicial, así se evitará que futuros sismos continúen afectando la estructura.

Según Martínez (2007), en su tesis doctoral hace mención de los daños más comunes que se producen luego de un terremoto en las iglesias.

- ✓ Daños en torres.
- ✓ Separación de los muros perimetrales principales, por rotación en la relación a la línea de cimentación.
- ✓ Agrietamiento de los muros perimetrales producido por las fuerzas cortantes en el plano y grandes aberturas.
- ✓ Colapso total y parcial en esquinas.
- ✓ Aplastamiento de elementos verticales debidos a cargas axiales altas.
- ✓ Daños en regiones localizadas fuera de la estructura principal.

2.4. Definición de términos básicos

Daño sísmico: Corresponde al daño físico de los diferentes elementos o el impacto económico asociado a una estructura, en este sentido es común referirse a daño físico y daño económico. (Yepez, 1996)

Diastrofismo: Distorsión o cambio de forma que sufre constantemente la corteza terrestre debido al movimiento natural que realizan las fuerzas internas sobre las placas tectónicas que la componen. (Wetto, sf)

Sillares: Un sillar es una piedra labrada por varias de sus caras, generalmente en forma de paralelepípedo, y que forma parte de las obras de fábrica. Los sillares suelen tener un tamaño y peso que obliga a manipularlos mediante máquinas, a diferencia de los mampuestos, que, como su nombre indica, se ponen con la mano. (Educalingo, 2008)

Monumento: Creación arquitectónica aislada, así como el sitio urbano o rural que expresa el testimonio de una civilización determinada, de una evolución significativa, o de un acontecimiento histórico. (Bembibre, 2009)

Mampostería: Se llama mampostería al sistema tradicional de construcción que consiste en erigir muros y paramentos, para diversos fines, mediante la colocación manual de los elementos o los materiales que los componen como ladrillos, bloques de cemento prefabricados, piedras, talladas en formas regulares o no. (Sogestone, 2015)

Nave: Arquitectónicamente es el espacio central abierto de una iglesia, al lado oeste del coro o presbiterio, y separado de éste por una pared baja o cancel. los pasillos laterales dividen a este elemento, cuenta con columnas, postes o pilares; entre sus materiales más usados esta la madera y la albañilería de piedra y usualmente se eleva sobre el nivel de los techos de los pasillos para proveer ventanas para la iluminación. (Tesouros, 2018)

Arcada: Serie de arcos soportados por columnas o pilastras que forman parte de la estructura de un edificio o bien separados de la misma. También llamada soportales. (Parro, 2018)

Dovela: Cada una de las piezas de albañilería con forma de cuña empleadas para construir un arco, cuyos lados son radios del centro de curvatura del arco. (Parro, 2018)

Arco: Es la forma curva de cerrar un vano y no consta de una sola pieza sino de varias, que se denominan dovelas. Las dovelas tienen una forma trapezoidal con mayor anchura en la parte exterior que en la interior mientras que pueden ser planas en su parte frontal y trasera. Para que el arco sea estable cada una de las piezas debe estar bien calculada y los lados por los que se unen deben estar muy bien trabajados. (Parro, 2018)

Coro: Parte de la iglesia donde se sitúan los monjes o sacerdotes para cantar el oficio divino, su ubicación dentro del templo ha sufrido diversas variaciones, si se sitúa en la nave central se aísla mediante un cerramiento. (Ricardo, sf)

Sotocoro: Parte que queda debajo del coro. (Ricardo, sf)

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

La vulnerabilidad sísmica de la iglesia Belén de Cajamarca es alta.

3.2. Variables/categorías

3.2.1. Variable única

Vulnerabilidad sísmica.

3.3. Operacionalización /categorización de los componentes de las Hipótesis

TITULO: Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la iglesia Belén de la ciudad de Cajamarca- 2017					
HIPOTESIS	DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES/CATEGORÍAS	VARIABLES O CATEGORÍAS	DIMENSIONES / FACTORES	INDICADORES / CUALIDADES	FUENTES O INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
La vulnerabilidad sísmica de la Iglesia Belén de Cajamarca es alta.	<p>Vulnerabilidad sísmica:</p> <p>La vulnerabilidad sísmica se define como la predisposición de una estructura de ser susceptible a sufrir un cierto daño como consecuencia de un terremoto</p>	Vulnerabilidad sísmica	Método índice de vulnerabilidad sísmica	Organización del sistema resistente	Formatos de recolección de datos
				Calidad del sistema resistente	Formatos de recolección de datos
				Posición del edificio y cimentación	Formatos de recolección de datos
				Diagramas horizontales	Formatos de recolección de datos
				Tipo de cubierta	Formatos de recolección de datos
				Estado de conservación	Formatos de recolección de datos
				Edad	Formatos de recolección de datos
				Resistencia convencional	Formatos de recolección de datos
				Configuración en planta.	Formatos de recolección de datos
				Configuración en elevación	Formatos de recolección de datos
			Distancia máxima entre muros.	Formatos de recolección de datos	
Método propuesto por Mosqueira y Tarque	Comportamiento estructural, calidad de la mano de obra y materiales, estado de conservación.	- Software educacional SAP 2000 -Datos de campo			

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1. Ubicación geográfica

La Iglesia Belén está ubicado en el distrito de Cajamarca, a una altitud promedio de 2740 m.s.n.m. entre las coordenadas promedio según se indica en el cuadro adjunto.

Departamento : Cajamarca
Provincia : Cajamarca
Distrito : Cajamarca

Tabla 3: Cuadro de Coordenadas de La Iglesia Belén-Cajamarca

UBICACIÓN	COORDENADAS		
	NORTE	ESTE	COTA
IGLESIA BELÉN	9207904.18	774242.33	2740.00



Figura Nº 21: Microlocalización de la Iglesia Belén de Cajamarca
Fuente: Google Earth, 2017

4.2. Diseño de la investigación

En la presente investigación se realizó una serie de pasos los que permitieron su adecuado desarrollo en función a cada metodología de análisis. Para el desarrollo de la tesis se ha hecho el uso de dos metodologías que se detallarán a continuación, cada uno de ellas analiza la vulnerabilidad sísmica de diferente manera, así a partir de ambos métodos se obtuvo los resultados y conclusiones acerca del comportamiento estructural del monumento histórico.

4.2.1. Método de vulnerabilidad sísmica propuesto por Benedetti y Petrini aplicado a la iglesia Belén.

Para la determinación de la vulnerabilidad sísmica se aplicó el método adaptado a la iglesia Belén desarrollado por Benedetti y Petrini, logrando determinar de una manera práctica los parámetros que miden el índice de vulnerabilidad sísmica.

El método analiza once parámetros sobre las características que forman parte de la edificación, para ello se recopiló la información en los formatos para la evaluación de la vulnerabilidad, que ha sido desarrollado en base a un juicio de expertos, en su mayoría analizan los elementos estructurales y otros el comportamiento constructivo, a continuación, se detalla cada uno de ellos:

- **Parámetro 1: Organización del sistema resistente:**

El Parámetro 1 del método evaluó el grado de organización de los elementos verticales prescindiendo del tipo de material. Las conexiones eficaces entre las paredes ortogonales aseguran el comportamiento en

"cajón" de la estructura. Para la determinación del parámetro 1, de acuerdo a la metodología, existen cuatro calificaciones A, B, C. y D. (Hurtado et al, 2008)

Para determinar este parámetro aplicado a la iglesia Belén y de acuerdo a la metodología, se tiene en cuenta las cuatro calificaciones, la clasificación que más se adecúa a la edificación histórica, según las características que esta posee en la evaluación de campo que está en función a las conexiones entre los elementos y la ligazón que posee, se determinó que este tipo de edificaciones no cuenta con conexiones en las uniones, sin embargo, presenta buena ligazón entre las unidades de piedra, la cual ha sido unida por un mortero de cal y arena que en la actualidad presenta buen comportamiento entre las paredes ortogonales resistentes, como se muestra en la Figura N° 22.



Figura N° 22: Conexión de muros tipo cajón en la estructura.

Según lo observado, la calificación para dicho parámetro corresponde al calificativo “C”.

ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE	
A	Construido de acuerdo a normativas sismoresistente
B	Presenta conexiones mediante vigas de amarre y enmarque de muros utilizados para transmitir las cargas verticales aplicadas a los muros en todos los niveles de la estructura
C	No presenta el tipo de conexiones del punto, pero presentan buena ligazón entre las paredes ortogonales resistentes
D	No tiene sus paredes bien ligadas

Figura Nº 23: Evaluación del parámetro 1 aplicado a la iglesia Belén.

- **Parámetro 2: Calidad del sistema resistente:**

El segundo parámetro del método se relaciona con la configuración de la estructura, según la tipología con la cual fue edificada, así determina el tipo de mampostería más frecuentemente utilizada, diferenciando de modo cualitativo, su característica de resistencia con el fin de asegurar la eficiencia del comportamiento de la estructura. En este parámetro se evalúa cuatro clases en función de dos factores: por un lado, del tipo de material y de la forma de los elementos que constituyen la mampostería y por otro, la homogeneidad de las piezas. (Hurtado et al, 2008)

En la investigación en campo y teniendo en cuenta la clasificación de la metodología, se observó que el material predominante en este tipo de estructuras históricas son grandes bloques de piedra labradas artesanalmente de dimensiones rectangulares y homogéneas en sus caras y continuas a lo largo de los muros, aproximadamente de 45 x 80 cm, las cuales están bien ligadas por morteros verticales y horizontales de cal de 5 a 10 cm, actualmente presenta una regular conservación, sin embargo existe presencia de musgos producto de la humedad generada en épocas de lluvia, lo que es muy común en la ciudad de Cajamarca.



Figura N° 24: Mampostería de piedra labrada artesanalmente.

Debido a este análisis ubicamos al parámetro 2 en la clasificación A.
(Ver figura N° 25.)

CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE	
A	Mampostería de ladrillo o bloques de buena calidad, mampostería de piedra bien tallada, con unidades homogéneas y de gran tamaño constantes a lo largo de la estructura.
B	Mampostería de ladrillo de bloques o de piedra bien tallada con unidades no muy homogéneas en toda la extensión del muro
C	Sin ligamento entre unidades
D	Mampostería de piedra con unidades muy irregulares y sin trabazón, mampostería de ladrillo que varía calidad, incrustaciones de piezas no homogéneas y de pequeño tamaño, sin ligamento en todo el panel

Figura N° 25: Evaluación del parámetro 2 aplicado a la iglesia Belén.

- **Parámetro 3: Resistencia convencional:**

En este parámetro y según la metodología se realizó un análisis simplificado de la fuerza cortante sísmica, la que relaciona la cortante resistente (VR) con el cortante basal actuante (VA). (Hurtado et al, 2008)

$$F_S = \frac{V_R}{V_A} \quad \dots \text{ (Ecuación 01)}$$

$$V_A = cW \quad \dots \text{ (Ecuación 02)}$$

$$V_R = \sum A_m v_m \quad \dots \text{ (Ecuación 03)}$$

Donde:

C= Coeficiente sísmico

W= peso total de la edificación

A_m = Área transversal del muro resistente al sismo.

v_m = Esfuerzo cortante a la mampostería

El método adiciona en este paso un factor correctivo que afecta a las áreas de los muros para que el área sea efectiva. Para dar solución al parámetro de resistencia convencional aplicada a la iglesia Belén, se utilizaron los siguientes valores a partir de los ensayos realizados a los bloques de piedra y la bibliografía existente.

Tabla 4: Propiedades de la estructura

Propiedades:	Valor
Peso específico	1.68 T/m ³
Esfuerzo cortante	30.0 T/m ²

Debido a las limitaciones para la extracción de muestras para realizar los ensayos se ha tomado como dato de referencia el esfuerzo cortante de la mampostería según los datos usados en la tesis de Hurtado et al, (2008).

Para lograr determinar el peso promedio de la estructura fue necesario determinar el área en planta y multiplicarlo por el peso específico. Para

determinar la altura, teniendo en cuenta que la iglesia tiene una configuración irregular, pues los diferentes elementos que lo componen presentan alturas diferentes, por ello se ha logrado determinar distintas medidas en general, del cual trabajamos con el promedio.

Tabla 5: Altura promedio.

Elementos	Alturas (m)
Fachada principal	18.63
Nave central	14.61
Ala lateral izquierda	10.34
Ala lateral derecha	8.11
Cúpula central	27.77
Promedio altura	15.89

Con el uso de AutoCAD determinamos el área total de la estructura teniendo un total de 1437.27 m².



Figura N° 26: Área en planta de la Iglesia Belén.

Una vez obtenidos estos datos hemos logrado determinar el peso promedio de la iglesia Belén.

Tabla 6: Peso total de la estructura.

PESO DE LA ESTRUCTURA	Ton
IGLESIA BELEN	38373.04

Las áreas resistentes de los muros también fueron evaluadas para cada una de las direcciones, tanto en X como en Y, la cual se muestra en las figuras 27 y 28 respectivamente.

Área resistente en la dirección X=183.30 m².

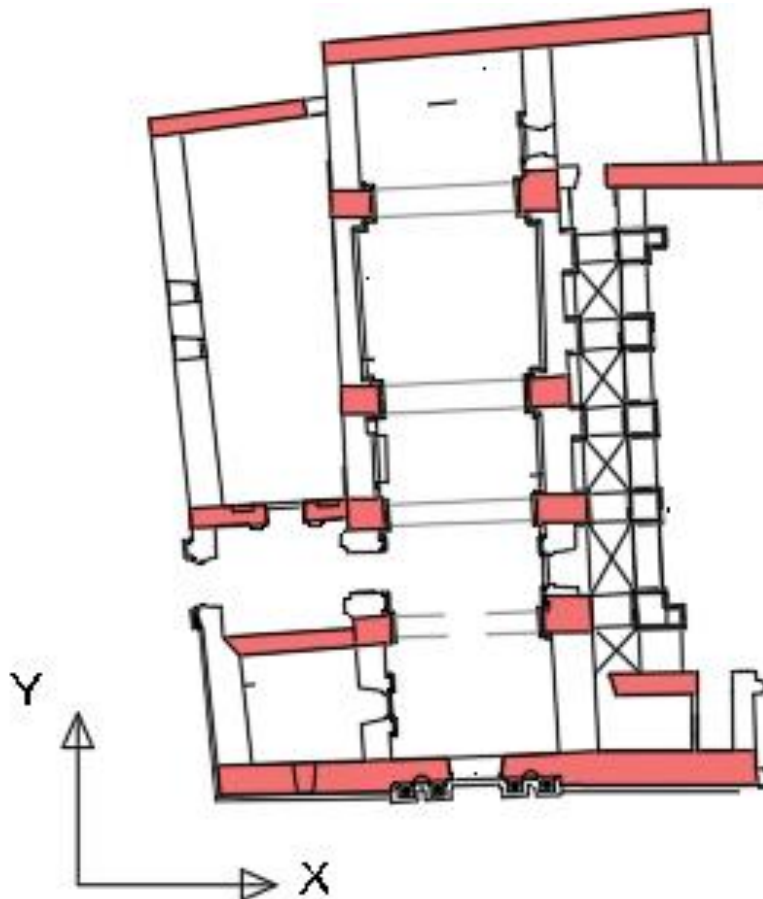


Figura N° 27: Área en planta de los muros resistentes en el eje X.

Área resistente en la dirección Y=242.44m².

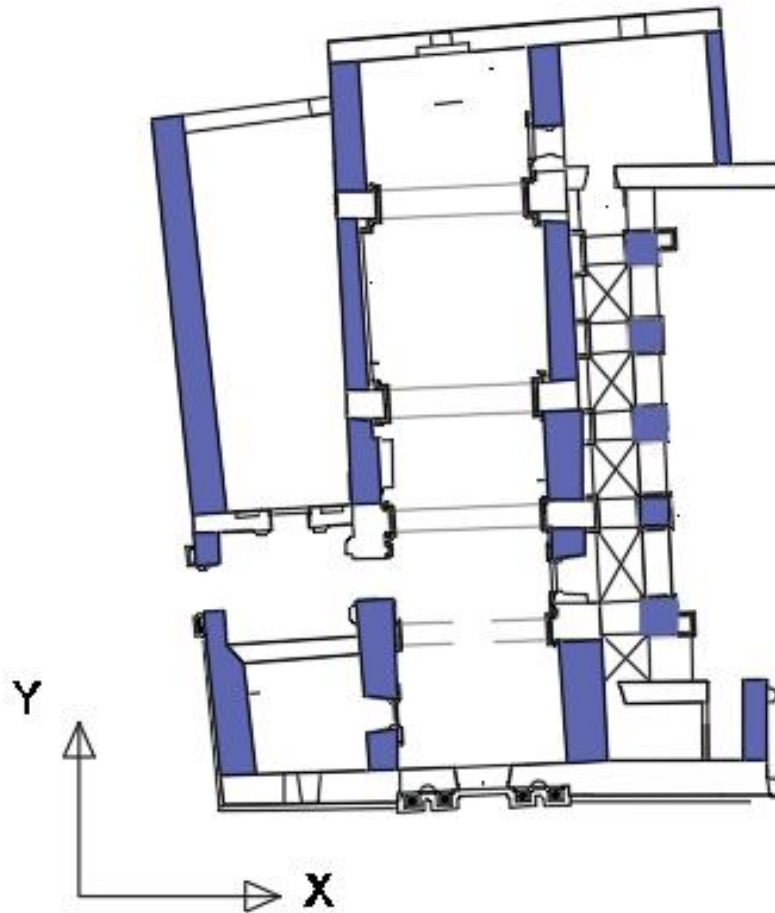


Figura N° 28: Área en planta de los muros resistentes en el eje Y.

Dentro de este parámetro además se debe calcular el coeficiente sísmico teniendo en cuenta los parámetros, para ello haremos referencia a la norma sismoresistente E030 del año 2016, ya que en el método indica parámetros en función a la metodología italiana.

Tabla 7: Parámetros Acción Sísmica.

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR
		X
Factor de zona	Z	0.35
Factor de uso e importancia.	U	1.3
Factor de suelo.	S	1.15
Coefficiente de reducción de solicitaciones sísmicas inicial.	R₀	1
Factor de Irregularidad en Altura	I_a	1
Factor de Irregularidad en Planta	I_p	1
Coefficiente de reducción de solicitaciones sísmicas final.	R	1
Periodo que define el inicio de la zona del espectro con desplazamiento constante	T_L	2
Periodo que define la plataforma del espectro.	T_P	0.6
Periodo fundamental de la estructura para el análisis estático o periodo de un modo en el análisis dinámico.	T	0.353
Coefficiente para estimar el periodo predominante de un edificio	C_T	45
Altura total Visible de la edificación	H_n	15.89
Factor de Amplificación Sísmica	C	0.25

Por lo tanto, teniendo en cuenta la siguiente fórmula indicada en la normativa peruana tenemos:

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \dots \text{(Ecuación 06)}$$

$$S_A = 0.13$$

Para la determinación del parámetro F_s tenemos en cuenta la siguiente expresión:

$$F_S = \frac{V_R}{V_A} \dots \text{(Ecuación 01)}$$

$$F_S = 1.10$$

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el cálculo respectivo, se obtiene que la estructura clasificaría en este parámetro como (A) puesto que el valor de F_s está es 1.10.

RESISTENCIA CONVENCIONAL							
A	Estructura con un valor de $F_s \geq 1$						
B	Estructuras con valores comprendidos entre $0.60 \leq F_s < 1$						
C	Estructuras con valores comprendidos entre $0.40 \leq F_s < 0.60$						
D	Estructuras con valor $F_s = 0.4$						

Figura N° 29: Evaluación del parámetro 3 aplicado a la iglesia Belén.

- **Parámetro 4: Posición del edificio y de la cimentación:**

Otro de los parámetros desarrollados In situ, es el parámetro 4, en donde se evalúa la posición del edificio y de la cimentación, básicamente se evalúa la pendiente del terreno, la capacidad, y la eventual ubicación de la cimentación a diferente cota y la presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén. Para la determinación del parámetro 4, de acuerdo a la metodología, existen cuatro calificaciones A, B, C. y D. (Hurtado et al, 2008)

Aplicando este parametro en la iglesia belen, se encontro con una pendiente de terreno con un valor de 6.37%, según los datos de campo y los planos, la cual es proximo a la calificacion correspondiente al calificativo "A".

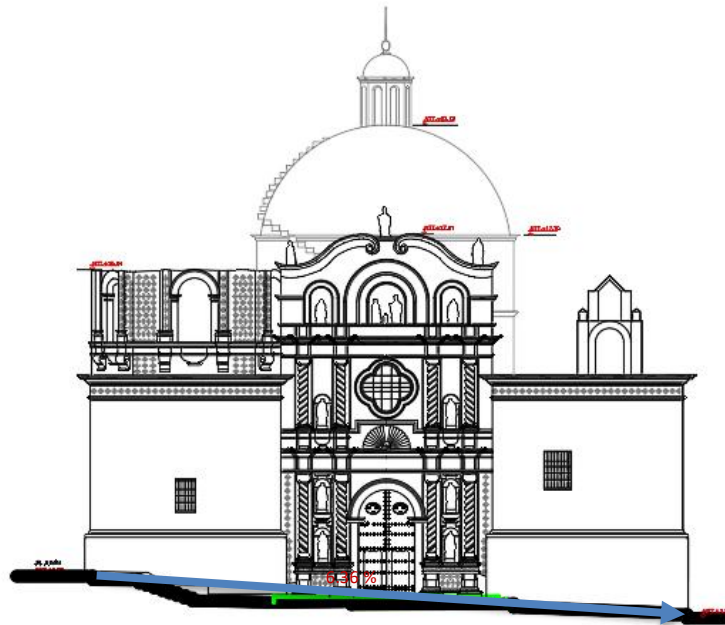


Figura Nº 30: Posición de la cimentación de la iglesia Belén.

El segundo parámetro a evaluar es la capacidad de suelo y según las auscultaciones realizadas por el Ministerio de Cultura se ha encontrado que es un tipo de suelo intermedio, la pendiente del terreno y la eventual ubicación de la cimentación a una misma cota y no presenta empuje no equilibrado debido a un terraplén, dicha clasificación corresponde a la posición "A".

POSICION DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACION	
A	Cimientos sobre terreno estable inferior al 10% y con todo el plano de cimentación a una misma cota. Ausencia de empuje no equilibrado debido a terraplenes.
B	Edificio cimentado sobre roca con pendiente entre el 10% y el 30% o sobre suelo blando con pendiente entre el 10% y el 20%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén
C	Edificio cimentado sobre suelo blando con pendiente entre el 20% y el 30% o sobre suelo rocoso con pendientes entre 30% y un 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
D	Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente mayor a 30% o sobre terreno rocoso con pendiente mayor al 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es superior a 1 metro. Presencia de empuje no quebrado debido a un terraplén.

Figura Nº 31: Evaluación del parámetro 4 aplicado a la iglesia Belén.

- **Parámetro 5: Diafragmas Horizontales:**

Otro de los parámetros de gran importancia en la metodología es la calidad y rigidez de la estructura, donde se evalúa el adecuado funcionamiento entre los elementos verticales y los horizontales, Para la determinación del parámetro 5, de acuerdo a la metodología, existen cuatro calificaciones, A, B, C. y D: (Hurtado et al, 2008)

En el figura N° 32, podemos observar la torre principal que esta ubicada en la parte lateral izquierda de la estructura, en la que se puede observar la estructura de forma exagonal, que se apoya firmemente sobre los muros encajonados de piedra, dicha estructura esta funcionando adecuadamente a esfuerzos de compresion, que en la actualidad mantiene una buena estabilidad, lo que hace que se mantenga en pie, dichas fuerzas son transmitidas a los muros y luego a la cimentacion.

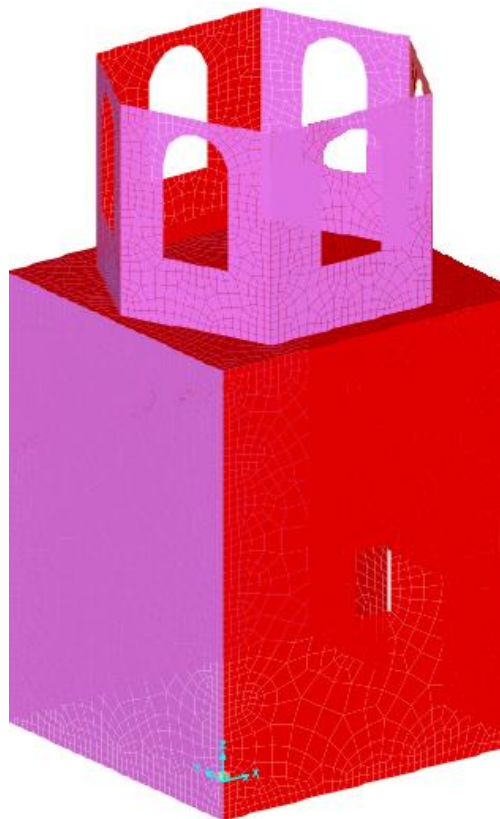


Figura N° 32: Isométrico Torre Iglesia Belén.

Otro de los bellos elementos arquitectonicos es la cupula que se encuentra en la parte central y mas alta de la iglesia, su configuracion es de una semiesfera, la cual se apoya sobre muros alrededor, los que a su vez transmiten las cargas a la cimentacion, actualmente se encuentra estable y sin daño aparente.

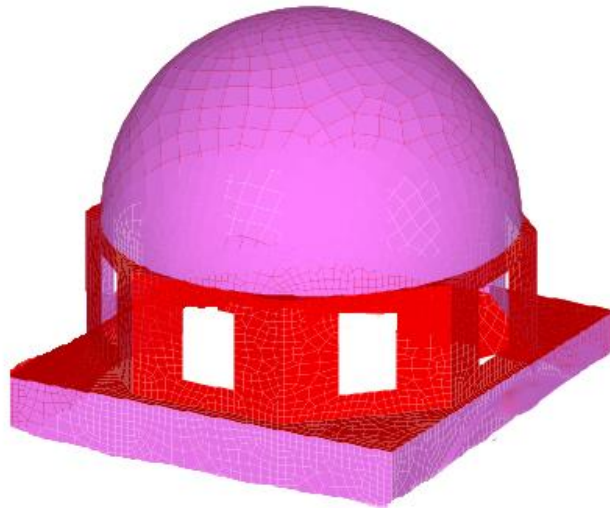


Figura Nº 33: Isométrico Cúpula iglesia Belén.

La Arcada de la iglesia Belén se encuentra en buen estado de conservación, sobre ella se apoya los contrafuertes que a su vez dan estabilidad a los muros laterales de la nave central, los elementos verticales dan estabilidad a la estructura, a través de los arcos que transmiten todas las cargas a la cimentación.

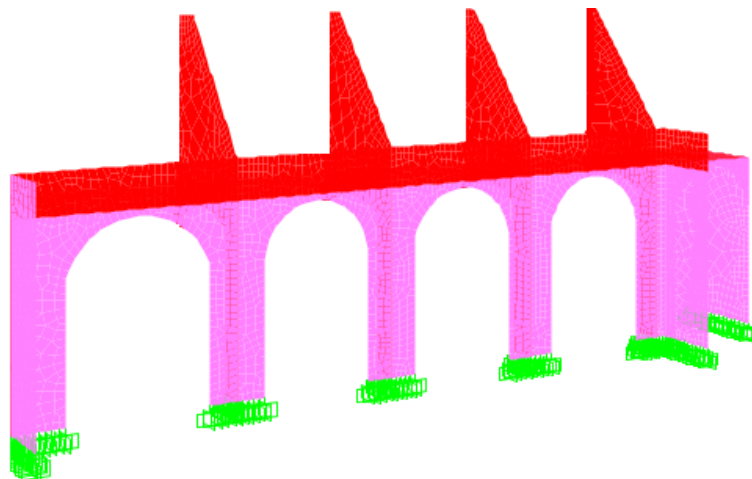


Figura Nº 34: Arcada iglesia Belén.

La bóveda central de la iglesia Belén, esta apoyada sobre los muros de piedra de 1.60 m. de ancho aproximadamente, dichos elementos se encuentran estables y en posición vertical, transmiten las cargas a la cimentación.

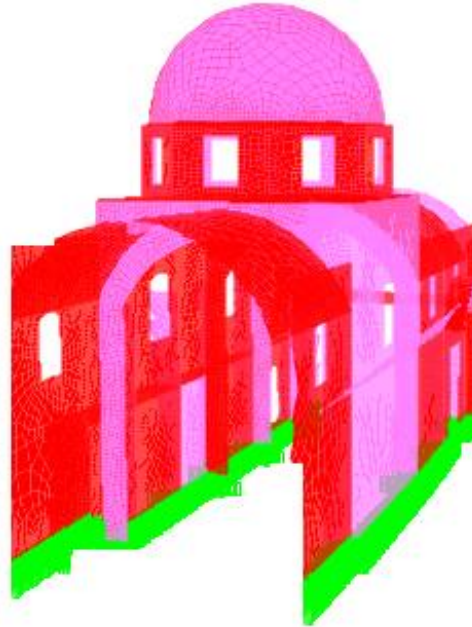


Figura Nº 35: Bóveda de cañón de la iglesia Belén.

En este parámetro se logró definir la calidad y rigidez del diafragma de la estructura, el techo presenta formas irregulares, con arcos y cúpulas, las mismas que no presentan conexiones que aseguren un adecuado funcionamiento entre los elementos verticales y los horizontales, la calificación corresponde a la clase “B”.

DIAFRAGMAS HORIZONTALES									
A	Edificio con diafragmas, de cualquier naturaleza, que satisfacen las condiciones:								
	1. Ausencia de planos a desnivel.								
	2. La deformabilidad del diafragma es despreciable. Se considera despreciable la deformación cuando el porcentaje de abertura en el diafragma es menor de un 30%.								
	3. La conexión entre el diafragma y los muros es eficaz.								
B	Sistemas de diafragma como los de la clase A, pero que no cumplen con la condición 1								
C	Sistemas de diafragmas como los de la clase A, pero que no cumplen con las condiciones 1 y 2.								
D	Sistemas de diafragmas de cualquier naturaleza cuyos diafragmas no cumplen ninguna de las tres								

Figura Nº 36: Evaluación del parámetro 5 aplicado a la iglesia Belén.

- **Parámetro 6: Configuración en planta.**

La configuración en planta de este tipo de estructuras influye mucho al momento de analizar la vulnerabilidad, según la metodología este parámetro considera la relación entre el ancho y el largo en la planta (a/L) y debe tener en cuenta las protuberancias presentadas en el cuerpo principal (b/L), pudiendo producir efectos torsionales no deseados en la estructura. (Hurtado et al, 2008)

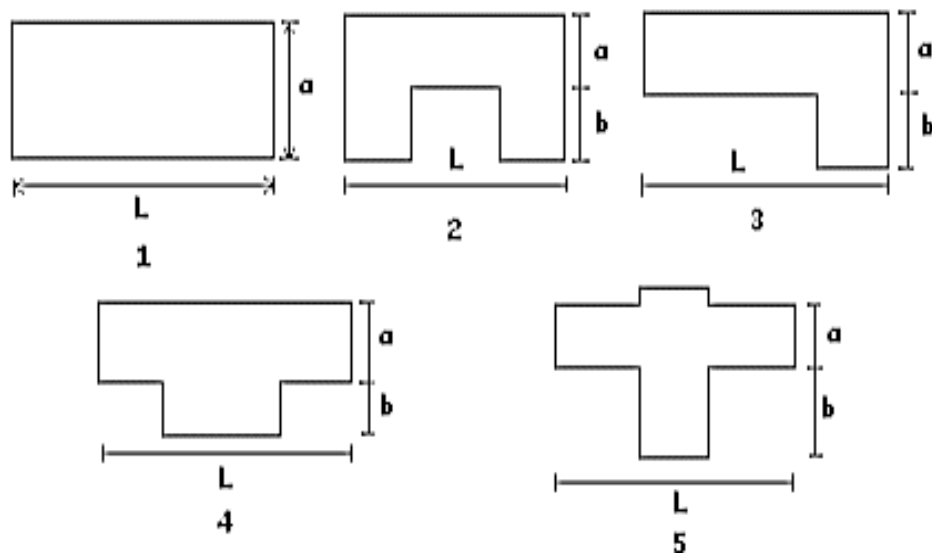


Figura N° 37: Configuración en planta de la estructura a evaluar.

Fuente: Hurtado et al, 2008

Para la determinación del parámetro 6, de acuerdo a la metodología, existen cuatro calificaciones A, B, C. y D, los que están en función de la evaluación de la relación entre el ancho y el largo en la planta, teniendo en cuenta las protuberancias presentadas en el cuerpo principal de acuerdo a las condiciones de forma que posee, en la figura N° 38 podemos observar la configuración en planta de la iglesia Belén.

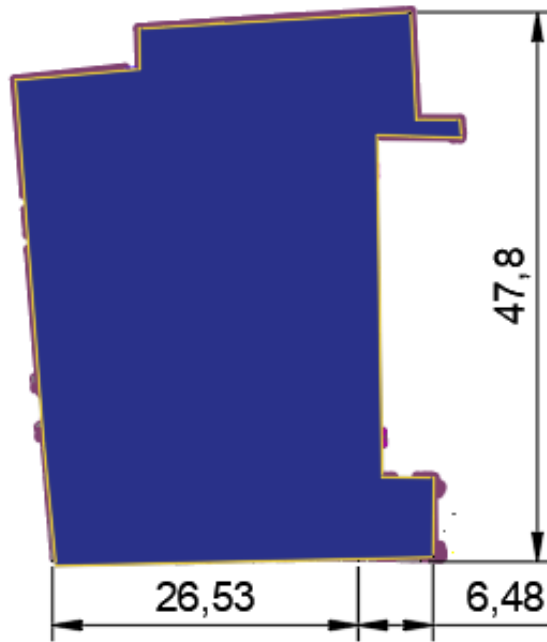


Figura Nº 38: Configuración en planta de la estructura a evaluar.

Tabla 8: Parámetros de la configuración en planta.

Dimensiones	Valor (m)
Ancho de la estructura (a)	26.53
Largo de la estructura (L)	47.8
Longitud de recorte de la estructura (b)	6.48
$\beta_1 = (a/L) =$	0.56
$\beta_2 = (b/L) =$	0.14

A partir de los resultados el parámetro de la configuración estructural se encuentra en la calificación "B". (Ver figura 39)

CONFIGURACIÓN EN PLANTA	
A	Estructuras con $\beta_1 \geq 0.80$ o' $\beta_2 \leq 0.1$
B	Estructuras con $0.6 \geq \beta_1 < 0.8$ o' $0.1 < \beta_2 \leq 0.2$
C	Estructuras con $0.4 \geq \beta_1 < 0.6$ o' $0.2 < \beta_2 \leq 0.3$
D	Estructuras con $\beta_1 < 0.4$ o' $0.3 < \beta_2$

Figura Nº 39: Evaluación del parámetro 6 aplicado a la iglesia Belén.

- **Parámetro 7: Configuración en elevación**

Las estructuras antiguas, sobre todo las iglesias de la época colonial tienen gran irregularidad en altura debido a las configuraciones que poseen, por la presencia de cúpulas y torres adicionadas a la nave central, las que se caracterizan por tener alturas y masas significativas, el parámetro 7 se determina en función a la relación T/H, donde T viene a ser la altura de la estructura irregular sobre la nave y H viene a ser la altura total de la estructura. (Hurtado et al, 2008).

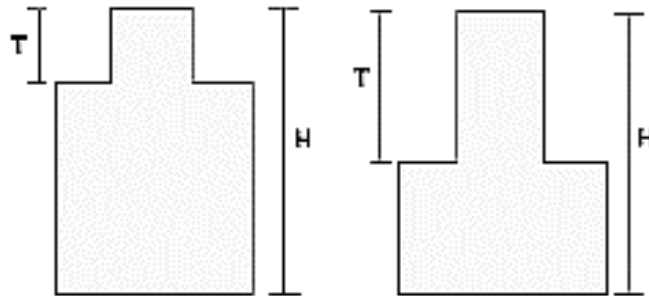


Figura Nº 40: Configuración en elevación de la estructura a evaluar.

Fuente: Hurtado et al, 2008

La metodología adiciona una variación de la masa en porcentaje entre dos pisos consecutivos $\pm\Delta M/M$, donde el signo varía si se trata de un aumento (+) o disminución (-) de la masa hacia lo alto del edificio.

La estructura presenta una forma irregular en altura, debido a la presencia de cúpulas y torres adicionadas a la nave central, las que se caracterizan por tener alturas y masas significativas, de acuerdo a las configuraciones obtenemos lo siguiente:

Tabla 9: Parámetros de la configuración en elevación.

Dimensiones	Valor (m)
Distancia de la irregularidad (T)	17.34
Altura del edificio (H)	28.32
Área del piso bajo (A)	1307.04
cambio de áreas de pisos (ΔA)	472.1
Área de torreta	187.332

$$T/H = 0.61$$

$$\Delta A/A (\%) = 36\%$$

$$\Delta_{\text{torreta}} / A (\%) = 14\%$$

A partir de los resultados el parámetro configuración estructural se adapta a la calificación "C". (Ver Figura N° 41)

CONFIGURACIÓN EN ELEVACION	
A	Estructuras con $\Delta A/A < 10\%$
B	Estructuras con una superficie de torreta menor al 10% ó con $10\% \leq \Delta A/A < 20\%$
C	Estructuras con una superficie de torreta entre el 10% y el 20% ó con $\Delta A/A > 20\%$ ó $T/H < 2/3$
D	Estructuras con una superficie de torreta mayor al 20% y con $\Delta A/A > 0$ ó con $T/H > 2/3$

Figura N° 41: Evaluación del parámetro 7 aplicado a la iglesia Belén.

- **Parámetro 8: Espaciamiento Máximo Entre Muros**

El parámetro 8 evalúa un factor que asocia el distanciamiento entre los muros portantes con respecto a los muros transversales ubicados a distancias excesivas entre ellos, la evolución se realizó con la relación L/S , donde S es el espesor del muro portante y L es el espaciamento de los muros transversales: (Hurtado et al, 2008)

A: Estructura con $L/S < 15$,

B: Estructuras con valores $15 \leq L / S < 18$

C: Estructuras con valores $18 \leq L / S < 25$

D: Estructuras con valores de $L/S \geq 25$

En la Figura N° 42, muestra la distribución de los muros portantes de la iglesia Belén, en donde la máxima separación entre muros (L) es de 10.79 m y el ancho de muros portantes (S) es de 1.60 m, a partir de dichos datos medidos en los planos se obtuvo el parámetro 8.

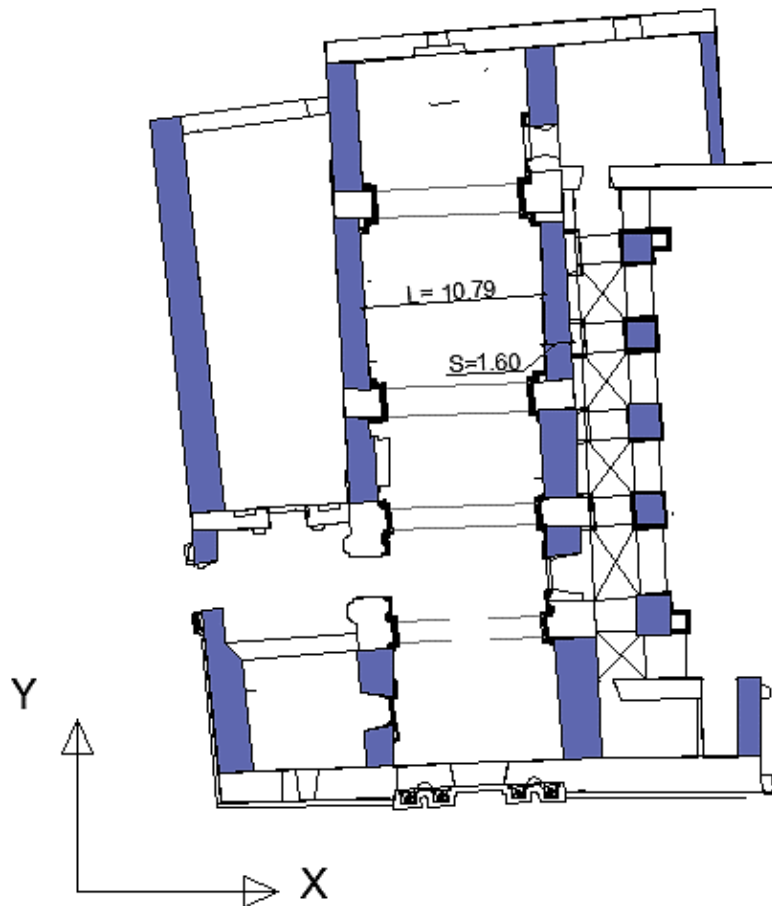


Figura N° 42: Distribución de muros portantes en la Iglesia Belén.

En este parámetro se logró evaluar a los muros transversales ubicados a distancias excesivas entre ellos, la evaluación se realizó con la relación L/S , donde S y L es el espaciamiento de los muros transversales, existen cuatro calificaciones A, B, C. y D: (Hurtado et al, 2008)

Tabla 10: Datos del parámetro 8

Dimensiones	Valor (m)
Espaciamiento entre muros transversales (L)	10.79
Espesor del muro portante (S)	1.60

$$L/S = 6.74$$

De acuerdo con lo obtenido, la relación entre la distancia de los muros transversales y el espesor del muro portante obtenemos un valor numérico de 6.74 y por lo tanto se clasifica con el valor "A".

ESPACIAMIENTO MAXIMO ENTRE MUROS	
A	Estructura con $L/S < 15$,
B	Estructuras con valores $15 \leq L / S < 18$
C	Estructuras con valores $18 \leq L / S < 25$
D	Estructuras con valores de $L/S \geq 25$

Figura N° 43: Evaluación del parámetro 8 aplicado a la iglesia Belén.

- **Parámetro 9: Tipo de Cubierta**

Las estructuras históricas en el caso de iglesias de la época colonial, poseen por lo general cubiertas tipo curvas del mismo material de los muros, en este parámetro se evaluó la capacidad de la cubierta y la estabilidad para resistir un sismo.

En este parámetro se logró evaluar las cubiertas tipo arcos y cúpulas que posee la estructura, son del mismo material empleado en los muros, este tipo de cubiertas por su configuración son muy pesadas, sin embargo, debido a la capacidad que tiene los arcos y curvas para resistir hacen que estas se mantengan estables, a pesar de la falta de vigas, la que se encuentra trabada únicamente con los muros que cargan dicha cobertura.



Figura N° 44: Cúpula de piedra de la iglesia Belén.

Se ha evidenciado deterioro debido a la humedad y a la proliferación de hongos, además se evidencia pequeñas fisuras, a partir de la inspección de campo, el parámetro 9 de la estructura se adapta a la calificación “B” (Ver figura N° 45).

TIPO DE CUBIERTA										
A	Presencia de cubierta estable con vigas cumbreira o de soporte. Edificio con cubierta plana.									
B	Presencia de cubierta estable y bien conectada a los muros, pero sin viga cumbreira. Edificio con cubierta parcialmente estable y provista de viga cumbreira.									
C	Presencia de cubierta inestable, provista de viga cumbreira.									
D	Presencia de cubierta inestable, sin viga de soporte.									

Figura N° 45: Evaluación del parámetro 9 aplicado a la iglesia Belén.

- **Parámetro 10: Elementos no Estructurales**

Este parámetro evaluó básicamente los elementos que forman parte de una estructura, pero que no aportan ninguna función estructural, aquellos que durante un sismo podrían fallar causando daños a las personas, entre

ellos se considera los parapetos, cornisas o cualquier otro elemento no estructural. (Hurtado et al, 2008)

En este parámetro se logró evaluar los elementos que no aportan ninguna función estructural, aquellos que durante un sismo podrían fallar causando daños a las personas, entre los elementos que hemos logrado observar, están las estatuas de piedra, las columnas salomónicas de la fachada principal y lateral, los campanarios, entre otros elementos que resaltan la belleza arquitectónica de la iglesia.



Figura N° 46: Estructura de piedra fachada principal.

Como se observa en la figura N° 46, sobre la fachada principal sobresale un tabique que solo está trabado por un solo lado la cual se encuentra estable, sin embargo, de producirse un movimiento sísmico, se generaría el posible colapso del elemento, además se observa que existe

sobre dicho tabique, estatuas de piedra que están fijadas a ella, las cuales son del mismo tipo de material de los muros, estas imágenes de piedra podrían colapsar causando daños a las personas durante un movimiento sísmico.

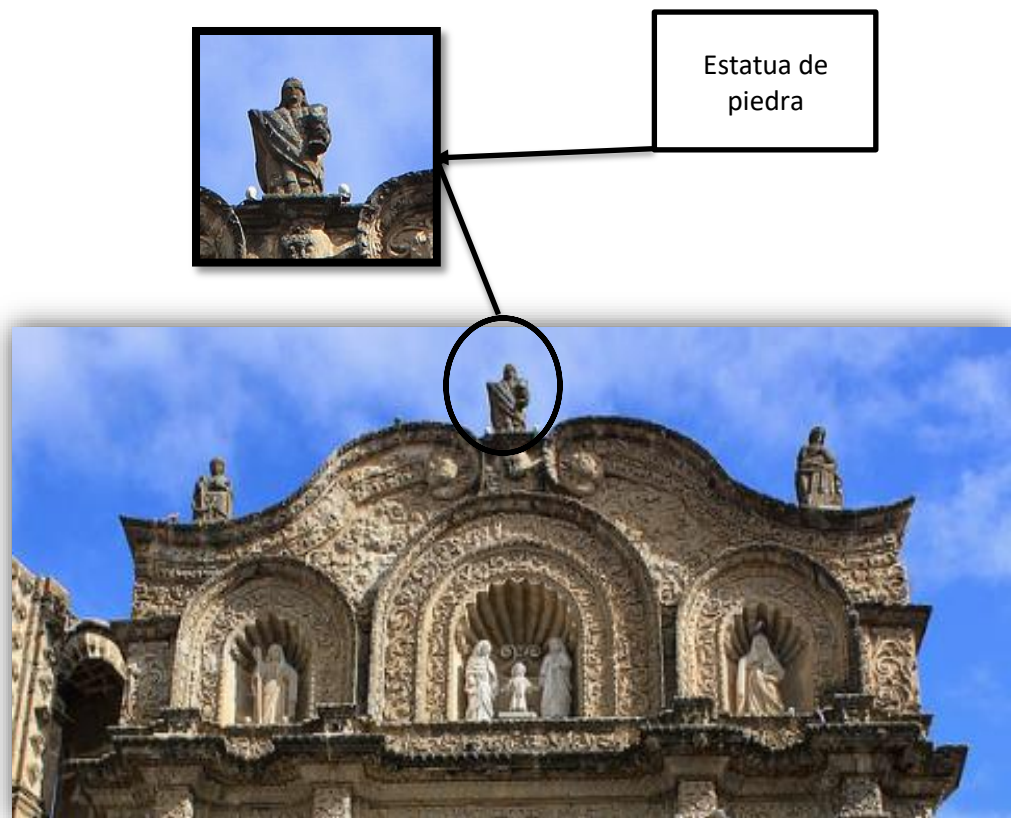


Figura Nº 47: Estructura de piedra fachada principal.

Dentro de la iglesia, en el altar mayor se encuentra una serie de estatuas yeso, que están en buen estado de conservación, sin embargo, también presentan peligro al producirse un movimiento sísmico podrían colapsar.



Figura N° 48: Estatuas de yeso en el altar mayor.

En la fachada principal se logra observar el campanario, que se encuentra sujeto a la estructura a través de alambres, claramente no está estable, por la cual representa un peligro al fallar el elemento de sujeción.



Figura N° 49: Campanario.

Otro de los elementos que encontramos en la iglesia Belén son las linternas, conocidas así por que dejan ingresar la luz solar y ventilación al interior de la estructura, estas estructuras tipo cilindro con aberturas provistas alrededor de ellas, se ubican al final de las cúpulas, la cual están fijadas a la estructura.



Figura N° 50: linterna sobre cúpula.

Una vez evaluado los elementos no estructurales presentes en la configuración arquitectónica de la iglesia, se logró clasificar a este parámetro dentro del calificativo “C”.

ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	
A/B	Edificio con elementos no estructurales, de pequeña dimensión y bien conectados a la estructura principal .
C	Edificio con demasiados elementos no estructurales de pequeña dimensión de peso considerable y mal conectados a la estructura principal, que pueden caer en caso de terremoto.
D	Edificio con elementos no estructurales sin conexión o con elementos montados en etapas posteriores a la construcción de la estructura existiendo por ello un vínculo deficiente de dichos elementos a los muros.

Figura N° 51: Evaluación del parámetro 10 aplicado a la iglesia Belén

- **Parámetro 11: Estado de Conservación**

Este parámetro representa uno de los factores más importantes de las estructuras religiosas, la conservación, pese a los años de antigüedad, la evaluación de este parámetro se realiza teniendo en cuenta los deterioros, las fisuras, los daños presentados, que por lo general son causados por el medio ambiente y por los desastres naturales. (Hurtado et al, 2008)

La evaluación de este parámetro se realizó teniendo en cuenta los deterioros, las fisuras, los daños presentados, que son causados por el medio ambiente y por los desastres naturales.

La iglesia Belén de Cajamarca presenta una regular conservación, pues la parte externa es la más expuesta a ser afectado presentando ciertos daños en la estructura, como deterioros a los elementos de piedra pequeñas y fisuras y sobretodo la presencia de musgos y hongos producto de la humedad generado por las lluvias propias de la zona, la mayoría de los problemas que se presentan en los muros se deben a los diferentes agentes patológicos que se acumulan a medida que pasan los años.

Otro de los problemas observados son los daños en las cubiertas producto de la humedad, que aumentan el deterioro de los elementos de piedra, disminuyendo su estabilidad y resistencia, también se han observado pequeñas grietas y fisuras, generadas por el peso propio de la estructura y por último se ha observado los ataques químicos y biológicos que están dañando la calidad de los bloques de piedra, producido principalmente por las aves que han hecho su habita en las cubiertas y fachadas.



Figura N° 52: Fisuras en los bloques de piedra de la iglesia Belén.



Figura N° 53: Deteriores en la fachada principal por golpes a la estructura.



Figura N° 54: Ataques de hongos producto de la humedad.



Figura N° 55: Ataques químicos producto del excremento de aves en fachadas.



Figura N° 56: Presencia de hongos producto de la humedad en cubiertas y contrafuertes.
Fuente: Altavista, 2015



Figura N° 57: Cobertura de la iglesia Belén de Cajamarca .
Fuente: Altavista, 2015



Figura Nº 58: Cúpula de la iglesia Belén afectado por las hongos producto de la humedad.
Fuente: Altavista, 2015

En la parte interior de la estructura podemos apreciar que todos los elementos se encuentran en buen estado de conservación, actualmente se considera como una de las más hermosas arquitecturas de la historia de Cajamarca, por sus detalles y acabados de alta calidad.



Figura Nº 59: Detalles y acabados interiores en buen estado.



Figura N° 60: Esculturas de yeso en buen estado de conservación.

Una vez evaluado el estado de conservación de la iglesia, se logró clasificar a este parámetro dentro del calificativo “B”

ESTADO DE CONSERVACION	
A	Muros en buena condición, sin lesiones visibles.
B	Muros que presentan lesiones capilares no extendidas, con excepción de los casos en los cuales dichas lesiones han sido producidas por terremotos.
C	Muros con lesiones de tamaño medio entre 2 a 3 milímetros de ancho o con lesiones capilares producidas por sismos. Edificio que no presenta lesiones pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería.
D	Muros que presentan, un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o, lesiones muy graves de más de 3 milímetros de ancho.

Figura N° 61: Evaluación del parámetro 11 aplicado a la iglesia Belén

4.2.1.1. Interpretación de los resultados del método propuesto por Benedetti y Petrini.

Los 11 parámetros según la metodología han sido determinados en campo, teniendo en cuenta los criterios del evaluador y la interpretación del método, a partir de ello se evaluó la vulnerabilidad sísmica de la iglesia Belén de la ciudad de Cajamarca, indicando la clasificación correspondiente en cada parámetro

Cada uno de los parámetros son clasificados por cuatro paradigmas, A, B, C y D, de dicha observación el investigador ha asignado una de las clasificaciones teniendo en cuenta las características a las que se asemeja la estructura, realizada durante los sondeos de campo, según el método las clases presentan con un calificativo, que varía entre 0 y 45, conocido como el factor k de la evaluación. Posterior a dicha calificación, los 11 parámetros son afectados por un peso W, que varía entre 0.25 y 1.5, el cual difiere según la importancia de cada parámetro evaluado.

Tabla 11: Escalas de calificación de la vulnerabilidad sísmica de Benedetti y Petrini.

i	PARAMETROS	CLASE Ki				Wi
		A	B	C	D	
1.-	ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE	0	5	20	45	1.00
2.-	CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE	0	5	25	45	0.25
3.-	RESISTENCIA CONVENCIONAL	0	5	25	45	1.50
4.-	POSICION DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACION	0	5	25	45	0.75
5.-	DIAFRAGMAS HORIZONTALES	0	5	15	45	1.00
6.-	CONFIGURACIÓN EN PLANTA	0	5	25	45	0.50
7.-	CONFIGURACIÓN EN ELEVACION	0	5	25	45	1.00
8.-	ESPACIAMIENTO MAXIMO ENTRE MUROS	0	5	25	45	0.25
9.-	TIPO DE CUBIERTA	0	15	25	45	1.00
10.-	ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	0	0	25	45	0.25
11.-	ESTADO DE CONSERVACION	0	5	25	45	1.00

Fuente: Benedetti y Petrini , 1984

En la Tabla 11, se puede apreciar cada uno de los valores cuantificados, de los cuales, el parámetro 1, 2, 4, 5, 9, 10 y 11 son estrictamente descriptivos mientras que los parámetros 3, 6, 7 y 8, requieren de cálculos sencillos para su determinación. Así cada uno de los parámetros

son resumidos en la siguiente fórmula la cual define el índice de vulnerabilidad sísmica (V_i) de la estructura histórica:

Ecuación 1

$$v_i = \sum_{(i=1)}^{11} K_i W_i$$

La ecuación 5 define una escala que varía entre 0 hasta 382.5 que es el máximo valor de la vulnerabilidad sísmica, que indica la calificación desde nada vulnerable a muy vulnerable, según el valor del índice de vulnerabilidad, a continuación, mostramos las escalas que han sido empleada para lograr definir el nivel de daño que puede sufrir dicha estructura de presentarse un evento sísmico.

Tabla 12: Valor del índice de vulnerabilidad sísmica.

Valor del índice de vulnerabilidad	Escala global de vulnerabilidad
0	Nada vulnerable
0-53	Poco Vulnerable
53-201.25	Medianamente vulnerable
201.25-382.25	Muy vulnerable

Fuente: Benedetti y Petrini , 1984

4.2.1.2. Ficha de evaluación aplicado a la iglesia Belén.

Los 11 parámetros evaluados según la metodología han sido determinados en campo, teniendo en cuenta los criterios del evaluador, dicha interpretación dio un alcance del nivel o grado de daño que presenta la estructura.

4.2.2. Método propuesto por Mosqueira y Tarque, adaptado al modelo 3d de elementos finitos.

El método propuesto por Mosqueira y Tarque, desarrolla una metodología simple para determinar el riesgo sísmico de viviendas informales de albañilería confinada, dicha metodología ha sido realizada en la tesis de posgrado denominado: Recomendaciones Técnicas para Mejorar la Seguridad Sísmica de Viviendas de Albañilería Confinada de la Costa Peruana, realizado por Miguel Mosqueira y Sabino Tarque en el año 2005, a partir de datos de campo se realizaron fichas de encuesta con la información recogida la que fue procesada en fichas de reporte donde se obtuvo la vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico de las viviendas encuestadas.

En esta tesis, únicamente se analizó la vulnerabilidad sísmica que está en función del comportamiento estructural, calidad de la mano de obra y materiales; y se complementa con el estado de conservación, dichos parámetros son evaluados a partir de los datos obtenidos en el programa de análisis estructural SAP 2000 y de campo, se realizó el modelo 3D de elementos finitos teniendo en cuenta la geometría de la iglesia y la caracterización de las propiedades, logrando así la simulación de la estructura, usando los parámetros para el análisis sísmico con referencia a la norma NTE.030 (2016).

4.2.2.1. Modelación de la iglesia Belén con elementos finitos.

- **Aspectos arquitectónicos:**

La iglesia del hospital de Nuestra Señora de la Piedad, más conocida como la iglesia Belén de la ciudad de Cajamarca, forma parte del complejo monumental de Belén y es la muestra más representativa de la arquitectura colonial religiosa de la ciudad.

La construcción de la iglesia Belén pertenece al estilo barroco, presenta una planta irregular, la zona principal de la iglesia corresponde a una sola nave, aledaña a dicha estructura, se encuentra la entrada y un ambiente que actualmente funciona como auditorio, la estructura cuenta con un patio principal y la sacristía. La iglesia propiamente dicha está representada por el achurado mostrado en la figura N° 62, el largo aproximado es de 46 m y el ancho de 33m.

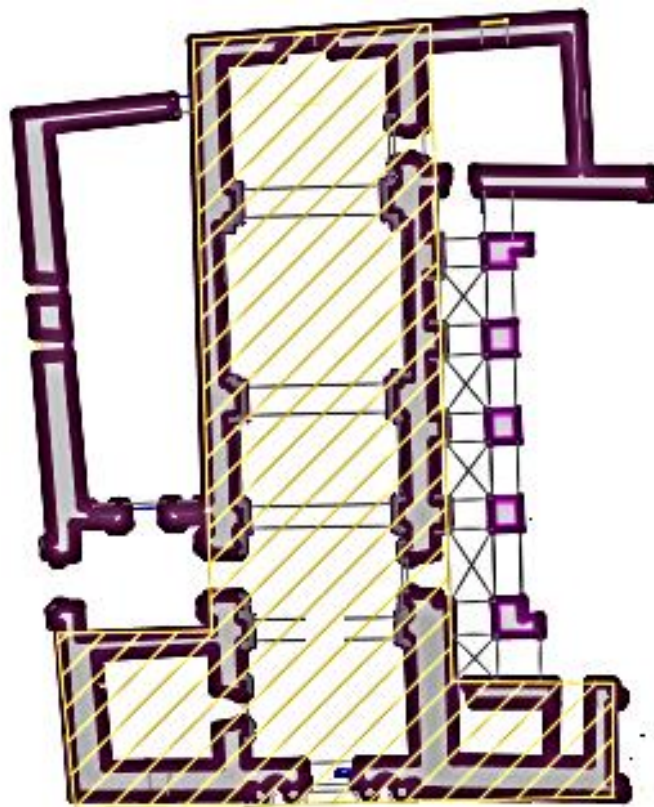


Figura N° 62: Planta principal de la Iglesia Belén de Cajamarca.
Fuente: Dirección de cultura, 2014.

La fachada de la iglesia Belén es una de las más completas entre las iglesias de la ciudad de Cajamarca y una creación original en diseño y detalle, las columnas tienen un tallado de hojas de vid y ángeles, muy distintas a las de la catedral y San Francisco, siendo su decoración de gran calidad y hermosura.



Figura N° 63: Fachada principal de la Iglesia Belén de Cajamarca

La iglesia Belén presenta una bóveda de cañón semicilíndrica, se encuentra reforzado por arcos de piedra distanciados aproximadamente 9.5 m, descargan su peso sobre los pilares rectangulares de 2.40 m x 2.18 m, los que se ubican en cada tramo de la bóveda de cañón, la altura promedio es de 14.55 m, los muros aledaños a la nave central son de gran espesor, aproximadamente 1.60 m, en la zona central de la estructura se aprecia una gran cúpula policromada en forma semiesférica con diámetro interior de 11.36 m, sobre esta se aprecia una pequeña cúpula cilíndrica con aberturas para el ingreso de la luz, la base de la cúpula mayor se apoya sobre los muros de piedra de gran espesor, en su base posee ángeles tallados dando la impresión de que estos lo sostuvieron con sus manos, a la izquierda de la iglesia se puede apreciar las columnas rectangulares de 1.63 m x 1.78 m en promedio, en dichos elementos se apoyan los contrafuertes en forma de escalinata que lleva sobre la estructura, además de formar la arquería del pasadizo lateral de la iglesia.



Figura N° 64: Vista lateral de la iglesia Belén

La iglesia Belén posee una cimentación de piedra, tal como se puede apreciar en la figura N° 65, donde muestra las exploraciones realizadas in situ, además el tipo de suelo sobre el que edificó la estructura es un terreno medianamente rígido, esto según las exploraciones realizadas por el ministerio de cultura dentro del complejo.



Figura N° 65: Exploraciones realizadas dentro de la iglesia Belén obtenida de la dirección de Cultura de Cajamarca.

Fuente: Dirección de cultura, 2014

Los elementos arquitectónicos que engalanan la iglesia son: Las puertas de madera de cedro tallada, la fachada principal de piedra posee un gran tallado de relieves de distintas formas, en su interior posee además un altar mayor donde se aprecia las imágenes del arcángel San Gabriel, y un cristo crucificado y la sagrada familia de Jesús, además de cuadros, esculturas y bellos acabados.



Figura N° 66: Interior de la Iglesia Belén.

- **Modelo tridimensional**

Para la idealización de la estructura se empleó elementos finitos, que consiste en la división de la estructura en pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos, para esta modelación se trabajó con planos proporcionados por el Ministerio de Cultura de Cajamarca y se ha complementado con la información obtenida en campo, la representación de la estructura fue realizada en el programa de análisis estructural SAP 2000 con fines académicos, en donde se ha trabajado la estructura para realizar el análisis cualitativo, con la finalidad de determinar esfuerzos y deformaciones.

En el análisis sísmico de la edificación se emplearon tres softwares: AutoCAD 3d para el modelado con las dimensiones especificadas proveniente de los planos, se empleó el software GID en versión educacional, para la idealización y la generación del mallado de elementos finitos, luego exportar a SAP 2000 V. 20, en donde se logró definir el entorno del programa, las unidades y características de los materiales según la tabla de los datos obtenidos en los ensayos realizados y las secciones geométricas de la estructura.

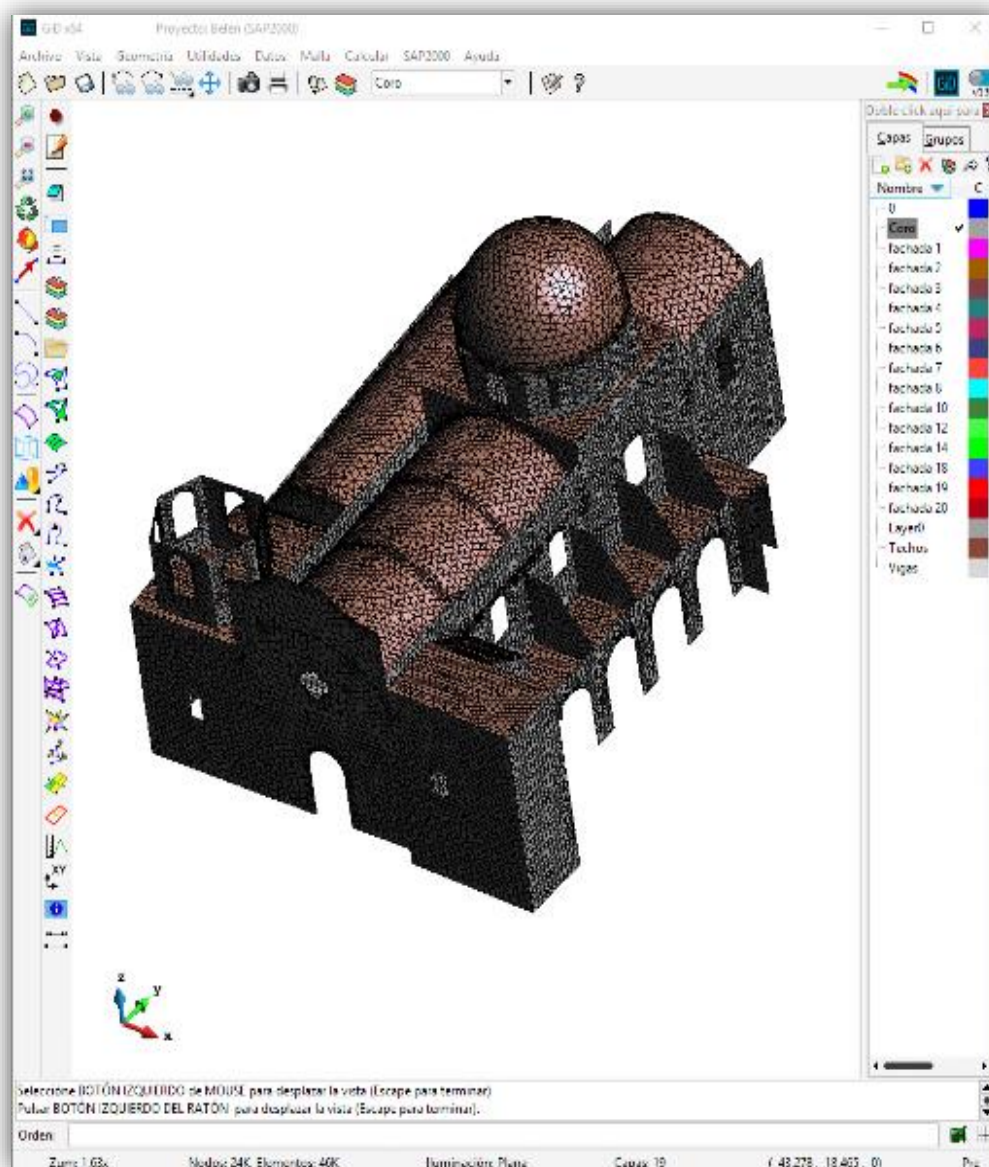


Figura Nº 67: Modelo tridimensional en software GID

Fuente: Adaptación al software GID, 2017

Para la modelación de la estructura se empleó el software de análisis SAP 2000 V. 20, en dicho programa se logró simular las características geométricas en función a los planos, las propiedades de los materiales a partir de los ensayos realizados y la bibliografía existente. En la modelación de los elementos se usó tipo Shell, para toda la estructura. En la figura N° 68 podemos observar la modelación de la iglesia extruida en la que se puede apreciar la complejidad de la estructura de piedra.

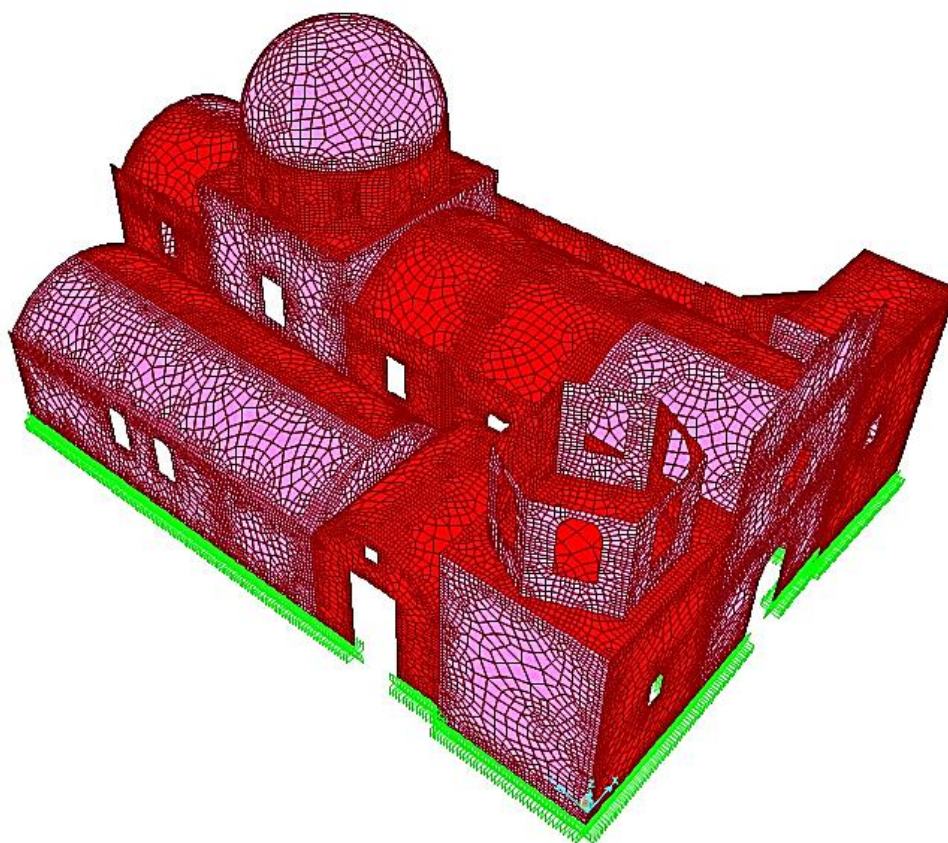


Figura N° 68: Modelo tridimensional de la Iglesia Belén
Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

Para determinar el comportamiento de la estructura se obtuvo resultados del programa SAP 2000, en donde se realizó un análisis dinámico con la finalidad de estudiar los esfuerzos que se presentan en los arcos, cúpulas, muros y bóvedas.

Se sabe que los elementos resistentes de esta estructura son los muros, los mismos que trabajan en función a la dirección en el que se ubica en el plano, por ello se realizó una evaluación de los mayores esfuerzos para cada dirección del sismo.

- **Parámetros para el análisis sismo dinámico.**

Los parámetros para el análisis sísmico con referencia a la norma NTE.030 (2016) son:

Zonificación sísmica: Cajamarca se encuentra ubicada en la zona sísmica 3, correspondiéndole un factor de zona $Z=0.35$

Categoría de la edificación: se consideró a la iglesia Belén en la categoría B, debido a que es un patrimonio histórico y en su interior alberga gran cantidad de personas, correspondiéndole un factor de uso $U=1.3$

Tipo de suelo y periodo predominante: de acuerdo al tipo de suelo de la zona monumental se ha considerado un tipo de suelo que corresponde a un perfil tipo S_2 (Suelos intermedios), correspondiéndole los periodos, $T_p=0.6$ y $T_l=2$ y un factor de suelo $S=1.15$.

Coefficiente de reducción de la fuerza sísmica R: la configuración estructural es de muros, arcos, pilares de mampostería de piedra, sin embargo, no está indicado en la norma sismoresistente, debido a que la norma técnica no hace mención sobre un factor de reducción de la fuerza sísmica para estructuras de piedra y por la escasa ductilidad se ha considerado un valor de $R=1$.

La estructura de la Iglesia Belén fue modelada con el método más usado universalmente para el cálculo de fuerzas sísmicas, a través de un análisis modal espectral, que representa la sismografía de un determinado lugar, la iglesia se encuentra ubicado en un tipo de suelo intermedio, por ello se empleó el espectro de aceleración para suelos intermedios.

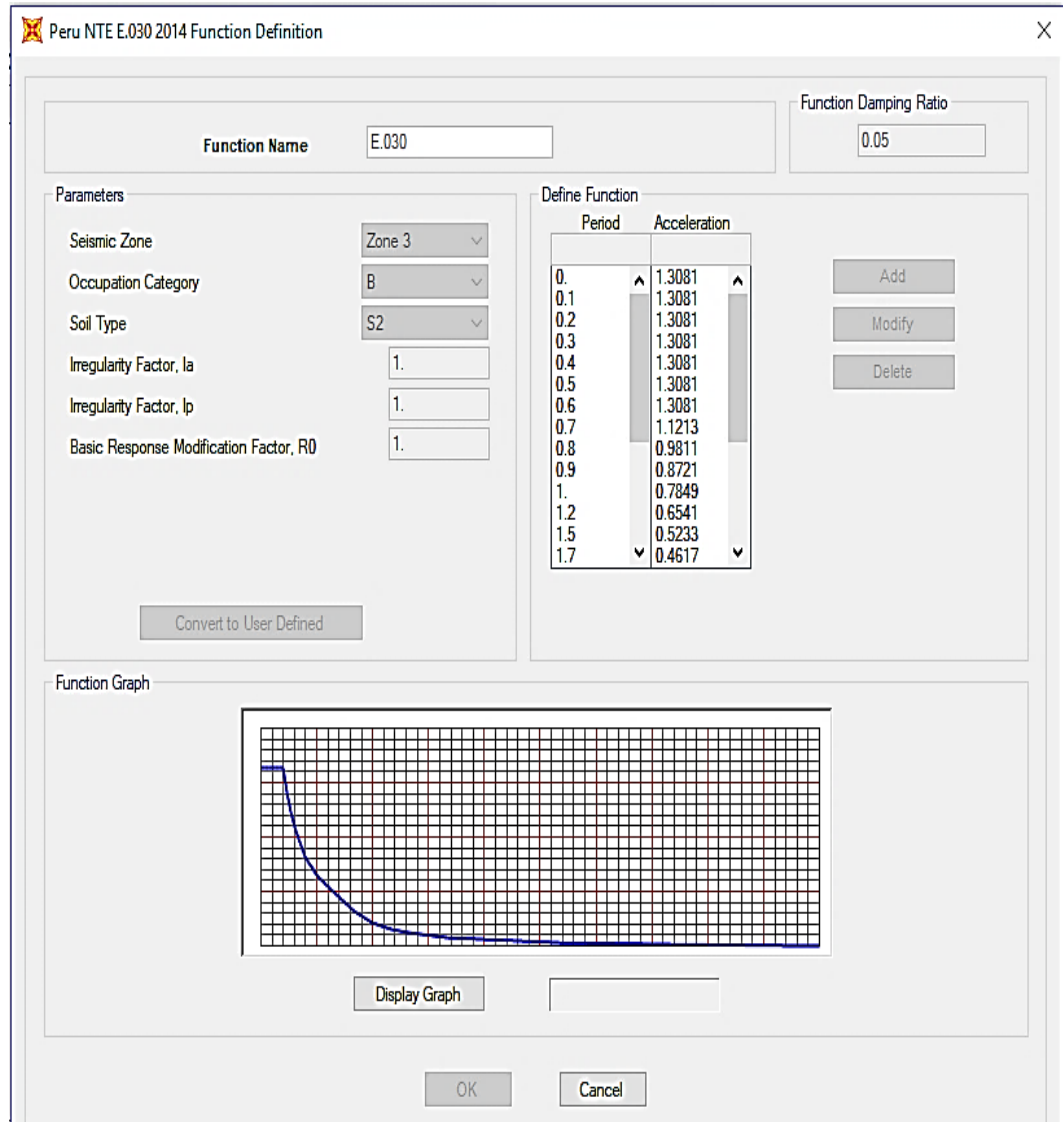


Figura N° 69: Espectro de aceleración para suelos intermedios.

Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

4.2.2.2. Descripción de los parámetros a evaluar de la metodología propuesta:

En el desarrollo de esta tesis como segundo método de evaluación de la vulnerabilidad sísmica se empleó la metodología propuesta por Mosqueira y Tarque, adaptando los parámetros de evaluación en función al comportamiento estructural, calidad de la mano de obra y materiales, y se complementó con el estado de conservación, dichos parámetros evaluados fueron obtenidos en el programa de análisis estructural SAP 2000 y visitas de campo, se realizó el modelo 3D de elementos finitos teniendo en cuenta la geometría de la iglesia y la caracterización de las propiedades, logrando así la simulación de la estructura, usando los parámetros para el análisis sísmico con referencia a la norma NT. E030 (2016).

4.2.2.2.1. Comportamiento estructural

En este ítem se analizó el comportamiento estructural donde se evaluó las fuerzas cortantes, los desplazamientos y los esfuerzos de compresión, el comportamiento de la estructura frente a eventos sísmicos y cargas de gravedad varían dependiendo de su configuración, características y resistencia de la mampostería.

- **Esfuerzos cortantes**

El comportamiento sismoresistente de la iglesia Belén es el que más debe ser considerado, ya que está en función a la capacidad de compresión de los materiales frente a esfuerzos de compresión y tracción, que pueden generarse en la estructura, el análisis sísmico ha sido realizado en función a la norma técnica peruana E030 (2016).

La iglesia Belén como la mayoría de los monumentos históricos de nuestra ciudad, no han sido concebidas para soportar sismos importantes, pues son estructuras que tienen mucho peso en proporción a la capacidad resistente, la cual es un factor en contra de presentarse sismos importantes, en el modelo se analizó los esfuerzos cortantes máximos producidos por sismo en ambas direcciones, tanto para la dirección de X y la dirección de Y.

Los resultados obtenidos fueron procesados en tablas de Excel por cada muro en ambas direcciones, comparando dichos resultados con el esfuerzo máximo permisible, con la finalidad de obtener si dicho elemento es adecuado o inadecuado frente a las acciones sísmicas.

- **Desplazamientos.**

Otro de los parámetros analizados son los desplazamientos originados por el sismo, tanto en la dirección de X como la dirección de Y, en este ítem se compararon los desplazamientos máximos generados en la estructura con el desplazamiento máximo permisible de la albañilería, según la norma técnica E 070 la que sirvió como referencia debido a que no existe una normativa para mampostería de piedra en nuestro país. (RNE- NT E070, 2016)

- **Esfuerzos de compresión.**

El peso propio de la estructura produce los esfuerzos de compresión que se van a mostrar mayormente en bóvedas y cúpulas. En este ítem se analizaron los esfuerzos máximos de compresión debido al peso propio, este tipo de estructuras están concebidas para

soportar cargas de gravedad, dichos datos fueron comparados con el esfuerzo de comprensión determinados en laboratorio.

4.2.2.2.2. Calidad de mano de obra y materiales

Otro de los parámetros a evaluar en la vulnerabilidad sísmica es la calidad de la mano de obra y materiales, la cual es netamente visual y depende del evaluador, en este ítem según los datos obtenidos en campo podemos indicar si es de buena calidad, regular calidad o mala calidad., el porcentaje de participación corresponde al 30%, según la metodología propuesta.

4.2.2.2.3. Estado de conservación.

El estado de conservación, es otro de los factores a evaluar, dicho de otra manera, a partir de la observación de campo se logró determinar cómo se encuentra la estructura actualmente, este parámetro también ha sido evaluado en el método propuesto por Benedetti y Petrini, a través de las encuestas, por ello se tiene como antecedente los resultados obtenidos.

Este ítem representa el 10% dentro de la evaluación de la vulnerabilidad, considerado como un parámetro importante en las estructuras antiguas.

4.2.2.3. Interpretación de resultados del método propuesto por Mosqueira y Tarque.

A cada uno de los parámetros se le asignó un valor numérico, el mismo que califica su condición según el análisis realizado a la estructura, en la tabla N°8 podemos observar el valor numérico que oscila entre 1 y 3, los cuales son asignados a partir de los resultados obtenidos en el estudio, en dicha tabla se ha ordenado los parámetros como se muestra conservando el parámetro de calidad de materiales y mano de obra y se ha incorporado los parámetros de comportamiento estructural en el que se evalúa los esfuerzos cortantes, las deformaciones y los esfuerzos de compresión, en última instancia se incorporó el estado de conservación que es netamente visual y depende del criterio del evaluador.

Tabla 13: Tabla de Calificación de los parámetros a evaluar.

Vulnerabilidad sísmica estructural					
Comportamiento estructural		Calidad de mano de obra y materiales		Estado de conservación.	
Adecuada	1	Buena calidad	1	Adecuada	1
Aceptable	2	Regular calidad	2	Aceptable	2
Inadecuada	3	Mala calidad	3	Inadecuada	3

Fuente: Adaptado del método de Mosqueira y Tarque, 2005

A los parámetros de evaluación de la vulnerabilidad estructural, mencionados líneas arriba, se le asignó un valor numérico según el grado de importancia, con una participación del 60 % para el parámetro de comportamiento estructural, un 30% en calidad de mano de obra y materiales y un 10% de participación para el estado de conservación, los

dos últimos parámetros a evaluar son subjetivos y está en función del encuestador por ser datos obtenidos en campo.

$$\begin{aligned}
 \text{Vulnerabilidad} &= \text{[[0.6]]} \times \text{Comportamiento} + \text{[[0.3]]} \times \text{Calidad de} \\
 \text{sísmica} & \quad \text{estructural} \quad \quad \quad \text{mano de} \quad \quad \quad \text{Estado de} \\
 & \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{obra y} \quad \quad \quad \text{conservación} \\
 & \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{materiales}
 \end{aligned}$$

...Ecuación 7

Para evaluar la vulnerabilidad se establece un rango de valores que varía en función a los parámetros antes mencionados, el cual se divide en tres categorías: baja, media y alta, (ver tabla 14), valor que define el nivel de vulnerabilidad sísmica de la estructura en evaluación. (Mosqueira, et al, 2005)

Tabla 14: Calificación para la determinación el nivel de vulnerabilidad.

calificación de vulnerabilidad	Valores
Baja	1.0 a 1.4
Media	1.5 a 2.1
Alta	2.2 a 3.0

Fuente: Mosqueira, et al, 2005

4.3. Métodos de investigación

4.3.1. Análisis cualitativo: (Método de índice de vulnerabilidad sísmica, propuesto por Benedetti y Petrini)

Se empleó el método de investigación de carácter cualitativo, método desarrollado por Benedetti y Petrini, con el que se determinó una serie de parámetros en función a las características que componen los edificios históricos, para ello existen formularios diseñados de recopilación de datos con la que se evaluó los 11 parámetros que determinan el índice de vulnerabilidad la cual representa la calidad sísmica de la estructura.

Para lograr determinar la vulnerabilidad sísmica a través del método italiano se procedió a la aplicación de los 11 parámetros establecidos en la metodología, aplicada en la iglesia Belén de la ciudad de Cajamarca. Los parámetros se muestran a continuación:

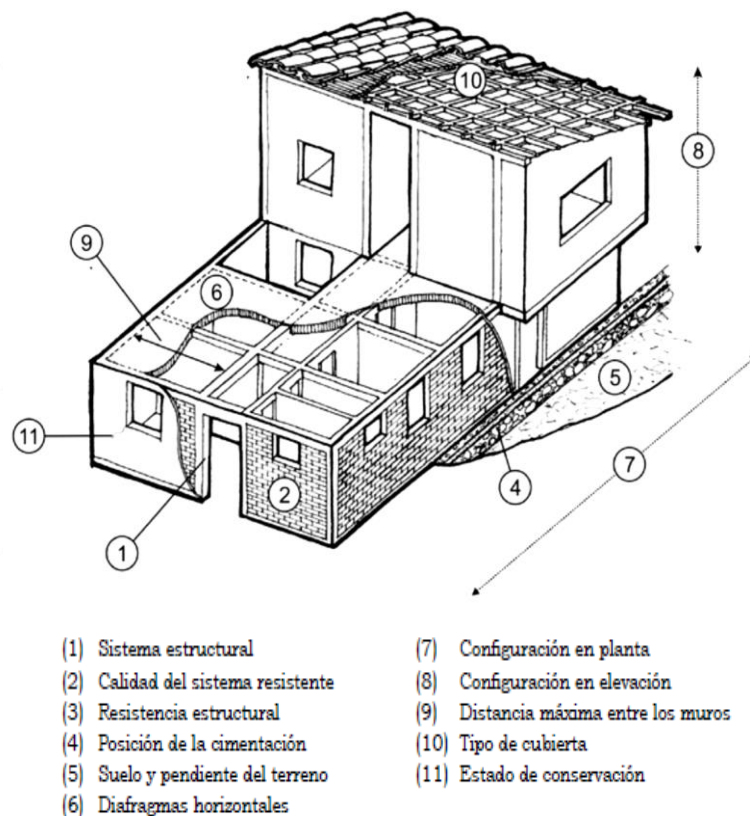


Figura N° 70: Parámetros del modelo de vulnerabilidad sísmica.
Fuente: Aldonado, et al, 2007

- **Análisis cuantitativo: Método propuesto por Mosqueira y Tarque (adaptado al modelo 3d de Elementos finitos)**

En el análisis cuantitativo de la estructura, se empleó el método propuesto por Mosqueira y Tarque, adaptando los resultados y los parámetros a evaluar apoyado de dicha metodología, debido a la complejidad de la iglesia Belén se ha realizado la modelación en tres dimensiones en el programa de análisis estructural SAP 2000, con elementos finitos tipo shell, a partir del cual

se realizó un análisis sismo dinámico espectral con las condiciones del sitio, y teniendo en cuenta los parámetros según la norma de diseño sismo resistente NTE 030, de dicho modelo se ha extraído datos como, las fuerzas cortantes, los desplazamientos y las fuerzas de compresión generadas por el peso propio de la estructura.

4.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidad de observación

La población la constituyen las 10 iglesias de la ciudad de Cajamarca.

La muestra la constituye las iglesias de piedra de zona monumental de la ciudad de Cajamarca.

La unidad de observación es la iglesia Belén de la ciudad de Cajamarca.

4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información.

La metodología para la recolección de la información está conformada por las siguientes actividades:

- La principal de ellas fue una revisión exhaustiva del estado del arte a lo que está referida la investigación, considerando a las diferentes técnicas y metodologías utilizadas para evaluar la vulnerabilidad sísmica en edificios históricos.
- Se Recopiló antecedentes históricos sobre la construcción, materiales utilizados, geometría, reformas que se han realizado en la estructura de la Iglesia Belén de la ciudad de Cajamarca.
- Se aplicó en el análisis para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, el método de índice de vulnerabilidad, propuesto por Benedetti y Pettrini, en

donde se calificó cada parámetro conforme a la calidad. Además, se modeló la estructura teniendo en cuenta su geometría y las características de los materiales y se adaptó los resultados al método propuesto por Mosqueira y Tarque.

4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

La metodología para realizar el análisis de la investigación está conformada por las siguientes actividades:

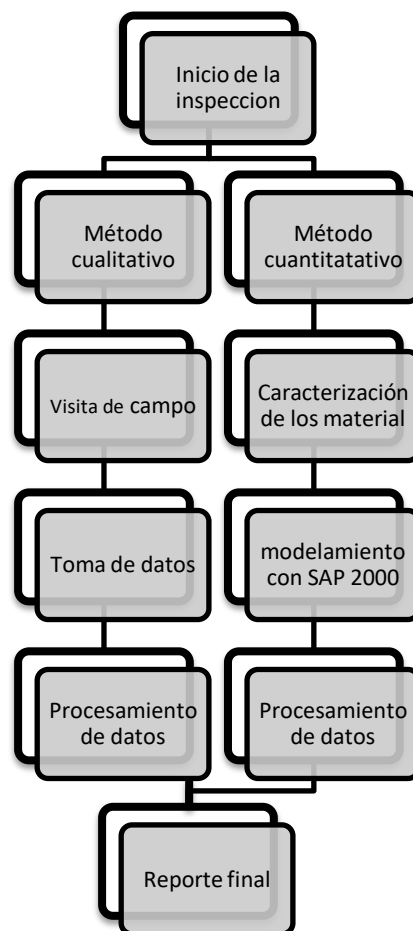


Figura N° 71: Esquema del proceso de la investigación

4.7. Equipos, materiales, insumos, etc.

Dentro del recurso equipos de la investigación se contó con la participación de las siguientes personas:

- Investigador
- Ayudante

Dentro de los recursos materiales necesarios para la investigación se requirió lo siguiente:

- Computadora portátil.
- Cámara fotográfica.
- Útiles de escritorio

4.8. Matriz de consistencia metodológica

TITULO: Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la iglesia Belén de la ciudad de Cajamarca- 2017							
Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	VARIABLES/ categorías	Indicadores Cualidades	Fuente	Metodología	Población y muestra
<p>Pregunta general: ¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia Belén de la ciudad de Cajamarca?</p>	<p>Objetivo General: Determinar la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia Belén de la ciudad de Cajamarca.</p>	<p>Hipótesis general: La vulnerabilidad sísmica de la iglesia Belén es alta</p>	<p>Vulnerabilidad sísmica</p>	Organización del sistema resistente	<p>Formatos de recolección de datos</p>	<p>Método del índice de vulnerabilidad sísmica</p>	<p>Población Todas las iglesias de piedra de la ciudad de Cajamarca</p>
	<p>Objetivos Específicos: - Determinar el valor numérico de los 11 parámetros empleados en el método cualitativo propuesto por Benedetti y Petrini. - Determinar los esfuerzos y las deformaciones en la estructura mediante un modelo adecuado, acorde con la geometría y características de los materiales en el programa de análisis estructural SAP 2000.</p>			<p>Calidad del sistema resistente</p> <p>Posición del edificio y cimentación</p> <p>Diagramas horizontales</p> <p>Tipo de cubierta</p> <p>Estado de conservación</p> <p>Edad</p> <p>Resistencia convencional</p> <p>Configuración en planta.</p> <p>Configuración en elevación</p> <p>Distancia máxima entre muros.</p>			

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Presentación de resultados.

5.1.1. Método de vulnerabilidad sísmica propuesto por Benedetti y Petrini

La tabla 15, muestra el resultado de los parámetros evaluados mediante el método de Benedetti y Petrini, cada parámetro corresponde a un detallado estudio, durante el proceso de inspección de campo, la calificación de los parámetros varían en función a lo evaluado, los parámetros que tienen por calificación "C" son considerados los más críticos de la iglesia Belén, dentro de ellos está el parámetro de organización del sistema resistente, que representa el grado de distribución de los elementos verticales, tales como columnas y muros, el parámetro configuración en elevación, el que mide la irregularidad que presenta en altura por la presencia de cúpulas y torres, y por último el parámetro de elementos no estructurales, que mide básicamente los elementos arquitectónicos que forman parte de la estructura pero no aportan ninguna función estructural, estos elementos están expuestos a fallar frente a las acciones sísmicas, como se observa en la tabla N° 15, no hay un solo parámetro tenga una calificación D, que es considerada la más inadecuada, sin embargo, sí presenta valores de calificación C que resulta ser la condición más desfavorable de la evaluación realizada la iglesia Belén.

Tabla 15: Calificación para la determinación el nivel de vulnerabilidad.

VALORES OBTENIDOS DE LOS PARÁMETROS DE EVALUACIÓN		
ITEM	PARAMETRO	CALIFICACION
1.-	ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE	C
2.-	CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE	A
3.-	RESISTENCIA CONVENCIONAL	A
4.-	POSICION DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACION	B
5.-	CONFIGURACIÓN EN PLANTA	B
6.-	CONFIGURACIÓN EN PLANTA	B
7.-	CONFIGURACIÓN EN ELEVACION	C
8.-	ESPACIAMIENTO MAXIMO ENTRE MUROS	A
9.-	TIPO DE CUBIERTA	B
10.-	ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	C
11.-	ESTADO DE CONSERVACION	B

En esta sección, se muestra la escala numérica de cada parámetro según la clasificación asignada (ver tabla 16), la que está en función a la calificación que el método le asigna, el resultado se obtiene de multiplicar el peso del parámetro con su respectiva clase del cual obtenemos el índice de vulnerabilidad.

Tabla 16: Cálculo de índice de vulnerabilidad

CALIFICACION DE LOS PARAMETROS		CLASE K _i				W _i	W _i *k _i
i	PARAMETROS	A	B	C	D		
1.-	ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE	0	5	20	45	1.00	20
2.-	CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE	0	5	25	45	0.25	0
3.-	RESISTENCIA CONVENCIONAL	0	5	25	45	1.50	0
4.-	POSICION DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACION	0	5	25	45	0.75	0
5.-	DIAFRAGMAS HORIZONTALES	0	5	15	45	1.00	5
6.-	CONFIGURACIÓN EN PLANTA	0	5	25	45	0.50	2.5
7.-	CONFIGURACIÓN EN ELEVACION	0	5	25	45	1.00	25
8.-	ESPACIAMIENTO MAXIMO ENTRE MUROS	0	5	25	45	0.25	0
9.-	TIPO DE CUBIERTA	0	15	25	45	1.00	15
10.-	ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	0	0	25	45	0.25	6.25
11.-	ESTADO DE CONSERVACION	0	5	25	45	1.00	5

Donde:

K_i: Valor numérico por clasificación (0-45)

W_i: Peso de cada parámetro según importancia (0.25-1)

El valor obtenido del índice de vulnerabilidad sísmica fue de 78.75, valor que ubica a la iglesia Belén de la ciudad de Cajamarca como una estructura medianamente vulnerable, la cual deberá tener programas de intervención a corto plazo sobre todo en los parámetros que presentan falencias como organización del sistema resistente, configuración en elevación y elementos no estructurales, el resultado de la clasificación de parámetros aplicados a la iglesia Belén se presentan en la tabla 17:

Tabla 17: Calificación para la determinación el nivel de vulnerabilidad.

	VI=	78.75
Valor del índice de vulnerabilidad	Escala global de vulnerabilidad	
0	Nada vulnerable	
0-53	Poco Vulnerable	
53-201.25	Medianamente vulnerable	
201.25-382.25	Muy vulnerable	

5.1.2. Método propuesto por Mosqueira y Tarque adaptado al modelo 3D de elementos finitos.

Como segundo método de análisis aplicado a la iglesia Belén, se ha empleado el método propuesto por Mosqueira y Tarque, teniendo en cuenta que dicho método ha sido aprovechado básicamente para poder determinar el nivel de vulnerabilidad que está en función a tres parámetros, que fueron desarrollados en según al modelo 3d de elementos finitos, a la calidad de la mano de obra y materiales y al estado de conservación, logrando obtener los siguientes resultados.

5.1.2.1. Estudios previos al análisis sísmico.

La mampostería de piedra empleada en la construcción de la iglesia Belén es de cantería, Asencio, (2012) menciona que la iglesia fue construida a base de piedra volcánica labrada naturalmente, al igual que la Catedral y San Francisco, siendo el material estructural predominante.

Para poder determinar la resistencia de este tipo de estructuras consideradas como monumentos históricos y protegidos por el Ministerio de Cultura se obtuvo una muestra de piedra cantera con las mismas características de las que se usaron para la construcción, la que fue ensayada en un laboratorio certificado para determinar las propiedades que serán empleadas para el modelamiento de la estructura.

Para determinar las características del bloque de piedra se obtuvo 10 muestras, con las características similares a las que se emplearon en la iglesia Belén, en forma de cubo de 10 cm x 10 cm x 10cm, dichas dimensiones fueron elegidas, debido a resulta más manejable a la hora de realizar el ensayo, las dimensiones fueron recomendadas por él especialista de ensayos del laboratorio, que de las cuales 10 fueron sometidas a los ensayos en su estado natural, tal como fueron obtenidas y 5 pasaron por un proceso de degradación, afectado por la humedad extrema y sol durante 15 días, según las recomendaciones del asesor de tesis con la finalidad de determinar si hay reducción o no las características resistentes.



Figura Nº 72: Control previo al ensayo.

Los ensayos realizados a las muestras de piedra fueron los siguientes:

✓ **Pesos Específico**

Entre las propiedades requeridas para la investigación se obtuvo el peso específico del bloque de piedra utilizando la siguiente fórmula:

$$P. E = \frac{\text{peso}}{\text{volumen}} \quad \dots \text{Ecuación 7.1}$$

Por cada uno de los elementos se ha realizado la toma de medidas para determinar los volúmenes y su respectivo peso.



Figura N° 73: Determinación del peso específico de la piedra.

En la siguiente tabla podemos encontrar el resumen de los datos obtenidos de las muestras sin alterar su calidad.

Tabla 18: Peso específico de las muestras de piedra.

RESUMEN	
Nº DE MUESTRA	PESO ESPECIFICO (Kg/m3)
M1	1743.538
M2	1616.397
M3	1649.043
M4	1638.780
M5	1642.072
M6	1747.957
M7	1675.969
M8	1727.841
M9	1715.062
M10	1612.011
PROMEDIO	1676.867

Las muestras afectadas por factores ambientales por 15 días también fueron evaluadas obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 19: Peso específico de las muestras de piedra alteradas.

RESUMEN	
Nº DE MUESTRA	PESO ESPECIFICO (Kg/m ³)
M1-A	1939.227
M2-A	1925.791
M3-A	1955.349
M4-A	1954.860
M5-A	1930.939
PROMEDIO	1941.233

✓ **Resistencia a la compresión de la piedra**

Este ensayo es el más importante a realizar en una piedra natural, para su realización se empleó una prensa hidráulica, además se tuvo en cuenta que, entre las bases de la probeta y las placas de presión, no debe intercalarse ningún material, tales como cartón o papel que pueda ejercer un efecto de almohadillado o también un esfuerzo lateral, no deben compensar las irregularidades de las bases por medio de rellenos de yeso o cemento.



Figura Nº 74: Ensayo de compresión de las muestras de piedra

Así se procedió a determinar la resistencia a la compresión de los bloques de piedra, para ello se ensayaron las 10 muestras sin alterar y 5 muestras alteradas, las que fueron sometidas a cargas de compresión, obteniendo diferentes resultados, para luego trabajar con los promedios obtenidos, al aplicar las cargas se observó que al llegar al 70% aproximadamente, el elemento se fisuraba en la misma dirección de la fuerza axial.



Figura N° 75: Falla en la muestra luego de ser sometida a compresión axial

En el siguiente grafico podemos observar los esfuerzos versus la deformación de las muestras sin alterar.

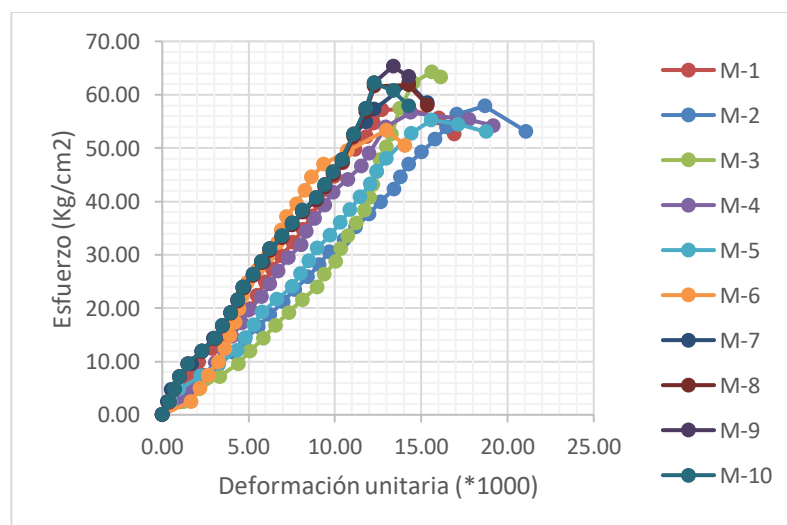


Figura N° 76: Gráfica esfuerzo vs deformación de las muestras de piedra sin alterar.

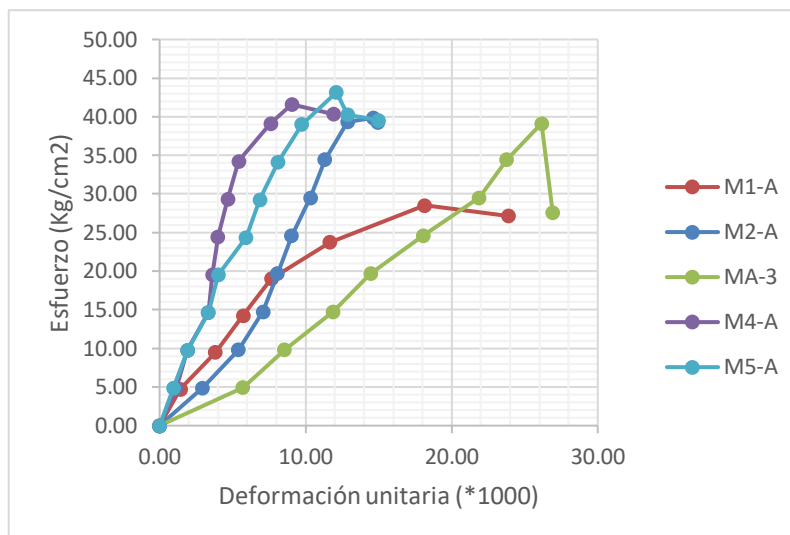


Figura Nº 77: Gráfica esfuerzo vs deformación de las muestras de piedra afectadas por los factores ambientales.

En la siguiente tabla podemos encontrar el resumen de los datos obtenidos de las muestras sin alterar su calidad, el promedio de la resistencia a la compresión de los bloques de piedra es 56.86 kg/cm².

Tabla 20: Resistencia a la compresión de las muestras de piedra sin alterar.

RESUMEN	
Nº DE MUESTRA	RESISTENCIA
M1	56.06 Kg/cm ²
M2	53.67 Kg/cm ²
M3	57.49 Kg/cm ²
M4	53.78 Kg/cm ²
M5	52.91 Kg/cm ²
M6	55.12 Kg/cm ²
M7	60.17 Kg/cm ²
M8	60.95 Kg/cm ²
M9	61.70 Kg/cm ²
M10	56.70 Kg/cm ²
PROMEDIO	56.86 Kg/cm²

Los datos de las muestras afectadas por factores ambientales en el ensayo, presentaron una reducción del 33.10 % de las muestras que no fueron alteradas.

Tabla 21: Peso específico de las muestras de piedra alteradas

RESUMEN	
Nº DE MUESTRA	RESISTENCIA
MA- 1	28.50 Kg/cm ²
MA- 2	44.24 Kg/cm ²
MA- 3	35.59 Kg/cm ²
MA- 4	41.34 Kg/cm ²
MA- 5	40.55 Kg/cm ²
PROMEDIO	38.04 Kg/cm²

✓ **Módulo de Elasticidad**

A partir de los datos obtenidos de las gráficas de esfuerzo – deformación unitaria se logró determinar el módulo de elasticidad para ambos casos, para ello además se hizo lecturas de la longitud de deformación.



Figura N° 78: Peso específico de las muestras de piedra alteradas.

El módulo de elasticidad promedio correspondiente a las muestras de piedra ensayadas sin alterar es:

Tabla 22: Resumen del módulo de elasticidad de las muestras sin alterar.

RESUMEN	
Nº DE MUESTRA	MODULO DE ELASTICIDAD
M1	1123.13
M2	1098.93
M3	1137.38
M4	1100.05
M5	1091.04
M6	1113.63
M7	1163.57
M8	1171.05
M9	1178.23
M10	1129.44
PROMEDIO	1130.64

Tabla 23: Resumen del módulo de elasticidad de las muestras alteradas.

RESUMEN	
Nº DE MUESTRA	MODULO DE ELASTICIDAD
MA- 1	800.78
MA- 2	997.73
MA- 3	894.86
MA- 4	964.39
MA- 5	955.18
PROMEDIO	922.59

5.1.2.2. Análisis estructural de la iglesia Belén.

✓ Esfuerzos cortantes

Con referencia a los datos del modelo en el programa de análisis estructural SAP 2000, se ha obtenido los esfuerzos cortantes producto

de las acciones sísmicas, tanto para la dirección X, como la dirección Y, las tablas adaptadas muestran el comparativo entre el esfuerzo cortante máximo y el esfuerzo admisible de la estructura, los esfuerzos cortantes máximos oscilan entre 2.03 kg/cm² a 4.80 kg/cm² para los muros perpendiculares a la dirección del sismo y entre 3.68 kg/cm² a 14.05 kg/cm² para los muros sometidos a sismo en la dirección paralela al sismo . (Ver tabla 23 y 24)

Tabla 24: Esfuerzos cortantes de muros en la dirección paralela al sismo.

Identificación de muro	Esfuerzo sísmico a corte kgf/cm ²	Esfuerzo Admisible vadm=3kgf/cm ²
M1X	5.52	Inadecuado
M2X	6.27	Inadecuado
M3X	4.41	Inadecuado
M4X	7.44	Inadecuado
M5X	4.37	Inadecuado
M6X	4.52	Inadecuado
M7X	5.13	Inadecuado
M8X-CONT.	7.04	Inadecuado
M9X-CONT.	9.82	Inadecuado
M10X-CONT.	8.31	Inadecuado
M11X-CONT.	9.28	Inadecuado
M12X	7.07	Inadecuado
M13X	7.42	Inadecuado
M14X	9.68	Inadecuado
M15X	3.67	Inadecuado
NAVE CENTRAL	14.05	Inadecuado

Tabla 25: Esfuerzos cortantes de muros en la dirección perpendicular al sismo.

Identificación de muro	Esfuerzo sísmico a corte kgf/cm ²	Esfuerzo Admisible vadm=3kgf/cm ²
M1Y	2.96	Adecuado
M2Y	3.60	Inadecuado
M3Y	2.48	Adecuado
M4Y	2.23	Adecuado
M5Y	2.03	Adecuado
M6X	4.16	Inadecuado
M7X	2.61	Adecuado
M8Y	2.30	Adecuado
M9Y	4.80	Inadecuado
M10Y	2.54	Adecuado
M11Y	2.84	Adecuado
ARQUERIA	1.01	Adecuado
CUPULA	0.41	Adecuado

○ **Sismo en la dirección de X**

Los esfuerzos máximos se producen en los muros en la dirección de X, debido a que en esta dirección existe menor cantidad de muros resistentes que puedan reducir las acciones sísmicas, también se observa que, en las cúpulas, arcos, contrafuertes y bóvedas, presentan los mayores esfuerzos.

Los esfuerzos que se presentan en los muros están en el orden de 6.27 kg/cm² cerca de los vanos y en la base de la estructura, tal como se observa en la figura 79.

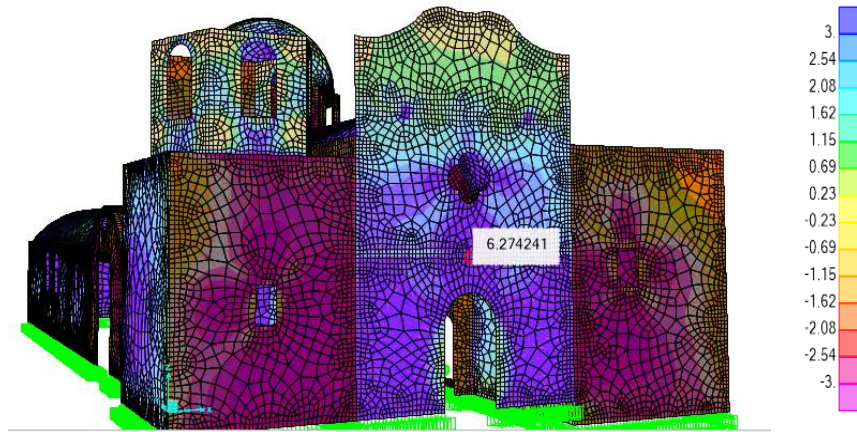


Figura N° 79: Esfuerzos máximos cortantes de los muros en la dirección de X
Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

Los muros de la parte posterior de la estructura también presentan grandes esfuerzos cortantes, que se encuentran en el orden de 9.68 kg/cm², evidentemente dicho resultado supera en gran medida el esfuerzo máximo admisible de la estructura.

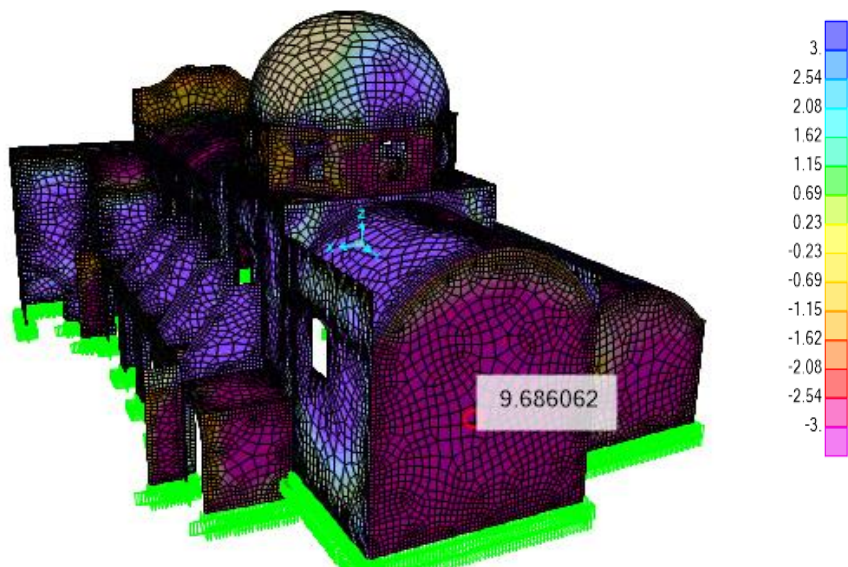


Figura N° 80: Esfuerzos máximos cortantes de los muros laterales en la dirección de X
Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

En la parte lateral de la estructura en la misma dirección de X se puede observar que existen contrafuertes, los cuales también generan esfuerzos máximos que están en el orden de los 9.38

kg/cm², poniendo en evidencia la poca capacidad resistente de la estructura en esta dirección.

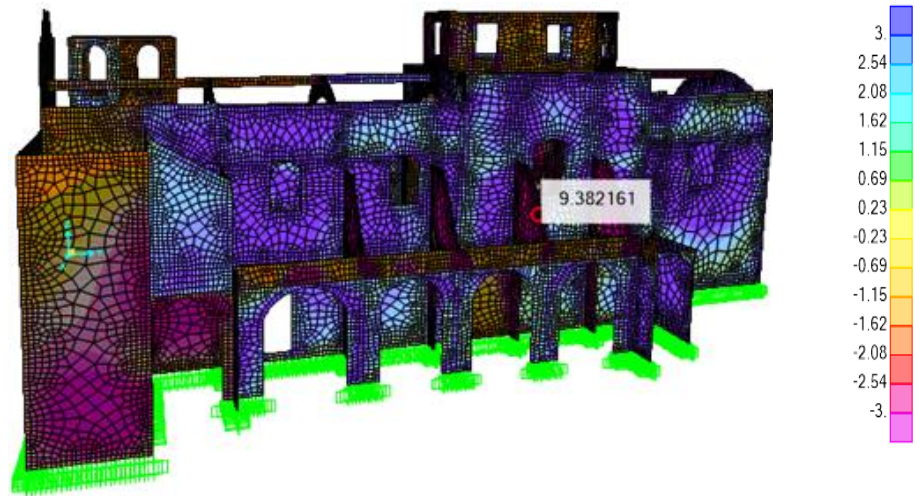


Figura N° 81: Esfuerzos máximos cortantes de los contrafuertes en la dirección de X
Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

Otro de los elementos que sufre grandes esfuerzos para sismo en la dirección X, son los arcos y bóvedas de la estructura, obteniendo esfuerzos máximos de hasta 14.05 kg/cm². (Ver figura N° 82)

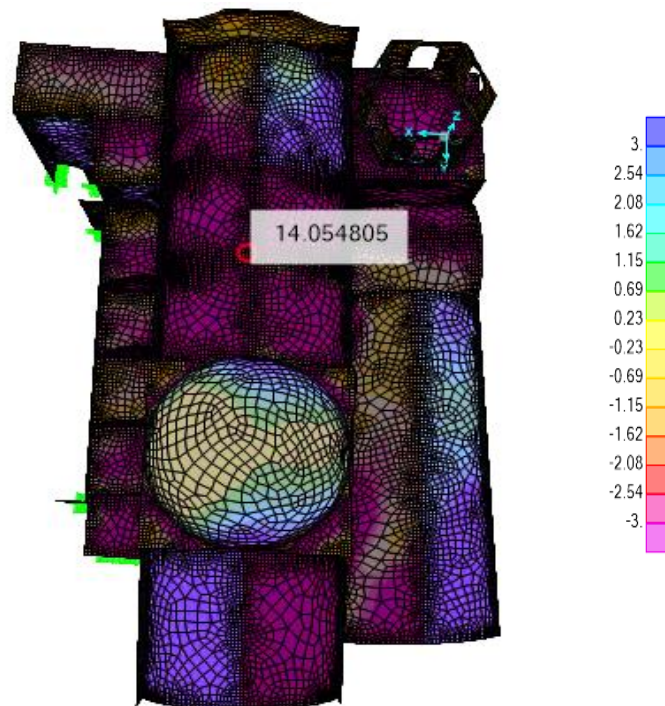


Figura N° 82: Esfuerzos máximos cortantes de los techos en la dirección de X
Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

Por otro lado, podemos observar que los muros en la dirección de Y, para el sismo en la dirección de X, presenta resultado de los esfuerzos cortantes menores a los admisibles, esto se debe principalmente a que en esta dirección existen mayor número de muros resistentes, razón por la cual muestra un mejor comportamiento.

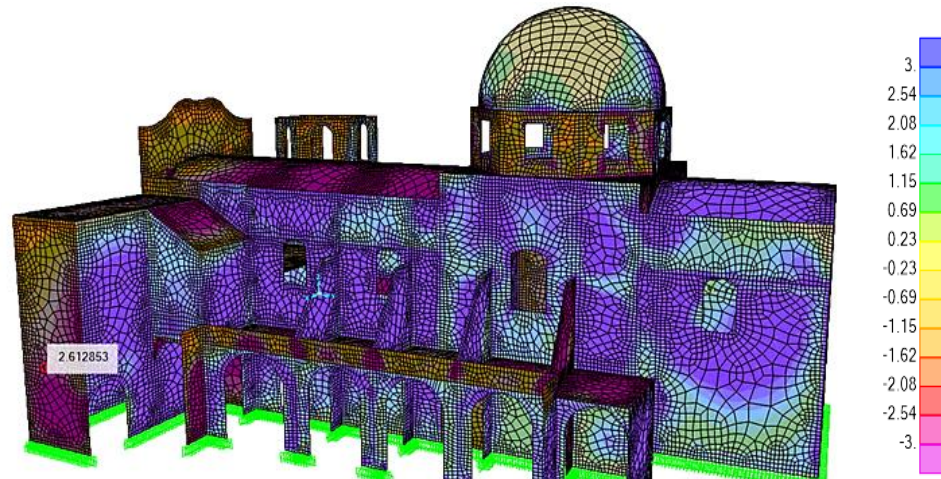


Figura N° 83: Esfuerzos máximos cortantes de los muros en la dirección de Y.
Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

○ **Sismo en la dirección de Y**

Analizando la estructura con los efectos de un sismo en la dirección de Y, se puede observar de los resultados que los esfuerzos cortantes en la dirección de Y y X son más favorables, el resultado muestra esfuerzos cortantes que en su mayoría están por debajo de los admisibles y se encuentran en el orden de 1.00 kg/cm² a 4.31 kg/cm² para muros en la dirección perpendicular al sismo y de 1.43 kg/cm² a 5.78 kg/cm², para muros en la dirección paralela al sismo, evidentemente se puede observar que presenta en esta dirección de análisis, resultados más favorables debido a una mejor distribución de la acción sísmica. (Ver tabla 25 y 26)

Tabla 26: Esfuerzos cortantes de muros en la dirección perpendicular al sismo.

Identificación de muro	Esfuerzo sísmico a corte kgf/cm ²	Esfuerzo Admisible vadm=3kgf/cm ²
M1X	2.23	Adecuado
M2X	4.31	Inadecuado
M3X	2.51	Adecuado
M4X	1.06	Adecuado
M5X	2.63	Adecuado
M6X	1.32	Adecuado
M7X	0.94	Adecuado
M8X-CONT.	1.35	Adecuado
M9X-CONT.	1.75	Adecuado
M10X-CONT.	0.88	Adecuado
M11X-CONT.	1.88	Adecuado
M12X	1.00	Adecuado
M13X	2.32	Adecuado
M14X	1.19	Adecuado
M15X	2.32	Adecuado
NAVE CENTRAL	3.69	Inadecuado

Tabla 27: Esfuerzos cortantes de muros en la dirección paralela al sismo.

Identificación de muro	Esfuerzo sísmico a corte kgf/cm ²	Esfuerzo Admisible vadm=3kgf/cm ²
M1Y	2.62	Adecuado
M2Y	3.88	Inadecuado
M3Y	1.43	Adecuado
M4Y	5.54	Inadecuado
M5Y	4.87	Inadecuado
M6X	4.72	Inadecuado
M7X	5.05	Inadecuado
M8Y	4.06	Inadecuado
M9Y	5.36	Inadecuado
M10Y	4.87	Inadecuado
M11Y	5.78	Inadecuado
ARQUERIA	2.24	Adecuado
CUPULA	3.52	Inadecuado

Como se observa en la figura N° 84, los esfuerzos que se generan en los muros laterales de la fachada principal para sismo en la dirección de Y, están en el orden de 2.23 kg/cm², valores relativamente bajos comparados con el comportamiento frente al sismo en la dirección de X, se puede evidenciar que en esta dirección de análisis la capacidad resistente es mayor.

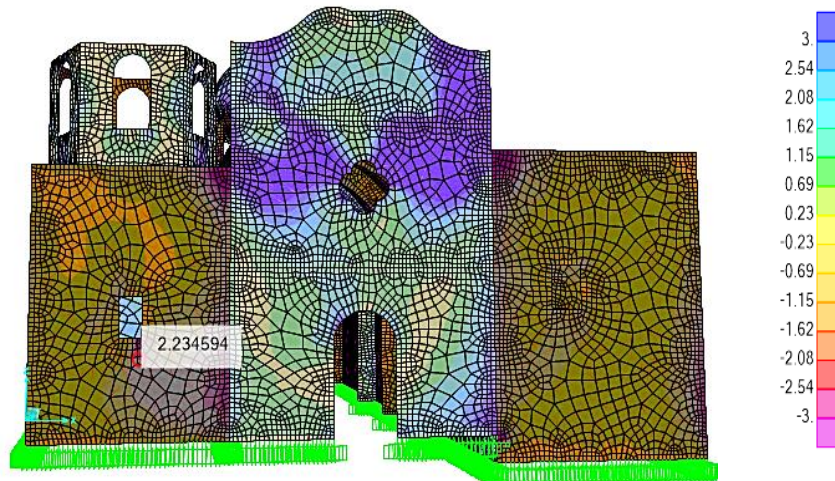


Figura N° 84: Esfuerzos máximos cortantes de los muros en la dirección de Y.
Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

Los mayores esfuerzos se presentan en los muros centrales, que llegan a un límite de 4.31 kg/cm², resultado que representa el mayor esfuerzo generado en esta dirección.

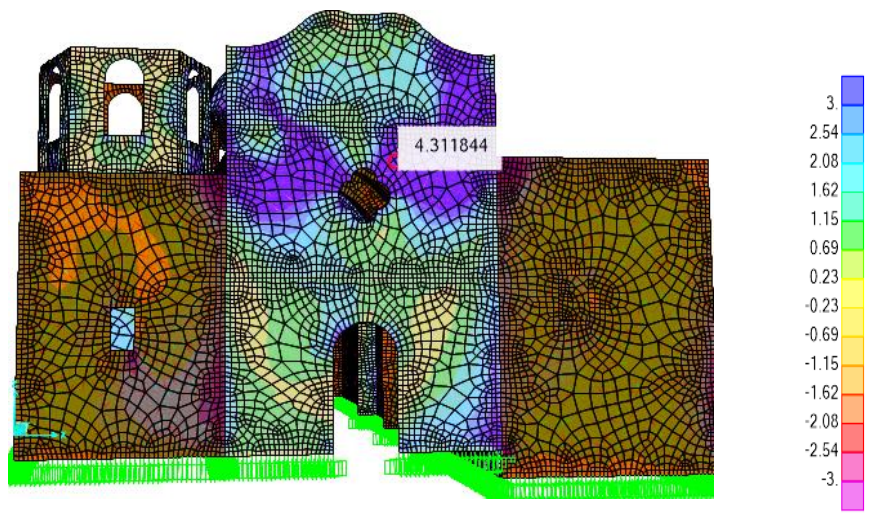


Figura N° 85: Esfuerzos máximos cortantes de los muros centrales en la dirección de X.
Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

Por otro lado, se puede observar en la figura N° 86, que el lateral izquierdo de la estructura no presenta grandes esfuerzos, sin embargo, presenta valores por debajo del admisible en la arquería de la estructura, los cuales son pequeños esfuerzos alrededor de 1 kg/cm².

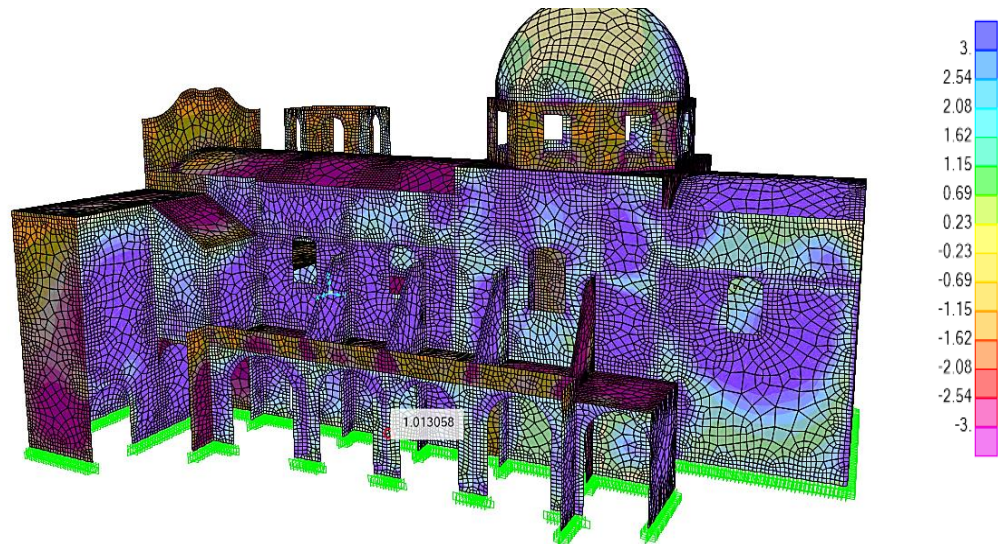


Figura N° 86: Esfuerzos máximos cortantes de la arquería lateral en la dirección de Y.
Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

Los contrafuertes de la estructura también presentan esfuerzos cortantes que están por debajo de 1.88 kg/cm², tal como se aprecia en la figura N° 87.

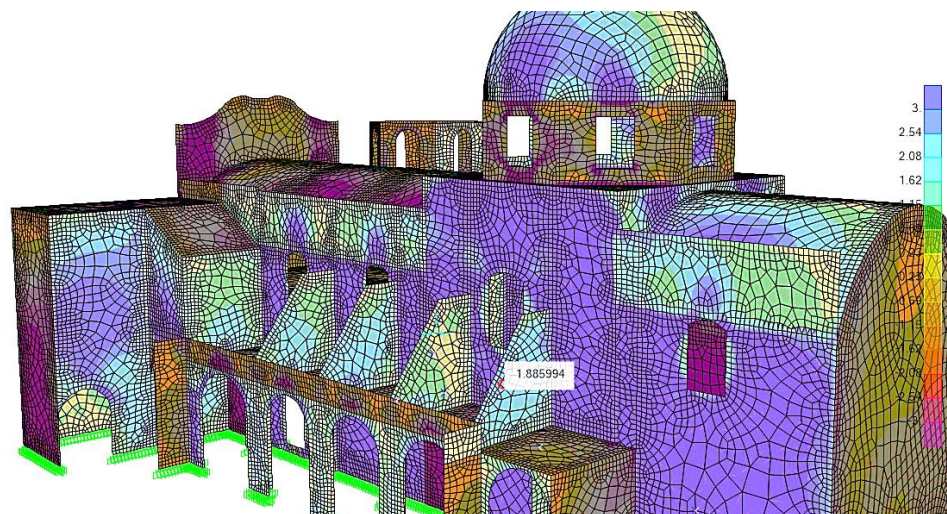


Figura N° 87: Esfuerzos máximos cortantes de los contrafuertes en la dirección de Y.
Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

La cúpula de la iglesia Belén presenta esfuerzos cortantes alrededor de 3.52 kg/cm², tal como se puede ver en la figura N° 88 para el sismo generado en la dirección de Y.

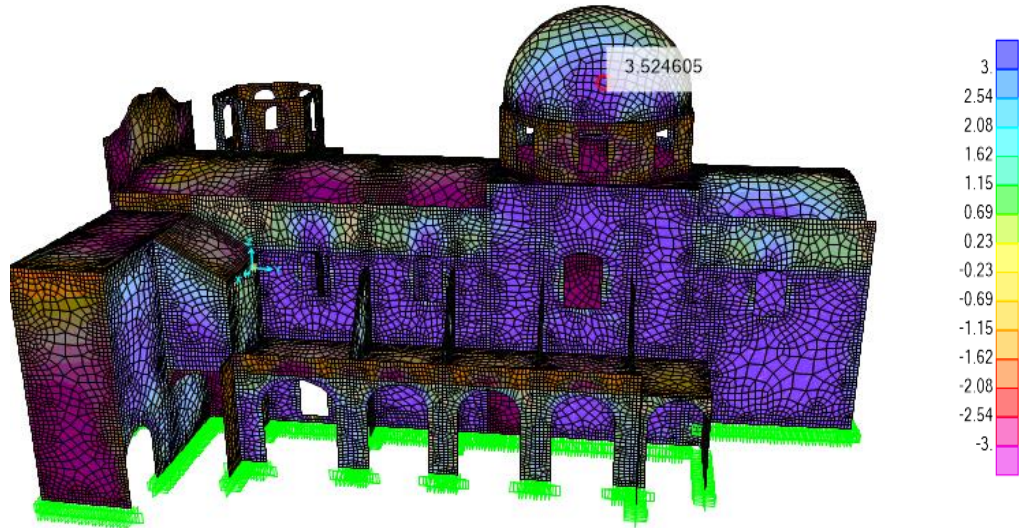


Figura N° 88: Esfuerzos máximos cortantes de la cúpula en la dirección de Y.
Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

✓ **Desplazamientos.**

○ **Desplazamientos originados por sismo en la dirección de X**

Los desplazamientos máximos generados en la estructura debido a la fuerza sísmica en la dirección de X, se muestra en la figura N° 89, es de 18.99 mm en X y 13.75 mm para Y, haciendo un comparativo con el desplazamiento máximo de la albañilería como referencia, debido a que no tenemos por norma desplazamientos máximos para mampostería de piedra, se ha tomado como referencia el desplazamiento de la albañilería, obtenemos que el desplazamiento no cumple y sobrepasa los desplazamientos máximos permisibles.

Tabla 28: Desplazamientos máximos por sismo en la dirección X

Identificación de muro	Desplazamiento máximo	Desplazamiento Admisible
	mm	5 mm
Muros en X	18.99	No cumple
Muros en Y	13.75	No cumple

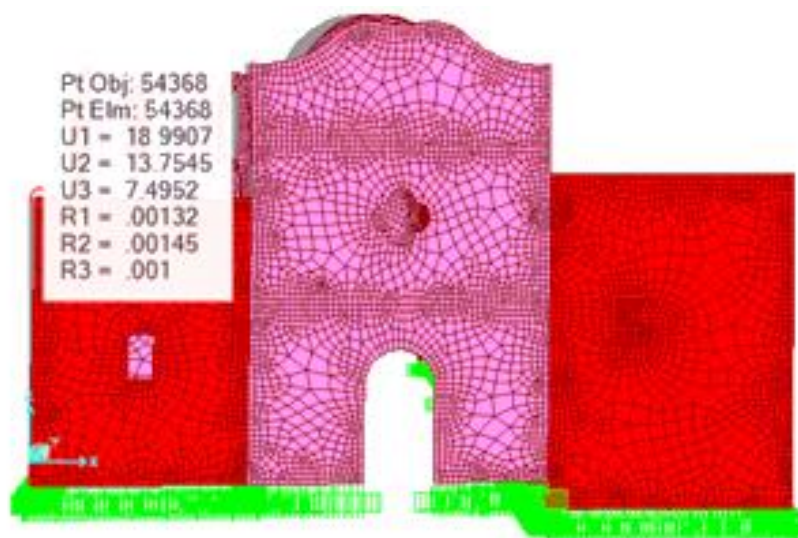


Figura N° 89: Desplazamientos máximos para el sismo en la dirección de X.
Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

○ **Desplazamientos originados por sismo en la dirección de Y.**

Si analizamos la estructura con el sismo generado en la dirección de Y, se puede apreciar que el desplazamiento máximo para la dirección de X es de 4.10 mm y para la dirección de Y de 18.52 mm, lo que muestra una gran diferencia entre el resultado para el sismo en X, cumpliendo únicamente con los desplazamientos máximos permisibles en la dirección de X.

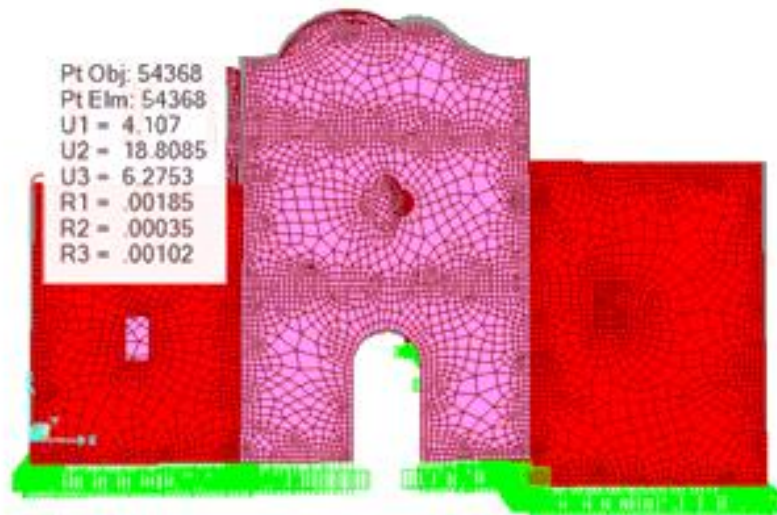


Figura N° 90: Desplazamientos máximos para el sismo generado en la dirección de Y.

Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

Tabla 29: Desplazamientos máximos por sismo en la dirección Y.

Identificación	Desplazamiento máximo	Desplazamiento Admisible
	mm	5 mm
Muros en X	4.10	Cumple
Muros en Y	18.52	No cumple

✓ **Esfuerzos de compresión.**

Este tipo de estructuras está diseñado básicamente para soportar cargas por gravedad, generados por el peso propio de la estructura, ya que su comportamiento es adecuado y presenta esfuerzos relativamente bajos comparados con la resistencia obtenida en la piedra que está en el orden de 38.04 kg/cm² y 56.86 kg/cm² según los datos de laboratorio.

En la tabla 29 Y 30, se muestra los esfuerzos obtenidos en el programa SAP 2000 para cargas por gravedad, tanto en los muros de la dirección de X, como de la dirección de Y, presentando esfuerzos de

compresión menores a los admisibles, lo que indica que se comporta adecuadamente en comparación a los esfuerzos generados por sismo.

Tabla 30: Esfuerzos por peso propio de muros en X.

Identificación de muro	Esfuerzo De compresion kgf/cm2	Esfuerzo Admisible vadm=50kgf/cm2
M1X	- 2.03	Adecuado
M2X	- 1.87	Adecuado
M3X	- 1.62	Adecuado
M4X	- 1.03	Adecuado
M5X	- 1.11	Adecuado
M6X	- 1.01	Adecuado
M7X	- 1.78	Adecuado
M8X-CONT.	- 0.83	Adecuado
M9X-CONT.	- 1.08	Adecuado
M10X-CONT.	- 1.15	Adecuado
M11X-CONT.	- 1.23	Adecuado
M12X	- 1.43	Adecuado
M13X	- 1.15	Adecuado
M14X	- 1.29	Adecuado
M15X	- 1.01	Adecuado
NAVE CENTRAL	- 3.17	Adecuado

Tabla 31: Esfuerzos por peso propio de muros en Y.

Identificación de muro	Esfuerzo De compresión kgf/cm2	Esfuerzo Admisible vadm=50kgf/cm2
M1Y	- 1.43	Adecuado
M2Y	- 1.34	Adecuado
M3Y	- 2.36	Adecuado
M4Y	- 2.73	Adecuado
M5Y	- 1.64	Adecuado
M6X	- 1.01	Adecuado
M7X	- 1.27	Adecuado
M8Y	- 0.64	Adecuado
M9Y	- 1.38	Adecuado
M10Y	- 5.21	Adecuado
M11Y	- 4.11	Adecuado
ARQUERIA	- 5.61	Adecuado
CUPULA	- 3.08	Adecuado

Los esfuerzos que presenta la estructura está cercano a los 2.00 kg/cm² en ambas direcciones de los muros estructurales, esto significa que dichos esfuerzos son insignificantes frente al gran peso y dimensiones de los muros.



Figura N° 91: Esfuerzos máximos de compresión de muros en la dirección de X.
Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

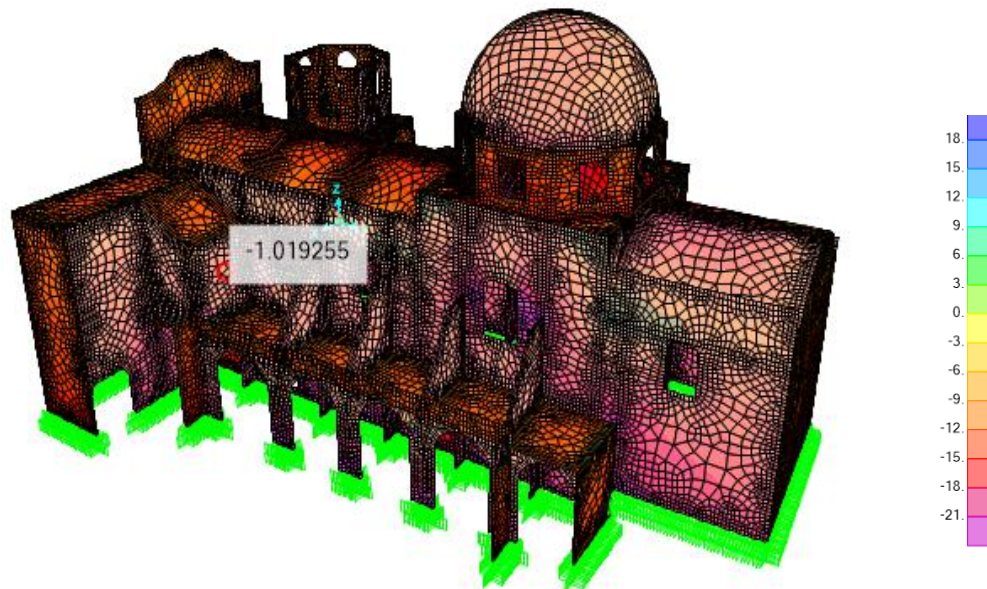


Figura N° 92: Esfuerzos máximos de compresión de muros en la dirección de X.
Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

Los esfuerzos máximos que se generan en el techo de la estructura debido al peso propio se encuentran por debajo de los 3.17 kg/cm², es decir aproximadamente un 1/20 de la resistencia obtenida de las probetas de piedra.

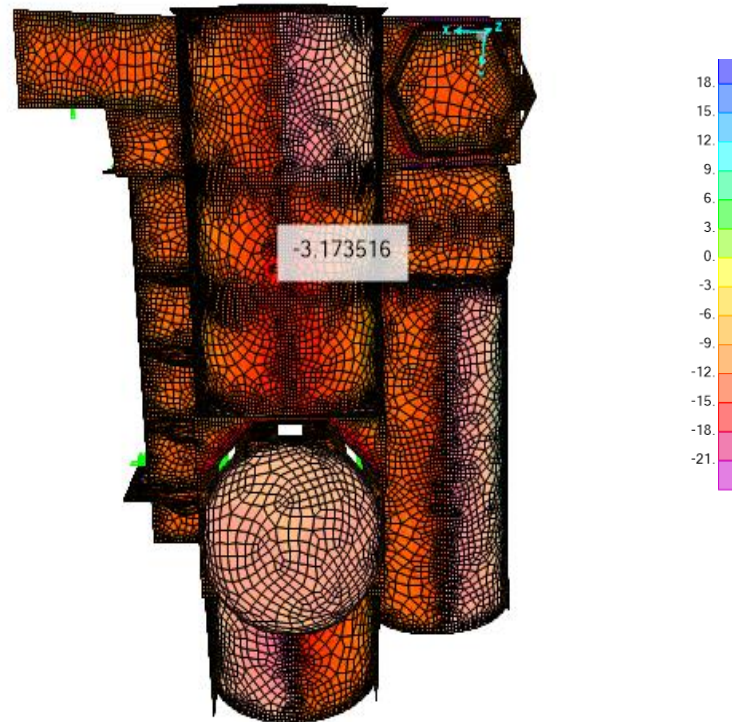


Figura N° 93: Esfuerzos máximos de compresión de muros en la cobertura.
Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V20.0, 2017

5.1.2.3. Análisis no estructural de la iglesia Belén:

✓ Calidad de la mano de obra y materiales.

Este parámetro dentro de la metodología propuesta por Mosqueira y Tarque, representa el 30% del peso para determinar la vulnerabilidad sísmica, la calidad de la mano de obra y materiales ha sido evaluada en campo y a partir de los resultados obtenidos en el programa de análisis estructural en concordancia con el comportamiento estructural.

La tabla 31, muestra el resultado de análisis con respecto al parámetro calidad de mano de obra y materiales, la cual se ubica en un estado regular, en cuanto a la construcción ha sido realizada por mano propio de la época, sin tener en cuenta ningún parámetro sismo resistente, y ha sido ejecutada bajo la dirección técnica durante la ejecución por el arquitecto Joseph Morales , La decoración y pintura interior de la iglesia se lo atribuye al pintor Nicolás Montalvo, maestro pintor principal de la Villa San Antonio de Cajamarca y uno de los más importantes de la época, quien concluyó con la pintura y decorado del interior de la iglesia.

. En cuanto a los materiales, son propios de la zona, fabricados y elaborados artesanalmente, muchos de los muros tienen espesores que bordean los 2 metros de ancho y sus juntas son de cal y arena con una dimensión que varía de 5 cm a 10 cm, el bloque de piedra tiene forma regular tallado manualmente, son unidades de piedra de gran tamaño y constantes de 55 cm x 30 cm aproximadamente a lo largo de la estructura, de resistencia duradera, la cual es un factor importante y una prueba es su permanecía hasta la actualidad.

Tabla 32: Resultados de análisis calidad de mano de obra y materiales.

No estructural			
Calidad de mano de obra y materiales		Estado de conservación	
Buena calidad		Adecuada:	
Regular calidad	X	Aceptable:	X
Mala calidad		Inadecuada:	

✓ Estado de conservación

El estado de conservación es un parámetro muy importante en este tipo de edificaciones, es por ello que el método italiano también lo considera dentro de los parámetros de evaluación.

El parámetro propuesto en esta tesis, ha tenido como referencia el método italiano con respecto al parámetro 11, es el estado de conservación, el cual representa el 10% de la vulnerabilidad sísmica de la estructura, ha sido evaluado netamente en campo, a partir de la observación directa.

Tabla 33: Resultados de análisis del estado de conservación

No estructural			
Calidad de mano de obra y materiales		Estado de conservación	
Buena calidad		Adecuada:	
Regular calidad	X	Aceptable:	X
Mala calidad		Inadecuada:	

Según la tabla 32, ubica al parámetro estado de conservación como aceptable, se sabe que la construcción de la iglesia duró 45 años, entre 1699 a 1744, hasta la actualidad tiene 273 años y aún se mantiene en pie para deleite de propios y turistas.

5.1.3. Resultado Índice de vulnerabilidad sísmica aplicado a la iglesia Belén de Cajamarca (Método propuesto por Mosqueira y Tarque)

La aplicación de este método de evaluación de vulnerabilidad adaptado al modelo de análisis 3d de elementos finitos, y a través de los diferentes

indicadores, ha dado por resultado, que la vulnerabilidad sísmica de la iglesia Belén es alta, ya que ha presentado resultados que hacen predecir que de manifestarse un sismo de gran magnitud en nuestra ciudad podría generar un colapso o daño severo. (Ver tabla 33)

Tabla 34: Calificación de la vulnerabilidad sísmica aplicado a la iglesia Belén.

FACTORES INFLUYENTES EN EL RESULTADO (Vulnerabilidad Sísmica)													
Comportamiento estructural						No estructural							
Esfuerzos cortantes		Desplazamientos		Esfuerzos de compresión		Calidad de mano de obra y materiales		Estado de conservación					
Adecuada:		Adecuada:		Adecuada:	X	Buena calidad		Adecuada:					
Aceptable:		Aceptable:		Aceptable:		Regular calidad	X	Aceptable:	X				
Inadecuada:	X	Inadecuada:	X	Inadecuada:		Mala calidad		Inadecuada:					
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <th colspan="2">Calificación</th> </tr> <tr> <td>Vulnerabilidad:</td> <td>Alta</td> </tr> </table>										Calificación		Vulnerabilidad:	Alta
Calificación													
Vulnerabilidad:	Alta												

Fuente: Adaptación al método propuesto por Mosqueira y Tarque.

5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados

La *Tabla 15*, muestra los parámetros evaluados en el estudio de la vulnerabilidad sísmica, propuesto por Benedetti y Petrini, a través de un formato de recolección de datos (ver Anexo 1), donde se obtiene un alcance de las características más importantes de la iglesia Belén, estructura que ha tenido un largo periodo de vida y no se ha visto afectada por daños importantes, es preciso reconocer la regular conservación y mantenimiento indicado el parámetro 11 del método, y además del trabajo de los antiguos constructores que han sabido manejar todo el proceso constructivo y selección de materiales, y poder contar con este patrimonio tan importante en nuestra ciudad hasta la actualidad, esto principalmente a que aún no se ha registrado un sismo importante en la ciudad de Cajamarca, pese a que se ubica en la zona de alto peligro sísmico, sin embargo existe un periodo de silencio sísmico, y nos deja con gran incertidumbre de cuándo, cómo y con qué intensidad se presentará dicho fenómeno.

La Tabla 16, muestra el proceso de cálculo de evaluación de los once parámetros del método Italiano, la que ha sido realizada en campo y en gabinete, se ha observado que la estructura presenta falencias en los parámetros, organización del sistema resistente (Parámetro 1), en configuración en elevación (Parámetro 7) y en elementos no estructurales (Parámetro 10), es por ello que se debería tener especial concentración en estos parámetros con la finalidad de mejorar su comportamiento frente a posibles sismos.

La vulnerabilidad sísmica como claramente se indica en la Tabla 17, como resultado de multiplicar a cada parámetro con su respectivo peso que al sumar obtenemos valor de 78.75, ubicando a la estructura como medianamente vulnerable, resultado que se acerca a lo expresado en la hipótesis, pues según el método, la iglesia Belén de la ciudad de Cajamarca es medianamente vulnerable, la cual deberá tener programas de intervención a corto plazo.

El segundo método empleado, con la finalidad de hacer un comparativo entre dos métodos y tener un mejor alcance de la vulnerabilidad sísmica de la estructura, fue el método propuesto por Mosqueira y Tarque (método cuantitativo), el mismo que ha sido adaptado al modelo 3D de elementos finitos de la estructura, y a partir de los resultados logramos obtener conclusiones importantes, el método evaluó principalmente el comportamiento estructural en conjunto donde se evaluó los esfuerzos cortantes, los desplazamientos máximos y los esfuerzos de compresión, simulando un sismo con la norma E030 del año 2016, además evaluamos la calidad de la mano de obra y materiales y el estado de conservación de la estructura. (Ver Anexo 02)

Un parámetro importante evaluado en este método, es la resistencia a la compresión de la piedra, parámetro que no es 100% exacto, por las limitaciones que tiene una estructura histórica, tales como el acceso a una muestra de piedra propia de la iglesia, para la cual se obtuvo una muestra con las características similares a las usadas en la iglesia Belén, según la Tabla 20, muestra los datos de los ensayos realizados a las muestras de piedra, arrojando como resistencia promedio un valor de 56.86 kg/cm², por debajo de lo que resisten comúnmente las piedras de este tipo, sin embargo es una aproximación, también se realizó un ensayo con muestras de piedra que fueron sometidas a factores climáticos por 15 días, y los resultados según la Tabla 21, muestra que la resistencia a la compresión se redujo en un 33.10 % aproximadamente comparado con la resistencia de las muestras en condiciones normales, es por ello que las estructuras históricas debido a su complejidad y majestuosidad, resultan un reto importante de evaluar, principalmente porque en este tipo de estructuras prácticamente no existen muchas referencias acerca de su conformación, haciendo que se tenga que asumir cierta información que no se encuentra a la mano, debido a su antigüedad no se conocía las características de las principales propiedades de los elementos que la conforman.

Tal como se muestra en la Tabla 23, con el análisis sísmico en la dirección de X la estructura no se comporta adecuadamente, las fuerzas cortantes analizadas con el modelo dinámico son variables, en la mayoría de muros los esfuerzos cortantes actuantes han superado los esfuerzos admisibles, esto principalmente a que en esta dirección no se encuentra la mayor cantidad de muros resistentes, los mayores esfuerzos cortantes se presentan en los muros cerca a los vanos y los contrafuertes con valores que varían entre 3.67 kg/cm² el mínimo y el máximo de 9.68 kg/cm², otro elemento que se vería seriamente afectado son las

cúpulas y las bóvedas de los techos con valores que llegan hasta los 14 kg/cm², estos valores superan ampliamente la capacidad resistente de la estructura, se evidencia que en medida que la fuerza sísmica aumente las bóvedas y cúpulas de la estructura podrían colapsar.

Del análisis de los desplazamientos que se generan por las fuerzas sísmicas en el eje X, la Tabla 27 muestra que en ambas direcciones no cumple con los desplazamientos permisibles, claro está al ser comparado con el desplazamiento máximo de la albañilería al tener un similar comportamiento, el desplazamiento máximo en la dirección de X es de 18.99 mm y para la dirección de Y es de 13.75 mm, ambos valores son bastante altos y ponen en evidencia que de generarse las fuerzas sísmicas la estructura podría deformarse, sin embargo estos no representan el problema principal por sí solo, sumado a los esfuerzos cortantes que si son excesivos.

La tabla 25 y tabla 26 muestra los resultados del análisis sísmico en la dirección de Y, se puede ver que la estructura tiene un mejor comportamiento, claro está que en esta dirección se encuentra la mayor cantidad de muros resistentes, los esfuerzos cortantes en los muros varía entre 0.94 kg/cm² y 5.78 kg/cm², sin duda podemos notar que los esfuerzos son menores pero que aún resultan perjudiciales para la estructura, en cuanto a las bóvedas y arcos los esfuerzos están en el orden de 3.69 kg/cm². Ahora analizando según la tabla 28, el desplazamiento máximo para la dirección de X, es de 4.10 mm y para la dirección de Y es de 18.52 mm, como se muestra solo cumple para la dirección de X estando muy cercano al desplazamiento admisible.

Cabe recalcar que este tipo de estructuras son concebidas para soportar esfuerzos generados por el peso propio (esfuerzos de compresión), opuesto a lo que generalmente soportaría frente a acciones sísmicas (esfuerzos cortantes), pues es una estructura con mucho peso en comparación a su capacidad resistente y a la ductilidad de los muros, lo que nos indica que mientras no exista un sismo importante en la ciudad de Cajamarca la estructura permanecerá estable y con insignificantes desplazamientos, del análisis realizado según las tablas 29 y 30, se observa que la estructura tiene un adecuado comportamiento, con valores que no superan los 2.03 kg/cm² y en las cúpulas y bóvedas obtenemos esfuerzos cercanos a los 3.17 kg/cm², estos esfuerzos son fácilmente resistidos por los materiales empleados.

El método también evalúa características no estructurales, como la calidad de la mano de obra y materiales, asimismo el estado de conservación de la estructura, estas características intrínsecas son también importantes al momento de evaluar estructuras históricas, las que son evaluadas netamente en campo y nos muestra la perspectiva real, según las tablas 31 y 27 la calidad de la mano de obra y materiales empleados arrojan como resultado una calificación de regular, así mismo el estado de conservación de la estructura es aceptable, a pesar de que básicamente está expuesta a deterioro y presencia de hongos producto de la humedad, el excremento de las aves que se alojan en la estructura también es un factor que afecta al deterioro de la piedra, en forma general presenta un estado regular de conservación, pues la parte externa es la más expuesta a ser afectado, presentando ciertos daños en la estructura, como deterioros a los elementos de piedra y fisuras, sobre todo la presencia de musgos y hongos producto de la humedad generado por las lluvias propias de la zona, la mayoría de los problemas que se presentan en los muros se debe a los diferentes

agentes patológicos que se acumulan a medida que pasan los años. La *tabla 33*, muestra el resultado final del método propuesto por Mosqueira y Tarque, ubicando a la iglesia Belén de Cajamarca como una estructura altamente vulnerable.

5.3. Contrastación de hipótesis

La motivación principal de este trabajo de investigación es determinar la vulnerabilidad sísmica, en la cual se emplearon dos metodologías, una más compleja que la otra, dicho estudio fue aplicado a la iglesia Belén, sin embargo, no está limitada a una sola estructura, ya que cualquiera de las metodologías pueden ser aplicadas a los diferentes patrimonios históricos, el método propuesto por Benedetti y Petrini, desarrolla una metodología muy amigable a través de encuestas y medidas de campo con procedimientos no destructivos, lo que resulta un método más analítico y fácil de aplicar, por otro lado está el análisis de la estructura a través de un modelo con las características y geometrías propias de la estructura, en la cual se aplica pruebas de laboratorio para determinar las características de la mampostería, los datos obtenidos fueron adaptados a la metodología propuesta por Mosqueira y Tarque, para obtener conclusiones acerca de la vulnerabilidad sísmica, analizando esfuerzos cortantes, desplazamientos y esfuerzos generados por el peso propio de la estructura, esto como parte estructural, sin embargo también se tuvo en cuenta parámetros no estructurales como la calidad de los materiales y la mano de obra, además del estado de conservación.

De la comparación de los métodos propuestos en esta tesis hemos obtenidos resultados similares, concluyendo por el método cualitativo propuesto por Benedetti y Petrini que la estructura es medianamente vulnerable, y en el

segundo método cuantitativo adaptado al método de Mosqueira y Tarque, debido al grado de análisis se concluyó que el nivel de vulnerabilidad es alto, ambos métodos nos dan un acercamiento al comportamiento del nivel de vulnerabilidad de la estructura, rescatando que el análisis cuantitativo es más confiable debido a lo detallado del análisis.

Por ello el método cuantitativo corrobora lo indicado en la hipótesis, donde indica que el nivel de vulnerabilidad sísmica de la iglesia Belén de Cajamarca es alta.

CONCLUSIONES

El desarrollo de esta tesis dio lugar a obtener las principales conclusiones respecto a la evaluación sísmica de la iglesia Belén de la ciudad de Cajamarca:

1. Se logró validar la hipótesis parcialmente, ya que el método cualitativo (método de índice de vulnerabilidad sísmica) arrojó que la iglesia Belén es medianamente vulnerable, y el método cuantitativo (propuesto por Mosqueira y Tarque indica) indica que la iglesia es altamente vulnerable, Comparando los resultados obtenidos por las metodologías se observa que ambos tienen similitud en su resultado, siendo más exacto el método cuantitativo.
2. El valor numérico de los 11 parámetros propuesto en el método cualitativo fue determinado, donde el parámetro organización del sistema resistente, configuración en elevación y elementos no estructurales, fueron los más altos obteniendo valores de 20 y 25 respectivamente, los demás parámetros arrojaron valores según su calificación entre 0 y 5, aplicando la ecuación del índice de vulnerabilidad a los 11 parámetros, se obtuvo un valor de 76.25, valor que ubica a la iglesia Belén de la ciudad de Cajamarca como medianamente vulnerable, según la escala global de vulnerabilidad propuesto en el método.
3. A través de la modelación, de acuerdo a las características y la geometría de la iglesia Belén se logró determinar el comportamiento estructural con el programa de análisis SAP 200 v20, en el cual muestra que la estructura tiene un inadecuado comportamiento frente a las fuerzas sísmicas, los valores obtenidos de los esfuerzos cortantes para sismo generado en la dirección de X presenta valores que varían de 3.67 kg/cm² a 9.68 kg/cm²,

valores que superan los esfuerzos admisibles, a diferencia del sismo generado en la dirección de Y, arroja valores más bajos, entre 0.94 kg/cm² y 5.78 kg/cm².

4. Según el análisis los desplazamientos máximos generados por sismo en la dirección de X y Y, arrojan desplazamientos con valores de 18.99 mm y 13.75 mm para sismo generado en X y obtenemos valores de 4.10 mm en Y y 18.52 mm para sismo generado en X.
5. La iglesia Belén presente un buen comportamiento por los esfuerzos generados por el peso propio valores que no superan los 3.17 kg/cm², dichos valores son insignificantes frente a la capacidad resistente de la estructura.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la aplicación de ambas metodologías para determinar el grado de vulnerabilidad sísmica de los diferentes monumentos históricos de la ciudad de Cajamarca, para tener un análisis rápido se recomienda aplicar el método de vulnerabilidad propuesto por Benedetti y Petrini y si se pretende hacer un análisis más detallado, se recomienda aplicar el método de análisis cuantitativo, con la modelación de la estructura y la aplicación de las tablas propuesta por Mosqueira y Tarque.
2. Se recomienda que, en coordinación con las entidades, ya sea Municipalidad Provincial o Dirección de Cultura, promover estudios de análisis de vulnerabilidad de manera masiva, con la finalidad de obtener una base de datos de los diferentes monumentos históricos de nuestra ciudad y realizar trabajos de reforzamiento para aquellos que se encuentren en un nivel alto de vulnerabilidad sísmica.
3. Se recomienda para futuros estudios a los alumnos de la Universidad Nacional de Cajamarca ampliar el estudio a todo el Complejo Monumental de Belén.
4. La aplicación del método cuantitativo en este estudio, es estimado ante acciones sísmicas, sin embargo, representa los posibles daños que se podrían generar en la estructura.
5. Es importante reconocer que este tipo de estudios debe ser aplicados a los monumentos históricos con la única finalidad de preservar la estructura frente a acciones sísmicas que podrían generar la pérdida total y parcial del monumento.
6. Es importante que se reconozca los posibles daños y reforzarlos, a fin de evitar pérdidas económicas y humanas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referencias

Altavista. 2015. COMPLEJO MONUMENTAL DE BELÉN CAJAMARCA. [En línea] altavista corporacion , 02 de Junio de 2015. [Citado el: 28 de Diciembre de 2018.]

<https://www.youtube.com/watch?v=t5WFHWwudAU&fbclid=IwAR2IBBfg0kYF-MjZkQP6l8-7-S9rrBvG3wWgYin9knfxAqciXNs9v7PXoRc>.

Arcos, H y Porcu, M. 2003. *Movimientos sísmicos y estructuras muraria. Origen efectos y evaluacion de daños en la vivienda tradicional- terremoto en la comarca del rio mula de 2 de febrero de 1999.* . Madrid : s.n., 2003.

Arechederra, E. 2010. *Metodo de Evaluacion de Inmuebles Historicos,* Universidad Juarez Autonoma de Tabasco, Primera Edicion. 2010.

Asencio, L. 2012. Iglesias del Centro Histórico de Cajamarca. [En línea] RPP Noticias, 14 de enero de 2012. [Citado el: 2018 de junio de 2017.] <https://rpp.pe/peru/actualidad/iglesias-del-centro-historico-de-cajamarca-noticia-440850>.

Azanza, J. 2012. *Tipologia de las torres campanario barrocas en Navarra.* s.l. : Universidad de Navarra, 2012.

Bani Hani, K y Barakat, S. 2006. *Analytical evaluation of repair and strengthening measures of Qasr al-Bint historical monument-Petra, Jordan.* *Engineering Structures.* Jordan : Engineering Structures, 2006.

Bembibre, C. 2009. DefinicionABC. [En línea] 09 de 12 de 2009. [Citado el: 18 de 05 de 2018.] <https://www.definicionabc.com/?s=Monumento>.

Benedetti, D y Petrini, V. 1984. *“Vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería: Propuesta de una metodología de evaluación.* Italia : La industria de la construcción, 1984.

Bonett, R. 2003. *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada.* Barcelona : Universidad Politécnica de Cataluña, 2003.

Caicedo, A; Barbat, J; Canas, R; Aguilar, R. 1994. *Vulnerabilidad Sísmica de Edificios, Monografías de Ingeniería Sísmica.* Barcelona : Centro Internacional de Metodos Numericos de ingeniería, 1994.

Caraota digital. 2017. Caraota Digital. *Caraota Digital.* [En línea] 8 de setiembre de 2017. [Citado el: 26 de diciembre de 2018.] <http://www.caraotadigital.net/internacionales/cronologia-los-terremotos-mas-devastadores-de-la-historia/>.

Cardona, O. 1999. *Vulnerabilidad Sísmica de Hospitales - Fundamentos para ingenieros y arquitectos. Monografías de Ingeniería Sísmica.* Barcelona : Centro Internacional de Metodos Numericos en Ingeniería, 1999.

Casas , J. 2012. *Restauo UNI Breve antología de textos de restauración del patrimonio monumental edificado.* Peru : Universitaria, 2012.

Cerna , Sandra; Diaz, Carla; Grosó, Ibeth; Ruiz, Martha. 2016. *Plan de Gestión de la Zona Monumental de Cajamarca.* Cajamarca : s.n., 2016.

Comercio, EL. 2015. Archivo Historico del Comercio . [En línea] 23 de Mayo de 2015. [Citado el: 28 de Diciembre de 2018.] <https://elcomercio.pe/blog/huellasdigitales/2015/05/a-75-anos-del-terremoto-que-azoto-lima-y-el-callao-2>.

Cortez, W. 2002. *Metodología para la evaluación sísmoresistente de edificaciones antiguas en tapia pisada y adobe.* Bucaramanga : s.n., 2002.

CYPE. Software para Arquitectura y Construcción. [En línea] [Citado el: 18 de Diciembre de 2018.]
http://www.generadordeprecios.info/rehabilitacion/Demoliciones/Estructuras/Fabrica/DEF050_Demolicion_de_boveda_de_fabrica_de__0_1_0_0_0.html.

D' Ayala , D; Espence, R; Oliveira , S; Pestana, P; Oliveira , C. 1997. *Earthquake loss estimation for Europe's historic town centres. Earthquake Spectra.* 1997.

Daud, M. 2017. Iglesia, parroquia, basílica, capilla... ¿En qué se diferencian? [En línea] 08 de septiembre de 2017. [Citado el: 19 de octubre de 2017.]
<https://es.aleteia.org/2017/09/08/iglesia-parroquia-basilica-capilla-en-que-se-diferencian/>.

De La Torre, O; Lopez, R; Salazar , A; Roldan , J. 2004. *Evaluación Estructural y Comportamiento de las reparaciones efectuadas a edificaciones históricas.* Mexico : Revista de Ingeniería Sísmica, 2004.

DICTER. Ediciones Universitarias de Salamanca . [En línea] [Citado el: 28 de diciembre de 2018.] <http://dicter.usal.es/lema/arco>.

Educalingo. 2008. Educalingo. [En línea] 2008. [Citado el: 18 de Febrero de 2018.] <https://educalingo.com/es/dic-es/sillar>.

El Tiempo. 2017. Los peores terremotos de la historia. *Los peores terremotos de la historia.* [En línea] 20 de setiembre de 2017. [Citado el: 28 de Diciembre de 2018.] <https://www.eltiempo.com/mundo/mas-regiones/los-terremotos-mas-fuertes-de-los-ultimos-anos-55704>.

Garcia, A. [En línea] [Citado el: 29 de Diciembre de 2018.]
<http://www.arquivoltas.com/presentacion/presentacion29.htm>.

Goded, T; Buforn, E; Muñoz, D; Davila, J. 2007. *Estudio preliminar de la vulnerabilidad de los monumentos de la ciudad de Malaga.* Girona : 3er congreso nacional de ingeniera Sismica, 2007.

Goytia, I y Villanueva, R. 2001. *Modernizacion de la enseñanza, aprendizaje en la asignatura de ingeniería antisísmica. Texto guía de ingeniería antisísmica.* 2001.

Hurtado, V y Leon, A. 2008. *Implementacion del Modelo de Indice de Vulnerabilidad ajustado a una edificacion historica con estructura de varios materiales.* Bucaramanga : s.n., 2008.

INDECI, PNUD. 2006. *Compendio Estadístico de Prevención y Atención de Desastres 2006 Sismos ocurridos en el Perú.* Lima : PNUD, 2006.

—. **2005.** *Programa de Prevencion y Medidas de Mitigacion ante desastres de la Ciudad de Cajamarca.* Cajamarca : PNUD, 2005.

Ivora, S y Cervera, R. 2002. <http://campaners.com/pdf/pdf28.pdf>. [En línea] 2002. [Citado el: 28 de Diciembre de 2018.] <http://campaners.com/pdf/pdf28.pdf>.

Laurenco, P. 2006. *Conservation of the heritage structures in seismic regions. Renovation Problems on Constructions and Historical Buildings.* Polonia : s.n., 2006.

Laurenco, P; Roque, J. 2006. *Simplified indexes for the seismic vulnerability of ancient masonry buildings.* s.l. : Construction and buildings materials, 2006.

Lopez, L; Torres, J; Montufar, A;. 2003. *Los Materiales Constructivos del Templo Mayor de Tenochtitlan*. Mexico : s.n., 2003.

Maheri, M. 2004. *Sismic vulnerability of post-Islamic Monumental Structures in Iran: Review of historic sources, Jornal of architectural engineering ASCE 10* . Iram : s.n., 2004.

Maldonado, Esperanza, Chio, cho y Gomez, Araujo. 2007. *Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos*. Bogota, Colombia : s.n., 2007.

Mallardo, V; Malvezzi, R; Milani, E; Milani, G. 2008. *Seismic vulnerability of historical masonry buildings: A case study in Ferrara*. Ferrara : Engineering Structures, 2008.

Martinez, G. 2007. *Vulnerabilidad sísmica para edificios históricos de obra de fábrica de median y gran luz*. Cataluña : s.n., 2007.

Masartes. 2017. Blog sobre arquitectura, pintura y escultura. Conceptos, definiciones, estilos y corrientes artísticas. [En línea] 09 de Setiembre de 2017. [Citado el: 28 de Diciembre de 2018.] <http://masartes.portalfree.net/2017/09/09/pechina-bizantina/>.

Mazzolani, F. 2008. *Advanced techniques for seismic protection of historical buildings: Experimental and numerical approach. Seismic Engineering Commemorating the 1908 Messina and Reggio Calabria Earthquake,*. Calabria : s.n., 2008.

Mendoza, Roman. 2005. *Revista Antropologica*. [En línea] 2005. [Citado el: 16 de Mayo de 2017.]

http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/revis-antrop/n3_2005/a05.pdf.

Navia Llorente , Jorge Andres y Barrera Roa, Elkin Mauricio. 2007. *Determinacion del indice de vulnerabilidad sismica en viviendas de interes social de uno y dos pisos construidas con mamposteria estructural en la ciudad de Bogota.* Bogota : s.n., 2007.

Oliveira, C. 2003. *Seismic vulnerability of Historical Constructions: A contribution. Bulletin of Earthquake Engineering OPS. 1993. Mitigación de desastres en las instalaciones de salud-Evaluación y reducción de la vulnerabilidad física y funcional. Organización Panamericana.* Whashington D.C. : s.n., 2003. VOL IV.

Olson , V. 2013. El blog de el dvino. [En línea] 2013. [Citado el: 12 de 01 de 2018.] <https://divinortv.blogspot.com/2013/11/la-orden-de-los-betlemitas.html>.

Parro. 2018. Diccionario de Arquitectura y Construcción . [En línea] 2018. [Citado el: 28 de Diciembre de 2018.] <http://www.parro.com.ar/index.php>.

Perez. 2015. Cúpulas de crucero en templos de la provincia de Alicante (s.XVII-XIX): construcción y geometría. [En línea] 17 de 07 de 2015. [Citado el: 28 de Diciembre de 2018.] <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/4218/4854>.

PERU.com. 2016. Yungay: impactantes fotos del terremoto que dejó 70 mil muertos. [En línea] 01 de junio de 2016. [Citado el: 28 de Diciembre de 2018.] <https://peru.com/actualidad/sabias-que/terremoto-yungay-46-anos-sismo-que-dejo-70-mil-muertos-noticia-457462>.

Podesta , S. 2005. *A damage model for the analisis of the seismic response of monumental buildings.* *Journal of Earthquake Engineering.* 2005.

Proaño, R; Olarte, J; Torres , M; Scaletti, H; Zavala, C. 2003. *Evaluacion de la vulnerabilidad sísmica de la Catedral del Cusco.* Lima : CISMID, 2003.

Ricardo. sf. Diccionario Arquitectonico. arquitectura. [En línea] sf. [Citado el: 28 de Diciembre de 2018.]
[http://www.academia.edu/4069858/Diccionario_Arquitectonico._arquitectura.](http://www.academia.edu/4069858/Diccionario_Arquitectonico._arquitectura)

RNE - NT A140. 2006. *Bienes Culturales Inmuebles.* Peru : Ministerio de construccion y saneamiento, 2006.

RNE- NT E070. 2016. *ALBAÑILERIA.* s.l. : Ministerio de vivienda construccion y saneamiento, 2016.

RNE-NT E030. 2016. *Norma sismorresiste.* PERU : Ministerio de vivienda construccion y saneamiento, 2016.

RNE-NT E080. 2017. *Diseño y construccion con tierra reforzada.* Lima : Ministerio de vivienda, construccion y saneamiento, 2017.

Safina, S. 2002. *Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones Esenciales- Analisis de la contribucion al riesgo sísmico.* Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya, 2002.

Sanchez, M. 2013. *Vulnerabilidad Sísmica de Construcciones Patrimoniales Históricas de Mampostería en Chile: Aplicación a los Torreones Españoles de Valdivia.* Chile : Universidad Austral de Chile, 2013.

Sepulveda, A. 2009. *Plan de Reconstrucción de Valparaíso 1906-1910: Sus Ideas Urbanas Hacia el Centenario de La República. (Tesis de Licenciatura), Escuela de Historia.* Santiago de Chile : Univercidad Academica de Humanismo Cristiano, 2009.

Sogestone. 2015. mamposteria de piedra . [En línea] 2015. [Citado el: 29 de Diciembre de 2018.] <https://sogestone.com/tecnicas-piedra/mamposteria-de-la-piedra/>.

Sturm, T. 2008. Valparaiso: su patrimonio historico y sismos. *tesis para optar el titulo de Ingeniero.* Valparaiso : s.n., 2008.

Tesouros. 2018. Tesouros del patrimonio cultural de españa . [En línea] 2018. [Citado el: 28 de Diciembre de 2018.] <http://tesouros.mecd.es/tesouros/bienes culturales/1002007.html>.

Torres , M. 2014. *Estructuras.* s.l.: Conselleria de cultura, educacion e ordenacion universitaria, 2014.

unknown. 2010. Sismos que marcaron la historia del Perú. [En línea] 24 de junio de 2010. [Citado el: 29 de Diciembre de 2018.] <http://historiaupc.blogspot.com/>.

Velarde, K. 2014. *Analisis de vulnerabilidad sismica de viviendas de dos pisos de adobe existentes en Lima .* Lima : Universidad Catolica del Peru, 2014.

Wetto, M. sf. ¿Qué es el Diastrofismo? Características y Formas. [En línea] Lifeder.com, sf. [Citado el: 20 de agosto de 2017.] <https://www.lifeder.com/author/milena-wetto/>.

Yepez, F. 1996. *Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras aplicando técnicas de simulación.* Barcelona : s.n., 1996.

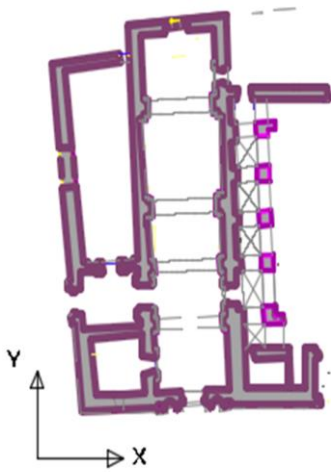

Zavala, C; Vasquez, L; Salinas , R; Proaño, R; Huaco, G. 2003. *Experiencias recientes de evaluación estructural de edificaciones históricas. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil.* Iquitos : s.n., 2003.

Zelaya, V. 2007. *Estudio sobre Diseño Sísmico en Construcciones de Adobe y su Incidencia en la Reducción de Desastres.* Peru : Universidad Nacional Federico Villarreal, 2007.

ANEXOS

ANEXO 01: Ficha de evaluación del método cualitativo de Benedetti y Petrini.

**FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS
EVALUACION DE VULNERABILIDAD SISMICA APLICADO A LA IGLESIA BELEN**

<p>DATOS DE LA EDIFICACIÓN: 0001</p> <p>FECHA DE INSPECCIÓN: 13/01/2018</p> <p>NOMBRE DEL INSPECTOR: ALICIA DIAZ QUIROZ</p> <p>HORA DE INICIO DE TOMA DE DATOS: 9:45 AM</p> <p>HORA FINAL DEL LEVANTAMIENTO: 1:40 PM</p> <p>DIRECCIÓN DE LA EDIFICACIÓN: ENTRE JR. JUNIN Y BELEN</p> <p>COORDENADAS:</p> <p>ESTE : 774242.33</p> <p>NORTE: 9207904.18</p> <p>COTA: 2740</p> <p>Nº DE PISOS: 2</p> <p>AÑO DE CONSTRUCCIÓN: 1744</p> <p>ÁREA TOTAL DE CONSTRUCCIÓN (M2): 1332.8641 M2</p> <p>USO DE LA CONSTRUCCIÓN: CEREMONIAL</p>	<p align="center">ESQUEMA DEL LOTE</p> 
<p>FOTO</p> 	
<p>PARÁMETROS DE EVALUACIÓN</p>	

1.- ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE

A	Construido de acuerdo a normativas sismoresistente
B	Presenta conexiones mediante vigas de amarre y enmarque de muros utilizados para transmitir las cargas verticales aplicadas a los muros en todos los niveles de la estructura
C	No presenta el tipo de conexiones vigas y columnas de confinamiento, pero presentan buena ligazón entre las paredes ortogonales resistentes
D	No presenta tipo de conexiones vigas y columnas de confinamiento, con paredes ortogonales no ligadas o mal ligadas

2.- CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE

A	Mampostería de ladrillo o bloques de buena calidad, mampostería de piedra bien tallada, con unidades homogéneas y de gran tamaño constantes a lo largo de la estructura.
B	Mampostería de ladrillo de bloques o de piedra bien tallada con unidades no muy homogéneas en toda la extensión del muro
C	Sin ligamento entre unidades
D	Mampostería de piedra con unidades muy irregulares y sin trabazón, mampostería de ladrillo que varía calidad, incrustaciones de piezas no homogéneas y de pequeño tamaño, sin ligamento en todo el panel

3.- RESISTENCIA CONVENCIONAL

A	Estructura con un valor de $F_s \geq 1$
B	Estructuras con valores comprendidos entre $0.60 \leq F_s < 1$
C	Estructuras con valores comprendidos entre $0.40 \leq F_s < 0.60$
D	Estructuras con valor $F_s = 0.4$

4.- POSICION DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACION

A	Cimientos sobre terreno estable inferior al 10% y con todo el plano de cimentación a una misma cota. Ausencia de empuje no equilibrado debido a terraplenes.
B	Edificio cimentado sobre roca con pendiente entre el 10% y el 30% o sobre suelo blando con pendiente entre el 10% y el 20%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén
C	Edificio cimentado sobre suelo blando con pendiente entre el 20% y el 30% o sobre suelo rocoso con pendientes entre 30% y un 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

D	Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente mayor a 30% o sobre terreno rocoso con pendiente mayor al 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es superior a 1 metro. Presencia de empuje no quebrado debido a un terraplén.
---	---

5.- DIAFRAGMAS HORIZONTALES

A	Edificio con diafragmas, de cualquier naturaleza, que satisfacen las condiciones: <ol style="list-style-type: none"> 1. Ausencia de planos a desnivel. 2. La deformabilidad del diafragma es despreciable. Se considera despreciable la deformación cuando el porcentaje de abertura en el diagrama es menor de un 30%. 3. La conexión entre el diafragma y los muros es eficaz.
B	Sistemas de diafragma como los de la clase A, pero que no cumplen con la condición 1
C	Sistemas de diafragmas como los de la clase A, pero que no cumplen con las condiciones 1 y 2.
D	Sistemas de diafragmas de cualquier naturaleza cuyos diafragmas no cumplen ninguna de las tres condiciones.

6.- CONFIGURACIÓN EN PLANTA

A	Estructuras con $\beta_1 \geq 0.80$ o' $\beta_2 \leq 0.1$
B	Estructuras con $0.6 \geq \beta_1 < 0.8$ o' $0.1 < \beta_2 \leq 0.2$
C	Estructuras con $0.4 \geq \beta_1 < 0.6$ o' $0.2 < \beta_2 \leq 0.3$
D	Estructuras con $\beta_1 < 0.4$ o' $0.3 < \beta_2$

7.- CONFIGURACIÓN EN ELEVACION

A	Estructuras con $-\Delta A/A < 10\%$
B	Estructuras con una superficie de torreta menor al 10% ó con $10\% \leq -\Delta A/A < 20\%$
C	Estructuras con una superficie de torreta entre el 10% y el 20% ó con $-\Delta A/A > 20\%$ ó $T/H < 2/3$
D	Estructuras con una superficie de torreta mayor al 20% y con $\Delta A/A > 0$ ó con $T/H > 2/3$

8.- ESPACIAMIENTO MAXIMO ENTRE MUROS

A	Estructura con $L/S < 15$,
---	-----------------------------

B	Estructuras con valores $15 \leq L / S < 18$
C	Estructuras con valores $18 \leq L / S < 25$
D	Estructuras con valores de $L/S \geq 25$

9.- TIPO DE CUBIERTA

A	Presencia de cubierta estable con vigas cumbrera o de soporte. Edificio con cubierta plana.
B	Presencia de cubierta estable y bien conectada a los muros, pero sin viga cumbrera. Edificio con cubierta parcialmente estable y provista de viga cumbrera.
C	Presencia de cubierta inestable, provista de viga cumbrera.
D	Presencia de cubierta inestable, sin viga de soporte.

10.- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

A/ B	Edificio con elementos no estructurales, de pequeña dimensión y bien conectados a la estructura principal .
C	Edificio con demasiados elementos no estructurales de pequeña dimensión de peso considerable y mal conectados a la estructura principal, que pueden caer en caso de terremoto.
D	Edificio con elementos no estructurales sin conexión o´ con elementos montados en etapas posteriores a la construcción de la estructura existiendo por ello un vínculo deficiente de dichos elementos a los muros.

11.- ESTADO DE CONSERVACION

A	Muros en buena condición, sin lesiones visibles.
B	Muros que presentan lesiones capilares no extendidas, con excepción de los casos en los cuales dichas lesiones han sido producidas por terremotos.
C	Muros con lesiones de tamaño medio entre 2 a 3 milímetros de ancho o con lesiones capilares producidas por sismos. Edificio que no presenta lesiones pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería.
D	Muros que presentan, un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o, lesiones muy graves de más de 3 milímetros de ancho.

CALIFICACION DE LOS PARAMETROS

i	PARAMETROS	CLASE Ki				Wi	Wi*ki
		A	B	C	D		
1.-	ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE	0	5	20	45	1.00	20
2.-	CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE	0	5	25	45	0.25	0
3.-	RESISTENCIA CONVENCIONAL	0	5	25	45	1.50	0
4.-	POSICION DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACION	0	5	25	45	0.75	0
5.-	DIAFRAGMAS HORIZONTALES	0	5	15	45	1.00	5
6.-	CONFIGURACIÓN EN PLANTA	0	5	25	45	0.50	2.5
7.-	CONFIGURACIÓN EN ELEVACION	0	5	25	45	1.00	25
8.-	ESPACIAMIENTO MAXIMO ENTRE MUROS	0	5	25	45	0.25	0
9.-	TIPO DE CUBIERTA	0	15	25	45	1.00	15
10.-	ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	0	0	25	45	0.25	6.25
11.-	ESTADO DE CONSERVACION	0	5	25	45	1.00	5
							78.75

VI=	78.75
-----	-------

Valor del índice de vulnerabilidad	Escala global de vulnerabilidad
0	Nada vulnerable
0-53	Poco Vulnerable
53-201.25	Medianamente vulnerable
201.25-382.25	Muy vulnerable

ANEXO 02: Ficha de evaluación del método de método cuantitativo, aplicado a las tablas de análisis de Mosqueira y Tarque.

**DIAGNOSTICO PRELIMINAR ADAPTADO A LA IGLESIA
BELEN
FICHA DE REPORTE**

Fecha 23/03/2
encuesta: 018

Antecedentes:

Ubicación: Jr. Junín y Belén
.....

Dirección técnica en el diseño: Arquitecto Joseph Morales Ayala
.....

Dirección técnica en la construcción: Arq. Joseph Morales Ayala, dio la dirección técnica para la construcción del proyecto
.....

Pisos construidos:	2	Pisos proyectados:	2	Antigüedad de la vivienda:	273
--------------------	---	--------------------	---	----------------------------	-----

.....

Topografía y geología: Con pendiente, suelo semirocoso
.....

Estado de la vivienda: La estructura se encuentra en un estado regular de conservación.
.....

.....

Existen rajaduras pequeñas y deterioro de material pétreo, existe presencia de humedad en los muros
.....

.....

y hongos que afectan la calidad y durabilidad de la estructura.
.....

.....

.....

Secuencia de construcción de la vivienda: Cimentaciones muros y columnas, cúpulas y bóvedas.
.....

.....

Aspectos técnicos:

Elementos de la vivienda:

Elemento	Características
Cimientos	Cimiento corrido, aparentemente en buen estado.
Muros	Muros estables con pequeñas fisuras, afectados por la humedad y el desgaste y corrosión de la piedra.

Techo	El techo conformado por cúpulas y bóvedas a base de piedra con juntas de cal, afectada por hongos debido a la humedad.
Columnas	Las columnas de la arquería están en buen estado, de 1.80 cm x 1.70 cm aproximadamente, son del mismo material que los muros.
Vigas	no presenta.

Deficiencias de la estructura:

<input type="checkbox"/> Problemas de ubicación:	Problemas constructivos:
<input type="checkbox"/> Vivienda sobre suelo de relleno	<input type="checkbox"/> Densidad de muros inadecuada
<input type="checkbox"/> Vivienda sobre suelo no consolidado	<input type="checkbox"/> Muros sin viga solera de madera o concreto
<input type="checkbox"/> Vivienda con asentamiento	<input type="checkbox"/> Muros sin confinar resistentes a sismo
<input type="checkbox"/> Vivienda en pendiente	<input type="checkbox"/> Cimientos y/o sobrecimientos inadecuados
<input type="checkbox"/> Otros:	<input type="checkbox"/> Inadecuada junta sísmica
	<input type="checkbox"/> Tabiques no arriostrados
	<input type="checkbox"/> Muros de con ladrillo de piedra no adecuado
Problemas estructurales:	<input type="checkbox"/> Juntas no adecuadas
<input type="checkbox"/> Insuficiente junta sísmica	Otros:
<input type="checkbox"/> Unión junta techo	Mano de obra:
<input type="checkbox"/> Cercos no aislados de la estructura	<input type="checkbox"/> Muy mala <input type="checkbox"/> mala <input type="checkbox"/> regular <input type="checkbox"/> buena
<input type="checkbox"/> Estado de conservación	Otros:
<input type="checkbox"/> Muros en buena condición, sin lesiones visibles.	Humedad en muros y presencia de musgos, pequeñas fisuras en muros,
<input type="checkbox"/> Muros que presentan lesiones capilares no extendidas, con excepción de los casos en los cuales dichas lesiones han sido producidas por terremotos.	desgaste de piedra, corrosión de fachada por el excremento de las aves.
<input type="checkbox"/> Muros con lesiones de tamaño medio entre 2 a 3 milímetros de ancho o con lesiones capilares producidas por sismos. Edificio que no presenta lesiones pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería.	
<input type="checkbox"/> Muros que presentan, un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o lesiones muy graves de más de 3 milímetros de ancho.	

Análisis por sísmico

Tabla de verificación de muro a corte SISMO EN LA DIRECCION X

ESFUERZOS CORTANTES DE MUROS EN X

Identificación de muro	Esfuerzo sísmico a corte kgf/cm ²	Esfuerzo Admisible vadm=3kgf/cm ²
M1X	5.52	Inadecuado
M2X	6.27	Inadecuado
M3X	4.41	Inadecuado
M4X	7.44	Inadecuado
M5X	4.37	Inadecuado
M6X	4.52	Inadecuado
M7X	5.13	Inadecuado
M8X-CONT.	7.04	Inadecuado
M9X-CONT.	9.82	Inadecuado
M10X-CONT.	8.31	Inadecuado
M11X-CONT.	9.28	Inadecuado
M12X	7.07	Inadecuado
M13X	7.42	Inadecuado
M14X	9.68	Inadecuado
M15X	3.67	Inadecuado
NAVE CENTRAL	14.05	Inadecuado

ESFUERZOS CORTANTES DE MUROS EN Y

Identificación de muro	Esfuerzo sísmico a corte kgf/cm ²	Esfuerzo Admisible vadm=3kgf/cm ²
M1Y	2.96	Adecuado
M2Y	3.60	Inadecuado
M3Y	2.48	Adecuado
M4Y	2.23	Adecuado

M5Y	2.03	Adecuado
M6X	4.16	Inadecuado
M7X	2.61	Adecuado
M8Y	2.30	Adecuado
M9Y	4.80	Inadecuado
M10Y	2.54	Adecuado
M11Y	2.84	Adecuado
ARQUERIA	1.01	Adecuado
CUPULA	0.41	Adecuado

SISMO EN LA DIRECCION Y

ESFUERZOS CORTANTES DE MUROS EN X

Identificación de muro	Esfuerzo sísmico a corte kgf/cm2	Esfuerzo Admisible vadm=3kgf/cm2
M1X	2.23	Adecuado
M2X	4.31	Inadecuado
M3X	2.51	Adecuado
M4X	1.06	Adecuado
M5X	2.63	Adecuado
M6X	1.32	Adecuado
M7X	0.94	Adecuado
M8X-CONT.	1.35	Adecuado
M9X-CONT.	1.75	Adecuado
M10X-CONT.	0.88	Adecuado
M11X-CONT.	1.88	Adecuado
M12X	1.00	Adecuado
M13X	2.32	Adecuado
M14X	1.19	Adecuado
M15X	2.32	Adecuado
NAVE CENTRAL	3.69	Inadecuado

ESFUERZOS CORTANTES DE MUROS EN Y

Identificación de muro	Esfuerzo sísmico a corte kgf/cm ²	Esfuerzo Admisible vadm=3kgf/cm ²
M1Y	2.62	Adecuado
M2Y	3.88	Inadecuado
M3Y	1.43	Adecuado
M4Y	5.54	Inadecuado
M5Y	4.87	Inadecuado
M6X	4.72	Inadecuado
M7X	5.05	Inadecuado
M8Y	4.06	Inadecuado
M9Y	5.36	Inadecuado
M10Y	4.87	Inadecuado
M11Y	5.78	Inadecuado
ARQUERIA	2.24	Adecuado
CUPULA	3.52	Inadecuado

Tabla de desplazamientos máximos

SISMO EN LA DIRECCION X

Identificación	Desplazamiento	Desplazamiento
	máximo	Admisible
	mm	5 mm
Muros en X	18.99	No cumple
Muros en Y	13.75	No cumple

SISMO EN LA DIRECCION Y

Identificación	Desplazamiento	Desplazamiento
	máximo	Admisible
	mm	5 mm
Muros en X	4.10	Cumple
Muros en Y	18.52	No cumple

Análisis por peso propio

Tabla de esfuerzos de compresión

ESFUERZOS DE COMPRESION DE MUROS EN X

Identificación de muro	Esfuerzo De compresión kgf/cm ²	Esfuerzo Admisible vadm=50kgf/cm ²
M1X	2.03	Adecuado
M2X	1.87	Adecuado
M3X	1.62	Adecuado
M4X	1.03	Adecuado
M5X	1.11	Adecuado
M6X	1.01	Adecuado
M7X	1.78	Adecuado
M8X-CONT.	0.83	Adecuado
M9X-CONT.	1.08	Adecuado
M10X-CONT.	1.15	Adecuado
M11X-CONT.	1.23	Adecuado
M12X	1.43	Adecuado
M13X	1.15	Adecuado
M14X	1.29	Adecuado
M15X	1.01	Adecuado
NAVE CENTRAL	3.17	Adecuado

ESFUERZOS DE COMPRESION DE MUROS EN Y

Identificación de muro	Esfuerzo De compresión kgf/cm ²	Esfuerzo Admisible vadm=50kgf/cm ²
M1Y	1.43	Adecuado
M2Y	1.34	Adecuado
M3Y	2.36	Adecuado
M4Y	2.73	Adecuado
M5Y	1.64	Adecuado
M6X	1.01	Adecuado
M7X	1.27	Adecuado
M8Y	0.64	Adecuado
M9Y	1.38	Adecuado
M10Y	5.21	Adecuado
M11Y	4.11	Adecuado
ARQUERIA	5.61	Adecuado
CUPULA	3.08	Adecuado

FACTORES INFLUYENTES EN EL RESULTADO (Vulnerabilidad Sísmica)									
Comportamiento estructural				No estructural					
Esfuerzos cortantes		Desplazamientos		Esfuerzos de compresión		Calidad de mano de obra y materiales		Estado de conservación	
Adecuada:		Adecuada:		Adecuada:	X	Buena calidad		Adecuada:	
Aceptable:		Aceptable:		Aceptable:		Regular calidad	X	Aceptable:	X
Inadecuada:	X	Inadecuada:	X	Inadecuada:		Mala calidad		Inadecuada:	

Calificación	
Vulnerabilidad :	Alta

ANEXO 03: Hoja de calibración de instrumentos de laboratorio.



PERÚ

Presidencia
del Consejo de Ministros

INDECOPÍ

Registro de la Propiedad Industrial

Dirección de Signos Distintivos

CERTIFICADO N° 00102926

La Dirección de Signos Distintivos del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPÍ, certifica que por mandato de la Resolución N° 020280-2017/DSD - INDECOPÍ de fecha 29 de septiembre de 2017, ha quedado inscrito en el Registro de Marcas de Servicio, el siguiente signo:

Signo : La denominación GUERSAN INGENIEROS SRL y logotipo (se reivindica colores), conforme al modelo adjunto

Distingue : Servicios científicos y tecnológicos, así como servicios de investigación y diseño en estos ámbitos; servicios de análisis e investigación industriales; diseño y desarrollo de equipos informáticos y de software

Clase : 42 de la Clasificación Internacional.

Solicitud : 0713930-2017

Titular : GUERSAN INGENIEROS S.R.L.

País : Perú

Vigencia : 29 de septiembre de 2027

Tomo : 0515

Folio : 140

RAY MELONI GARCIA
Director
Dirección de Signos Distintivos
INDECOPÍ

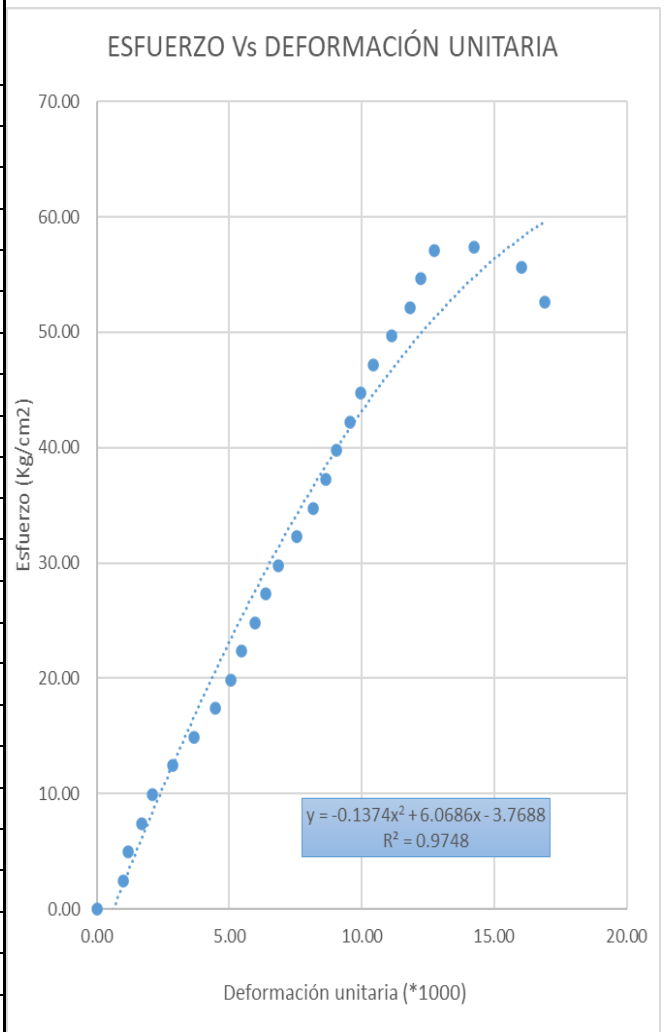
ANEXO 04: Datos de ensayo de muestras sin alterar.

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : M-1
 LARGO (cm) : 10.13
 ALTURA (mm) : 100.52

ANCHO (cm) : 10.13

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.50	0.10	0.99	2.48
5.00	0.12	1.19	4.97
7.50	0.17	1.69	7.45
10.00	0.21	2.09	9.93
12.50	0.29	2.89	12.42
15.00	0.37	3.68	14.90
17.50	0.45	4.48	17.38
20.00	0.51	5.07	19.87
22.50	0.55	5.47	22.35
25.00	0.60	5.97	24.83
27.50	0.64	6.37	27.32
30.00	0.69	6.86	29.80
32.50	0.76	7.56	32.29
35.00	0.82	8.16	34.77
37.50	0.87	8.66	37.25
40.00	0.91	9.05	39.74
42.50	0.96	9.55	42.22
45.00	1.00	9.98	44.70
47.50	1.05	10.45	47.19
50.00	1.12	11.14	49.67
52.50	1.19	11.84	52.15
55.00	1.23	12.24	54.64
57.50	1.28	12.73	57.12
57.74	1.43	14.23	57.36
56.00	1.61	16.02	55.63
53.00	1.70	16.91	52.65



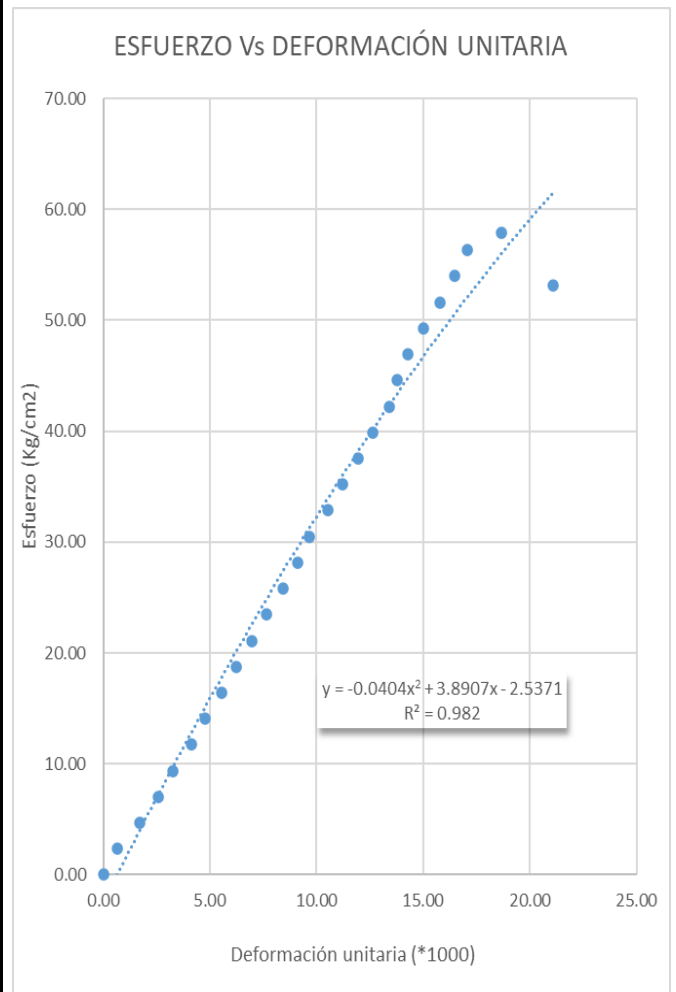
ESFUERZO DE ROTURA = 57.36 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 56.06 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : M-2
 LARGO (cm) : 10.44
 ALTURA (mm) : 104.43

ANCHO (cm) : 10.41

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.50	0.07	0.67	2.35
5.00	0.18	1.72	4.69
7.50	0.27	2.59	7.04
10.00	0.34	3.26	9.39
12.50	0.43	4.12	11.73
15.00	0.50	4.79	14.08
17.50	0.58	5.55	16.43
20.00	0.65	6.22	18.77
22.50	0.73	6.99	21.12
25.00	0.80	7.66	23.46
27.50	0.88	8.43	25.81
30.00	0.95	9.10	28.16
32.50	1.01	9.67	30.50
35.00	1.10	10.53	32.85
37.50	1.17	11.20	35.20
40.00	1.25	11.97	37.54
42.50	1.32	12.64	39.89
45.00	1.40	13.41	42.24
47.50	1.44	13.79	44.58
50.00	1.49	14.27	46.93
52.50	1.57	15.03	49.28
55.00	1.65	15.80	51.62
57.50	1.72	16.47	53.97
60.00	1.78	17.04	56.31
61.65	1.95	18.67	57.86
56.57	2.20	21.07	53.10



ESFUERZO DE ROTURA = 57.86 Kg/cm2

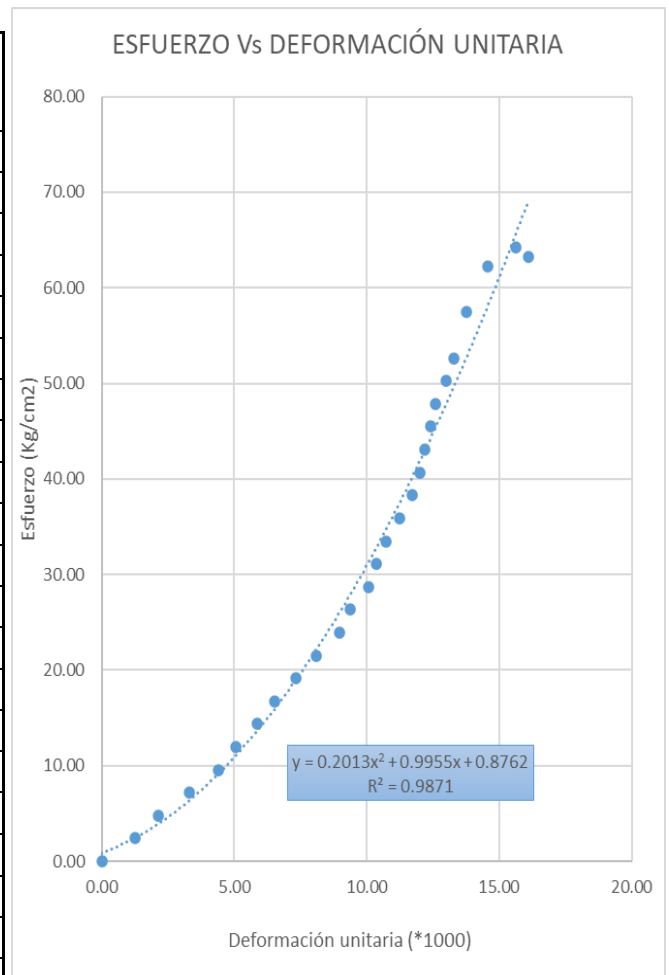
ESFUERZO DE ROTURA
 CORREGIDO = 53.67 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : M-3
 LARGO (cm) : 10.33
 ALTURA (mm) : 102.40

ANCHO (cm) : 10.31

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.50	0.13	1.27	2.39
5.00	0.22	2.15	4.79
7.50	0.34	3.32	7.18
10.00	0.45	4.39	9.57
12.50	0.52	5.08	11.96
15.00	0.60	5.86	14.36
17.50	0.67	6.54	16.75
20.00	0.75	7.32	19.14
22.50	0.83	8.11	21.54
25.00	0.92	8.98	23.93
27.50	0.96	9.38	26.32
30.00	1.03	10.06	28.71
32.50	1.06	10.35	31.11
35.00	1.10	10.74	33.50
37.50	1.15	11.23	35.89
40.00	1.20	11.72	38.29
42.50	1.23	12.01	40.68
45.00	1.25	12.21	43.07
47.50	1.27	12.40	45.46
50.00	1.29	12.60	47.86
52.50	1.33	12.99	50.25
55.00	1.36	13.28	52.64
60.00	1.41	13.77	57.43
65.00	1.49	14.55	62.22
67.16	1.60	15.63	64.28
66.06	1.65	16.11	63.23



ESFUERZO DE ROTURA = 64.28 Kg/cm2

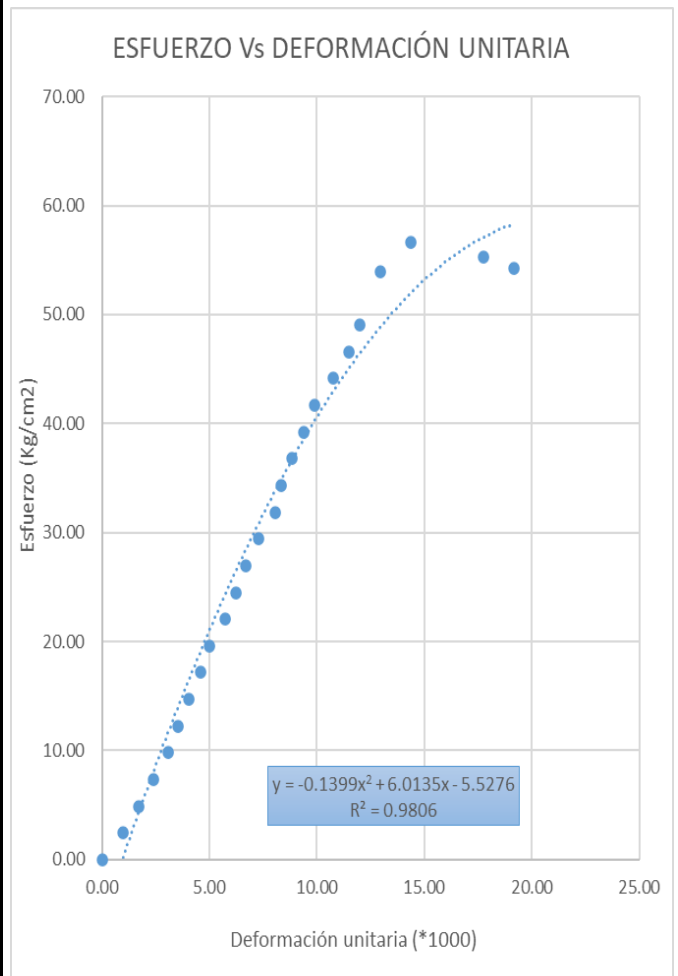
ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 57.49 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : M-4
 LARGO (cm) : 10.18
 ALTURA (mm) : 104.23

ANCHO (cm) : 10.21

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.50	0.10	0.96	2.45
5.00	0.18	1.73	4.90
7.50	0.25	2.40	7.36
10.00	0.32	3.07	9.81
12.50	0.37	3.55	12.26
15.00	0.42	4.03	14.71
17.50	0.48	4.61	17.16
20.00	0.52	4.99	19.62
22.50	0.60	5.76	22.07
25.00	0.65	6.24	24.52
27.50	0.70	6.72	26.97
30.00	0.76	7.29	29.42
32.50	0.84	8.06	31.87
35.00	0.87	8.35	34.33
37.50	0.92	8.83	36.78
40.00	0.98	9.40	39.23
42.50	1.03	9.88	41.68
45.00	1.12	10.75	44.13
47.50	1.20	11.51	46.59
50.00	1.25	11.99	49.04
55.00	1.35	12.95	53.94
57.74	1.50	14.39	56.63
56.40	1.85	17.75	55.32
55.28	2.00	19.19	54.22



ESFUERZO DE ROTURA = 56.63 Kg/cm²

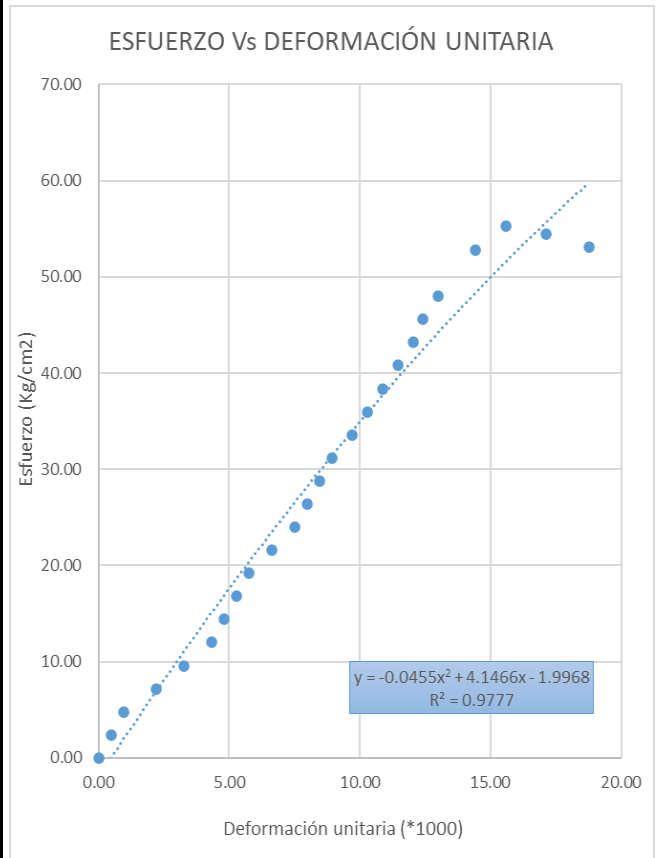
ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 53.78 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : M-5
 LARGO (cm) : 10.37
 ALTURA (mm) : 103.90

ANCHO (cm) : 10.25

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.50	0.05	0.48	2.40
5.00	0.10	0.96	4.80
7.50	0.23	2.21	7.20
10.00	0.34	3.27	9.60
12.50	0.45	4.33	12.00
15.00	0.50	4.81	14.39
17.50	0.55	5.29	16.79
20.00	0.60	5.77	19.19
22.50	0.69	6.64	21.59
25.00	0.78	7.51	23.99
27.50	0.83	7.99	26.39
30.00	0.88	8.47	28.79
32.50	0.93	8.95	31.19
35.00	1.01	9.72	33.59
37.50	1.07	10.30	35.99
40.00	1.13	10.88	38.39
42.50	1.19	11.45	40.79
45.00	1.25	12.03	43.18
47.50	1.29	12.42	45.58
50.00	1.35	12.99	47.98
55.00	1.50	14.44	52.78
57.57	1.62	15.59	55.25
56.74	1.78	17.13	54.45
55.28	1.95	18.77	53.05



ESFUERZO DE ROTURA = 55.25 Kg/cm2

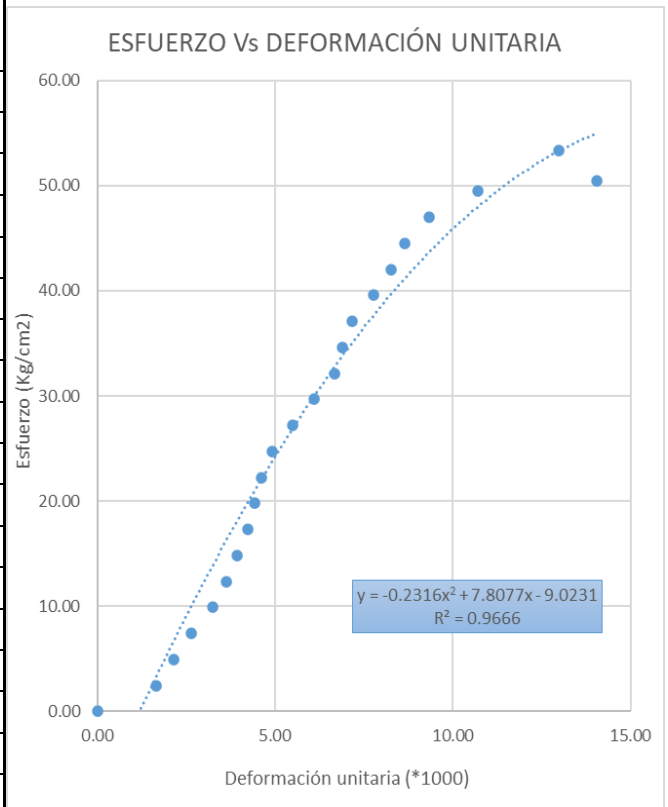
ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 52.91 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : M-6
 LARGO (cm) : 10.17
 ALTURA (mm) : 101.70

ANCHO (cm) : 10.14

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.50	0.17	1.67	2.47
5.00	0.22	2.16	4.95
7.50	0.27	2.65	7.42
10.00	0.33	3.24	9.89
12.50	0.37	3.64	12.37
15.00	0.40	3.93	14.84
17.50	0.43	4.23	17.32
20.00	0.45	4.42	19.79
22.50	0.47	4.62	22.26
25.00	0.50	4.92	24.74
27.50	0.56	5.51	27.21
30.00	0.62	6.10	29.68
32.50	0.68	6.69	32.16
35.00	0.70	6.88	34.63
37.50	0.73	7.18	37.11
40.00	0.79	7.77	39.58
42.50	0.84	8.26	42.05
45.00	0.88	8.65	44.53
47.50	0.95	9.34	47.00
50.00	1.09	10.72	49.47
53.94	1.32	12.98	53.37
51.00	1.43	14.06	50.46



ESFUERZO DE ROTURA = 53.37 Kg/cm²

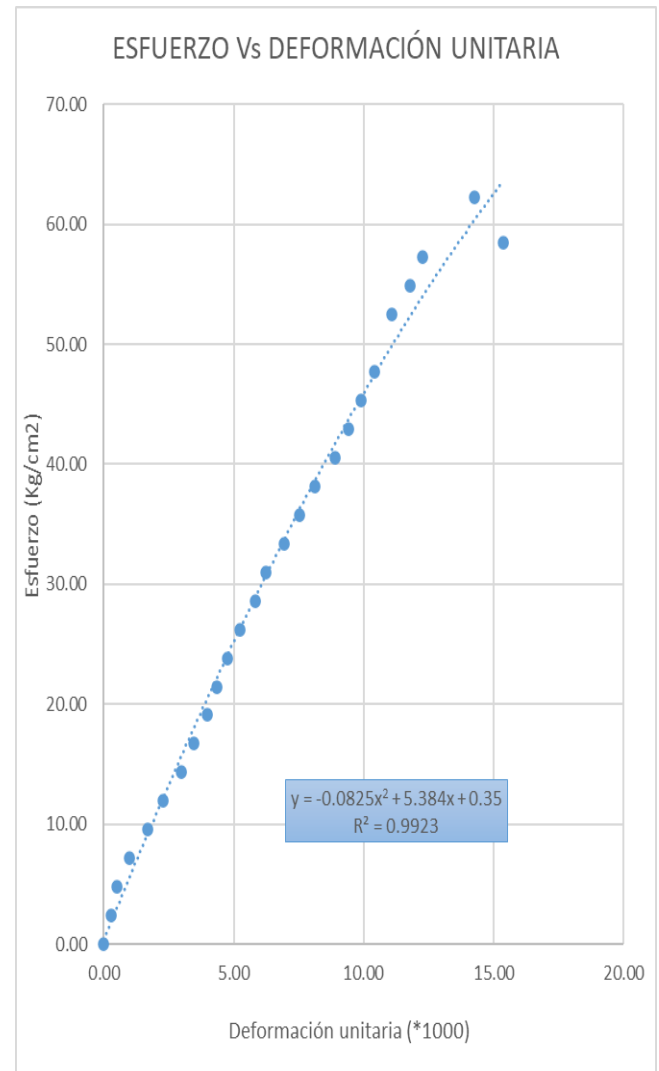
ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 55.12 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : M-7
 LARGO (cm) : 10.37
 ALTURA (mm) : 100.93

ANCHO (cm) : 10.31

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.50	0.03	0.30	2.39
5.00	0.05	0.50	4.77
7.50	0.10	0.99	7.16
10.00	0.17	1.68	9.54
12.50	0.23	2.28	11.93
15.00	0.30	2.97	14.31
17.50	0.35	3.47	16.70
20.00	0.40	3.96	19.08
22.50	0.44	4.36	21.47
25.00	0.48	4.76	23.85
27.50	0.53	5.25	26.24
30.00	0.59	5.85	28.62
32.50	0.63	6.24	31.01
35.00	0.70	6.94	33.39
37.50	0.76	7.53	35.78
40.00	0.82	8.12	38.16
42.50	0.90	8.92	40.55
45.00	0.95	9.41	42.93
47.50	1.00	9.91	45.32
50.00	1.05	10.40	47.70
55.00	1.12	11.10	52.47
57.57	1.19	11.79	54.93
60.00	1.24	12.29	57.24
65.23	1.44	14.27	62.23
61.24	1.55	15.36	58.42



ESFUERZO DE ROTURA =
 ESFUERZO DE ROTURA
 CORREGIDO =

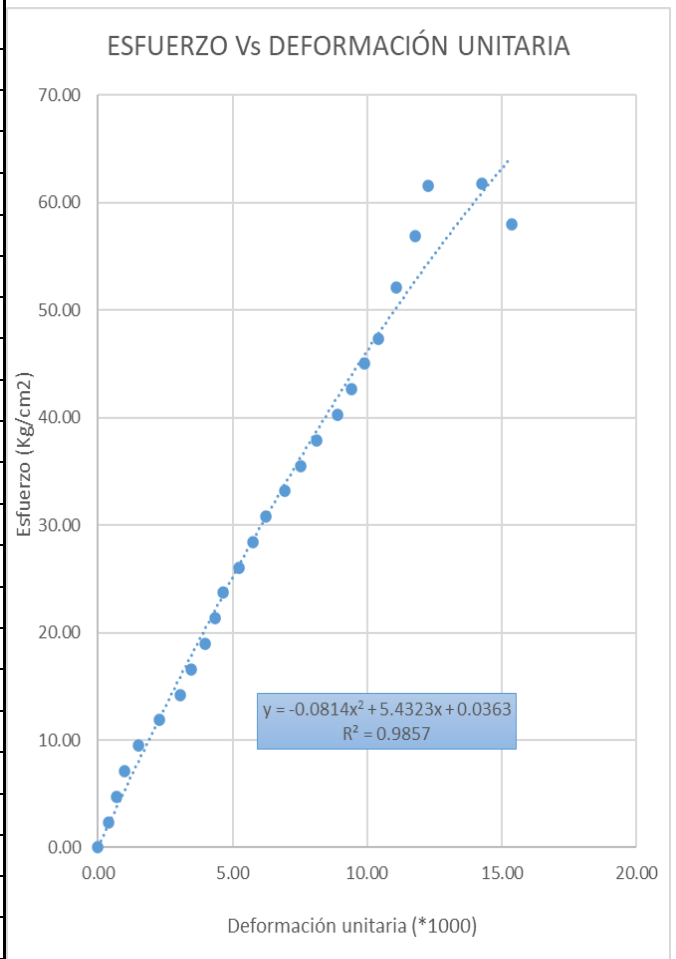
62.23 Kg/cm2
 60.17 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : M-8
 LARGO (cm) : 10.40
 ALTURA (mm) : 101.60

ANCHO (cm) : 10.35

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.50	0.04	0.40	2.37
5.00	0.07	0.69	4.74
7.50	0.10	0.99	7.11
10.00	0.15	1.49	9.48
12.50	0.23	2.28	11.85
15.00	0.31	3.07	14.21
17.50	0.35	3.47	16.58
20.00	0.40	3.96	18.95
22.50	0.44	4.36	21.32
25.00	0.47	4.66	23.69
27.50	0.53	5.25	26.06
30.00	0.58	5.75	28.43
32.50	0.63	6.24	30.80
35.00	0.70	6.94	33.17
37.50	0.76	7.53	35.54
40.00	0.82	8.12	37.91
42.50	0.90	8.92	40.27
45.00	0.95	9.41	42.64
47.50	1.00	9.91	45.01
50.00	1.05	10.40	47.38
55.00	1.12	11.10	52.12
60.00	1.19	11.79	56.86
65.00	1.24	12.29	61.60
65.23	1.44	14.27	61.81
61.25	1.55	15.36	58.04



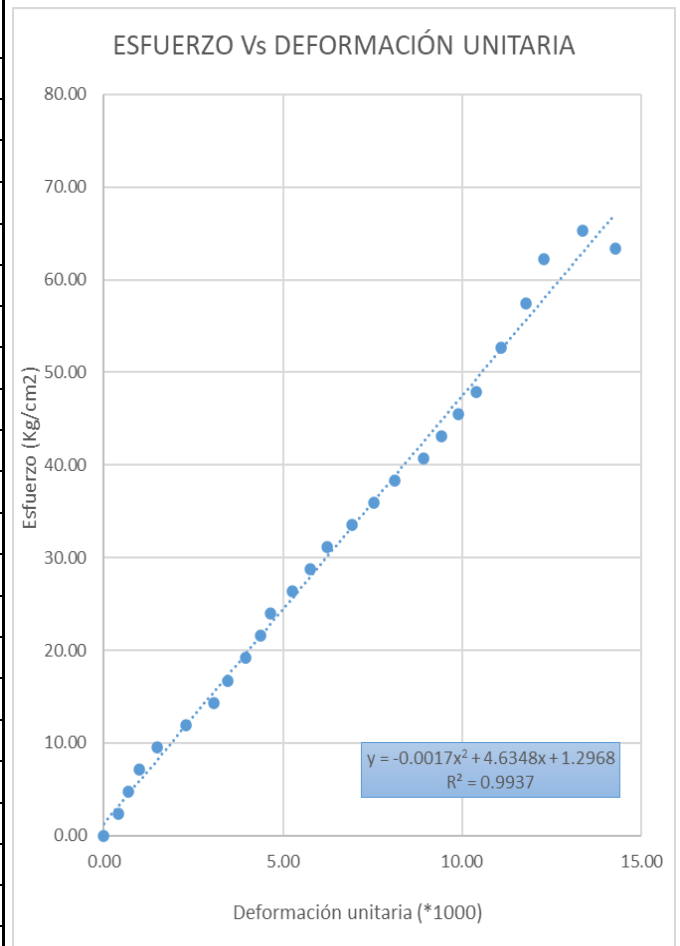
ESFUERZO DE ROTURA = 61.81 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 60.95 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : M-9
 LARGO (cm) : 10.31
 ALTURA (mm) : 104.53

ANCHO (cm) : 10.34

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.50	0.04	0.40	2.39
5.00	0.07	0.69	4.79
7.50	0.10	0.99	7.18
10.00	0.15	1.49	9.57
12.50	0.23	2.28	11.96
15.00	0.31	3.07	14.36
17.50	0.35	3.47	16.75
20.00	0.40	3.96	19.14
22.50	0.44	4.36	21.54
25.00	0.47	4.66	23.93
27.50	0.53	5.25	26.32
30.00	0.58	5.75	28.71
32.50	0.63	6.24	31.11
35.00	0.70	6.94	33.50
37.50	0.76	7.53	35.89
40.00	0.82	8.12	38.29
42.50	0.90	8.92	40.68
45.00	0.95	9.41	43.07
47.50	1.00	9.91	45.46
50.00	1.05	10.40	47.86
55.00	1.12	11.10	52.64
60.00	1.19	11.79	57.43
65.00	1.24	12.29	62.22
68.25	1.35	13.38	65.33
66.24	1.44	14.27	63.40



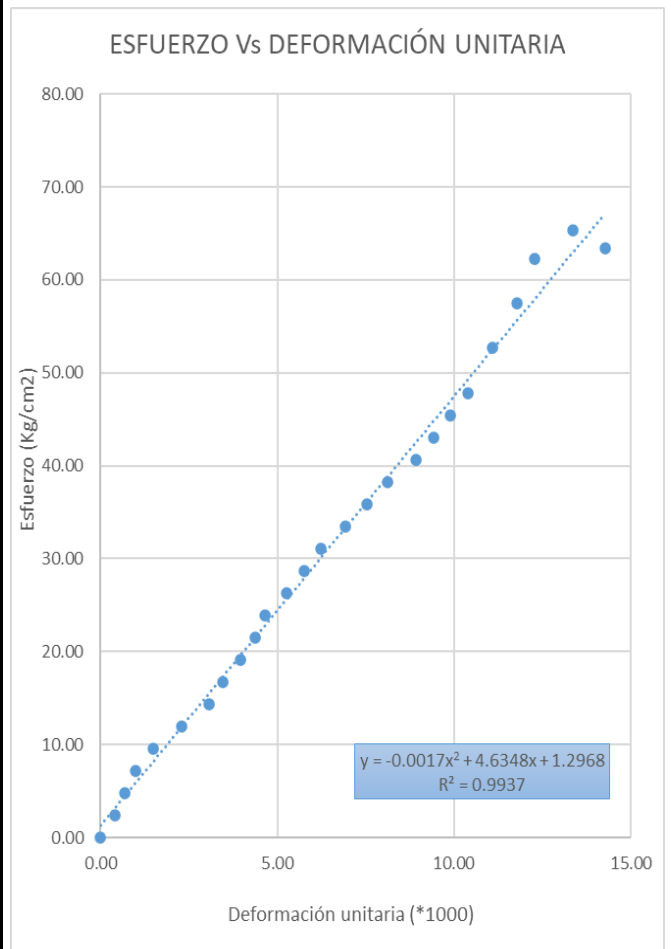
ESFUERZO DE ROTURA = 65.33 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 61.70 Kg/cm2

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : M-10
 LARGO (cm) : 10.34
 ALTURA (mm) : 104.60

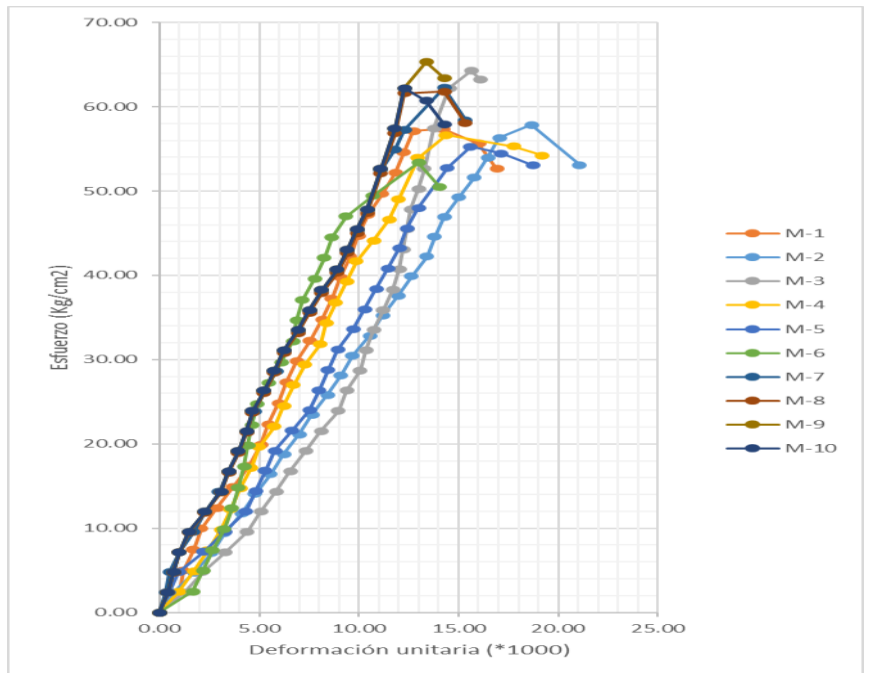
ANCHO (cm) : 10.37

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
2.50	0.04	0.40	2.39
5.00	0.07	0.69	4.79
7.50	0.10	0.99	7.18
10.00	0.15	1.49	9.57
12.50	0.23	2.28	11.96
15.00	0.31	3.07	14.36
17.50	0.35	3.47	16.75
20.00	0.40	3.96	19.14
22.50	0.44	4.36	21.54
25.00	0.47	4.66	23.93
27.50	0.53	5.25	26.32
30.00	0.58	5.75	28.71
32.50	0.63	6.24	31.11
35.00	0.70	6.94	33.50
37.50	0.76	7.53	35.89
40.00	0.82	8.12	38.29
42.50	0.90	8.92	40.68
45.00	0.95	9.41	43.07
47.50	1.00	9.91	45.46
50.00	1.05	10.40	47.86
55.00	1.12	11.10	52.64
60.00	1.19	11.79	57.43
65.00	1.24	12.29	62.22
63.45	1.35	13.38	60.73
60.53	1.44	14.27	57.94



ESFUERZO DE ROTURA = 62.22 Kg/cm2
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 56.70 Kg/cm2

RESUMEN	
Nº DE MUESTRA	Resistencia
M1	56.06 Kg/cm ²
M2	53.67 Kg/cm ²
M3	57.49 Kg/cm ²
M4	53.78 Kg/cm ²
M5	52.91 Kg/cm ²
M6	55.12 Kg/cm ²
M7	60.17 Kg/cm ²
M8	60.95 Kg/cm ²
M9	61.70 Kg/cm ²
M10	56.70 Kg/cm ²
PROMEDIO	56.86 Kg/cm²



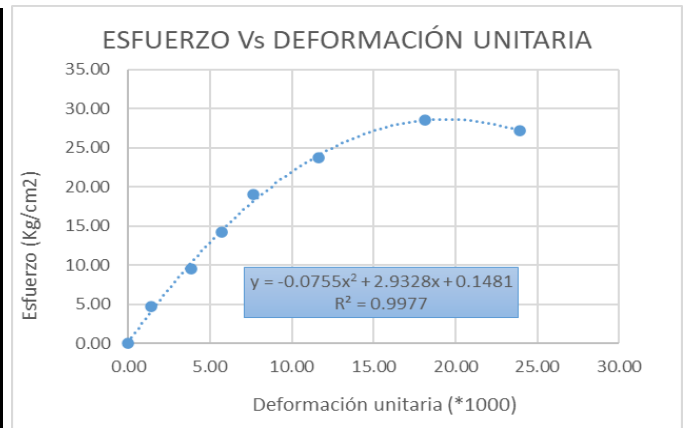
ANEXO 05: Datos de ensayo de muestras alteradas por factores climáticos.

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : M1-A
 LARGO (cm) : 10.34
 ALTURA (mm) : 104.60

ANCHO (cm) : 10.37

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	0.15	1.43	4.76
10.00	0.40	3.82	9.51
15.00	0.60	5.74	14.27
20.00	0.80	7.65	19.02
25.00	1.22	11.66	23.78
30.00	1.90	18.16	28.53
28.54	2.50	23.90	27.14



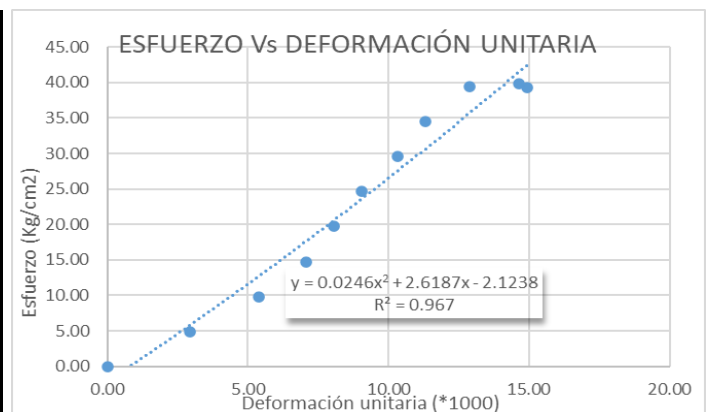
ESFUERZO DE ROTURA = 28.53 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 28.50 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : M2-A
 LARGO (cm) : 10.20
 ALTURA (mm) : 101.67

ANCHO (cm) : 10.16

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	0.30	2.95	4.92
10.00	0.55	5.41	9.84
15.00	0.72	7.08	14.76
20.00	0.82	8.07	19.68
25.00	0.92	9.05	24.60
30.00	1.05	10.33	29.52
35.00	1.15	11.31	34.44
40.00	1.31	12.89	39.36
40.51	1.49	14.66	39.86
39.90	1.52	14.95	39.26



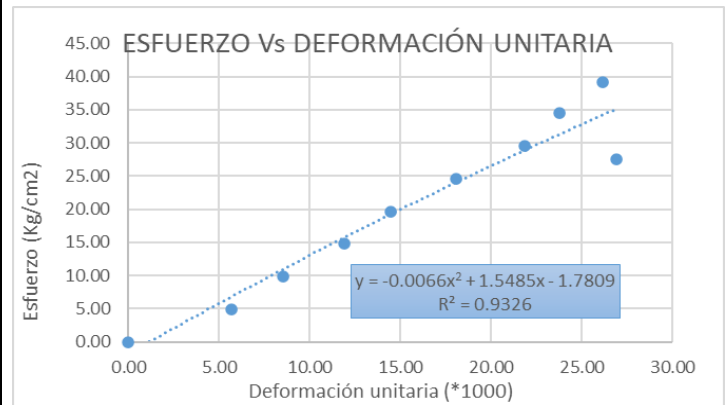
ESFUERZO DE ROTURA = 39.86 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 44.24 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : MA-3
 LARGO (cm) : 10.17
 ALTURA (mm) : 105.13

ANCHO (cm) : 10.18

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	0.60	5.71	4.92
10.00	0.90	8.56	9.85
15.00	1.25	11.89	14.77
20.00	1.52	14.46	19.69
25.00	1.90	18.07	24.62
30.00	2.30	21.88	29.54
35.00	2.50	23.78	34.46
39.74	2.75	26.16	39.13
28.00	2.83	26.92	27.57



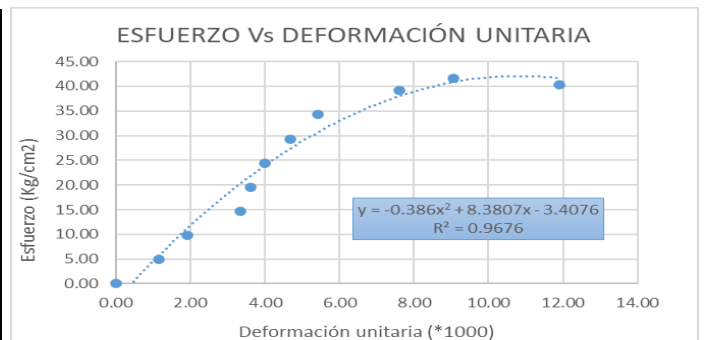
ESFUERZO DE ROTURA = 39.13 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 35.59 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : M4-A
 LARGO (cm) : 10.25
 ALTURA (mm) : 104.97

ANCHO (cm) : 10.17

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	0.12	1.14	4.89
10.00	0.20	1.91	9.78
15.00	0.35	3.33	14.67
20.00	0.38	3.62	19.56
25.00	0.42	4.00	24.46
30.00	0.49	4.67	29.35
35.00	0.57	5.43	34.24
40.00	0.80	7.62	39.13
42.52	0.95	9.05	41.59
41.25	1.25	11.91	40.35



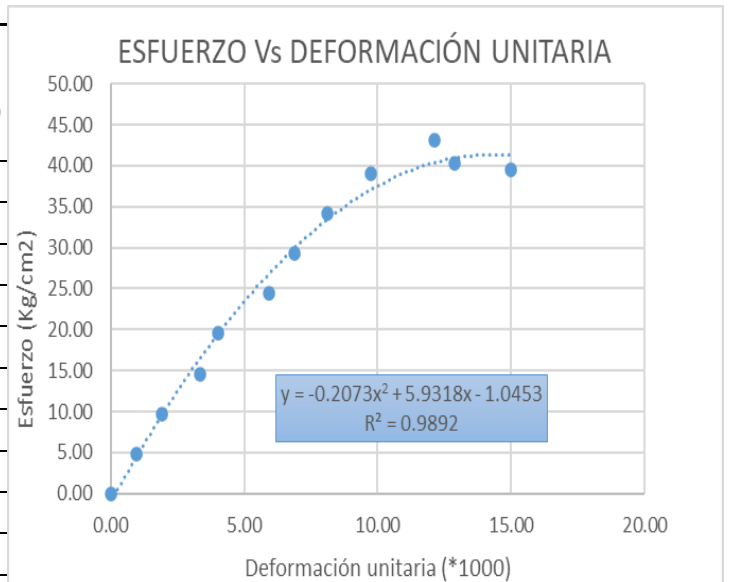
ESFUERZO DE ROTURA = 41.59 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 41.34 Kg/cm²

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

CODIGO DEL ESPECIMEN : M5-A
 LARGO (cm) : 10.26
 ALTURA (mm) : 104.80

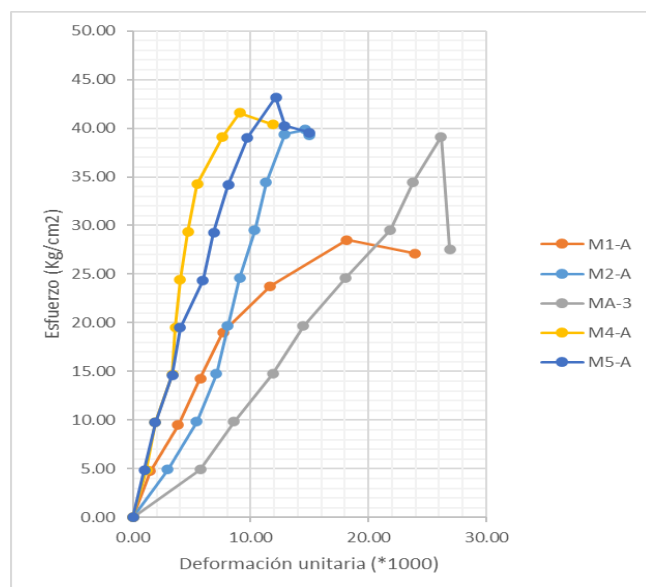
ANCHO (cm) : 10.19

Carga (KN)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm ²)
0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	0.10	0.95	4.88
10.00	0.20	1.91	9.76
15.00	0.35	3.34	14.63
20.00	0.42	4.01	19.51
25.00	0.62	5.92	24.39
30.00	0.72	6.87	29.27
35.00	0.85	8.11	34.15
40.00	1.02	9.73	39.03
44.25	1.27	12.12	43.17
41.25	1.35	12.88	40.25
40.52	1.57	14.98	39.53

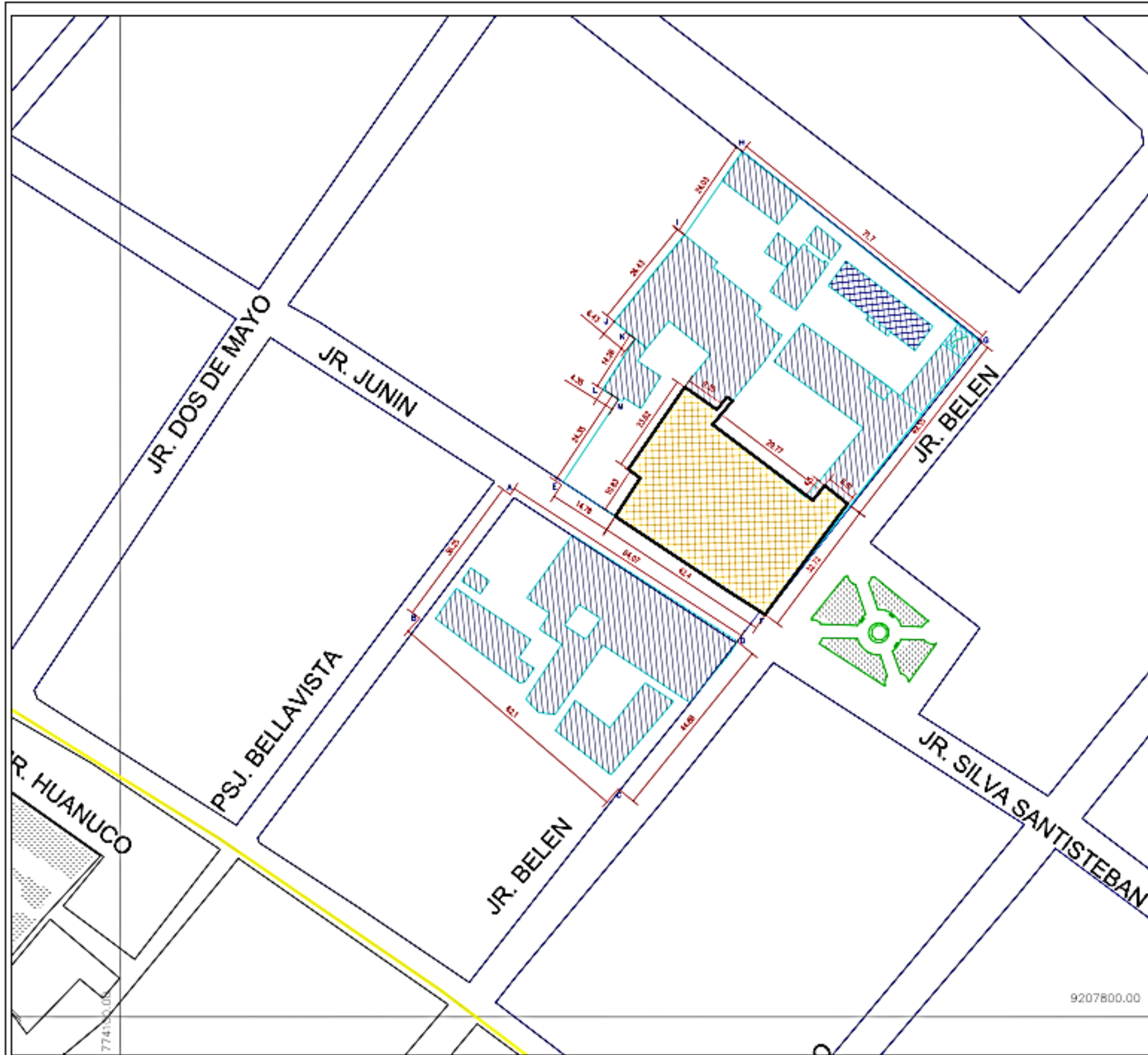


ESFUERZO DE ROTURA = 43.17 Kg/cm²
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 40.55 Kg/cm²

RESUMEN	
Nº DE MUESTRA	Resistencia
MA- 1	28.50 Kg/cm ²
MA- 2	44.24 Kg/cm ²
MA- 3	35.59 Kg/cm ²
MA- 4	41.34 Kg/cm ²
MA- 5	40.55 Kg/cm ²
PROMEDIO	38.04 Kg/cm²



ANEXO 06: Plano de ubicación



UBICACION



UBICACION DE LA IGLESIA

LEYENDA

	A1	Área de Iglesia Belen
	A2	Área de complejo monumental de Belen

CUADRO DE AREAS DE LA IGLESIA

NIVEL 01	1437,26 m ²
NIVEL 02	1437,26 m ²
Área total	2874,52 m ²

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Escuela de Postgrado

(ORIENTACIÓN)

(ASESOR)

DR. MIGUEL ANGEL MOSQUERA MORENO

(MENCIÓN)

INGENIERIA CIVIL

(PROYECTO)

"EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA IGLESIA BELEN DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA-2017"

(UNIVERSIDAD)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

(PLANO)

UBICACION

(FECHA)

JULIO - 2019

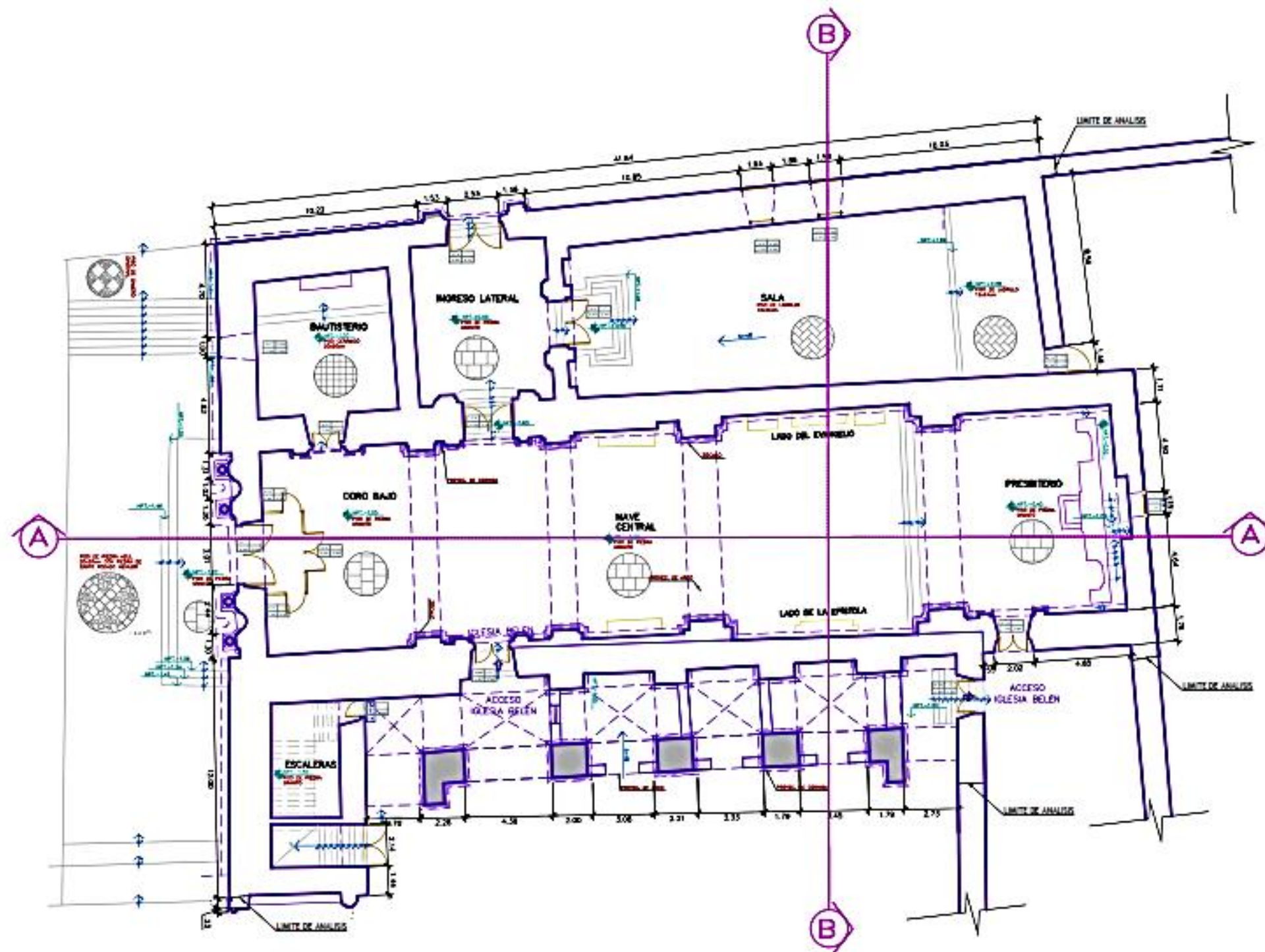
(REGION)	CAJAMARCA	(PROVINCIA)	CAJAMARCA
(CITY)	CAJAMARCA		

(ESCALA)	1/1000	(LÁMINA)	U-1
----------	--------	----------	-----

9207800.00

774130.00

ANEXO 07: Plano de planta primer nivel



PLANO DE PRIMER NIVEL ESC: 1/250

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CAJAMARCA



ORIENTACIÓN



ACCESORIO

DR. MIGUEL ANGEL
MOQUEIRA MORENO

INGENIERO

INGENIERIA CIVIL

PROYECTO

EVALUACION DE LA
VULNERABILIDAD SISMICA DE LA
IGLESIA BELEN DE LA CIUDAD DE
CAJAMARCA- 2017

UNIVERSIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CAJAMARCA

PLANO

PLANTA
PRIMER NIVEL

FECHA

JULIO - 2019

REGION

CAJAMARCA

PROVINCIA

CAJAMARCA

DISTRITO

CAJAMARCA

ESCALA

1/250

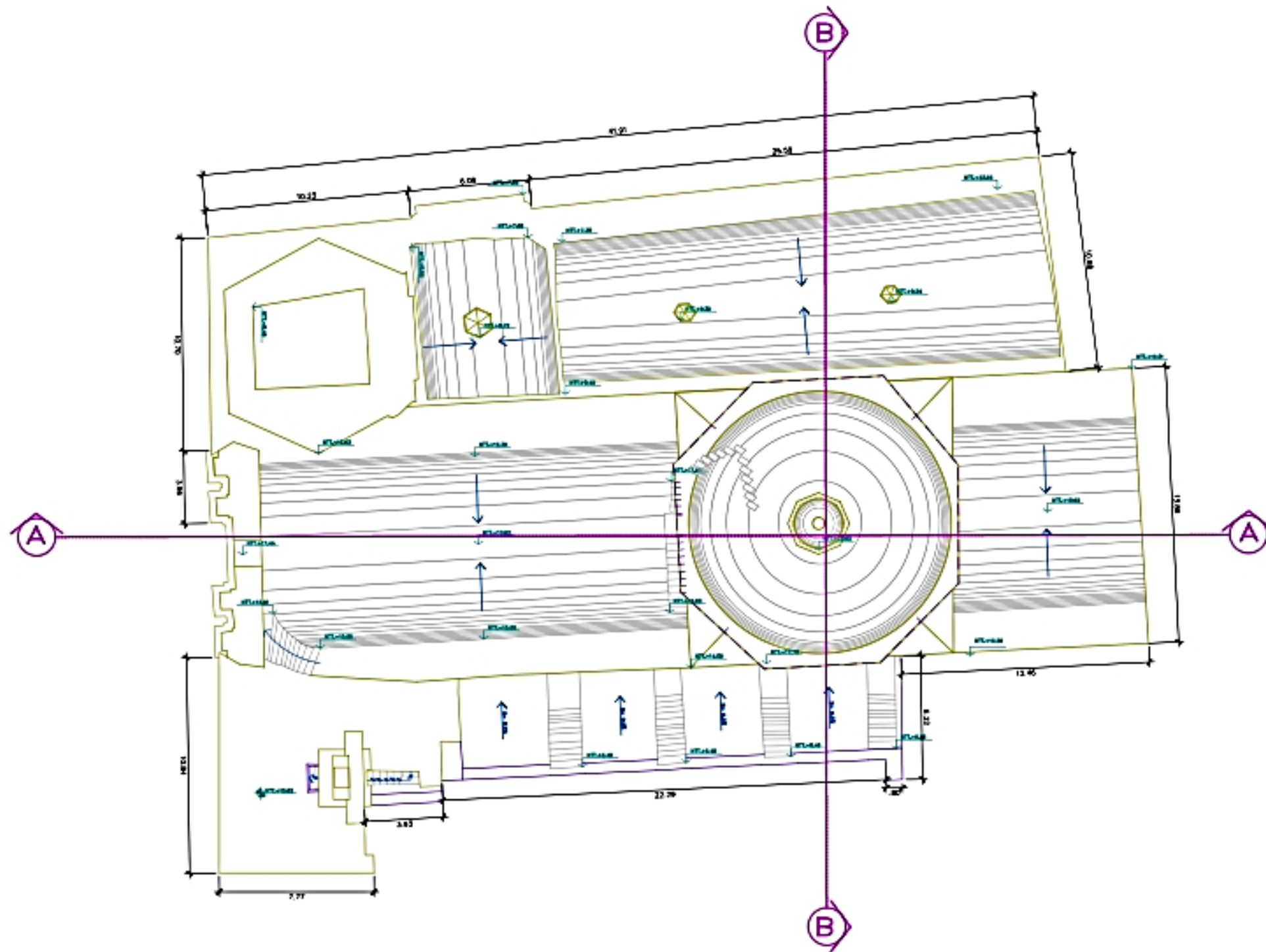
LÁMINA

A-1

ANEXO 08: Plano de planta segundo nivel

ANEXO 09: Plano de planta tercer nivel

ANEXO 10: Plano de techo



PLANO DE TECHOS

ESC: 1/250

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CAJAMARCA



[ORIENTACIÓN]



[ACCESOR]

DR. MIGUEL ANGEL
MORQUEIRA MORENO

[MENCIÓN]

INGENIERIA CIVIL

[PROYECTO]

EVALUACION DE LA
VULNERABILIDAD SISMICA DE LA
IGLESIA BELEN DE LA CIUDAD DE
CAJAMARCA- 2017

[UNIVERSIDAD]

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CAJAMARCA

[PLANO]

TECHOS

[FECHA]

JULIO - 2019

[REGION]

CAJAMARCA

[PROVINCIA]

CAJAMARCA

[DISTRITO]

CAJAMARCA

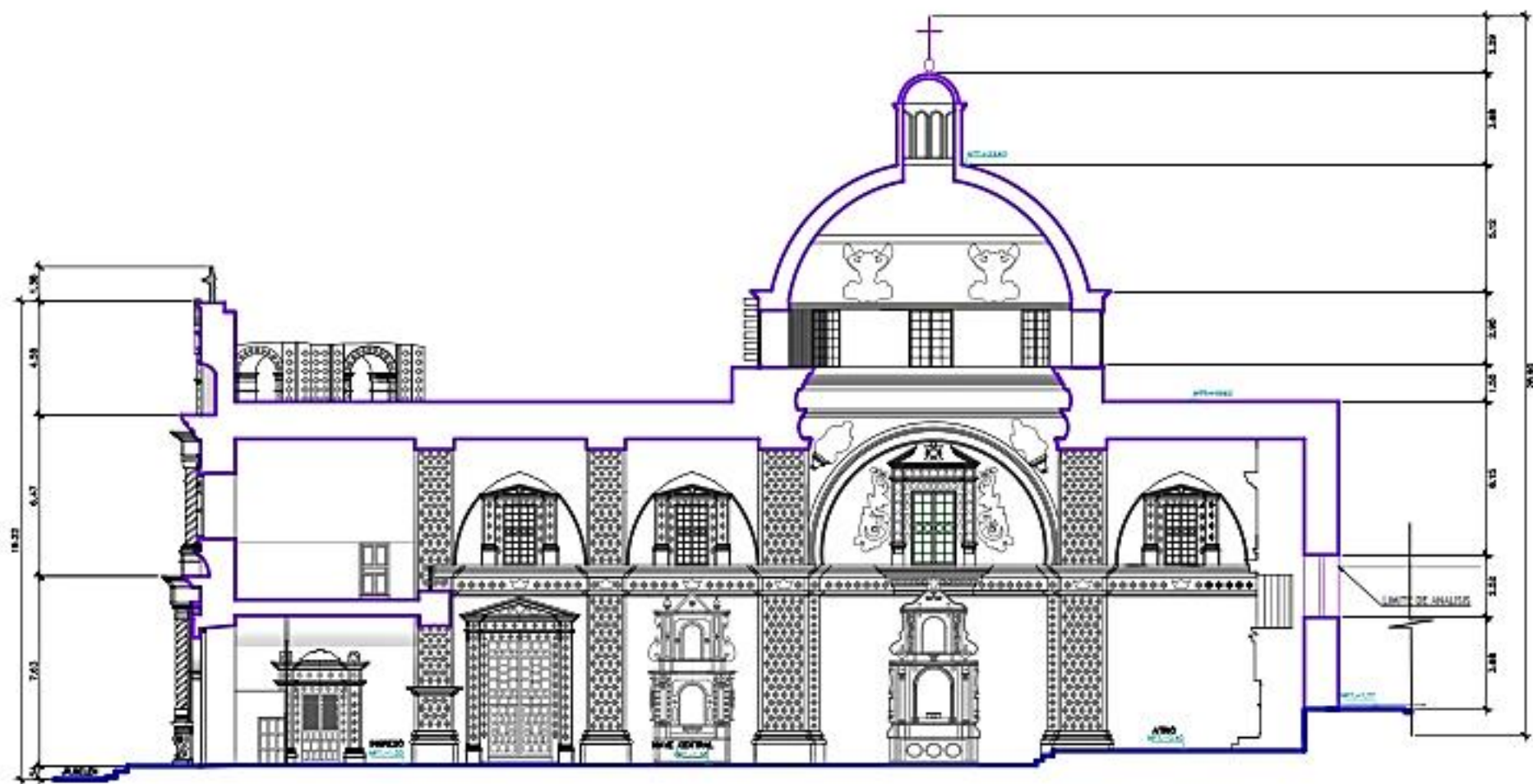
[ESCALA]

1/250

[LÁMINA]

A-4

ANEXO 11: Plano de corte A-A



CORTE A-A ESC: 1/250

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CAJAMARCA



ORIENTACIÓN:



ACCESOR:

DR. MIGUEL ANGEL
MOQUEIRA MORENO

MECENIC:

INGENIERIA CIVIL

PROYECTO:

"EVALUACION DE LA
VULNERABILIDAD SISMICA DE LA
IGLESIA BELEN DE LA CIUDAD DE
CAJAMARCA- 2017"

UNIVERSIDAD:

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CAJAMARCA

PLANO:

CORTE A-A

FECHA:

JULIO - 2019

REGION:

CAJAMARCA

PROVINCIA:

CAJAMARCA

DISTRITO:

CAJAMARCA

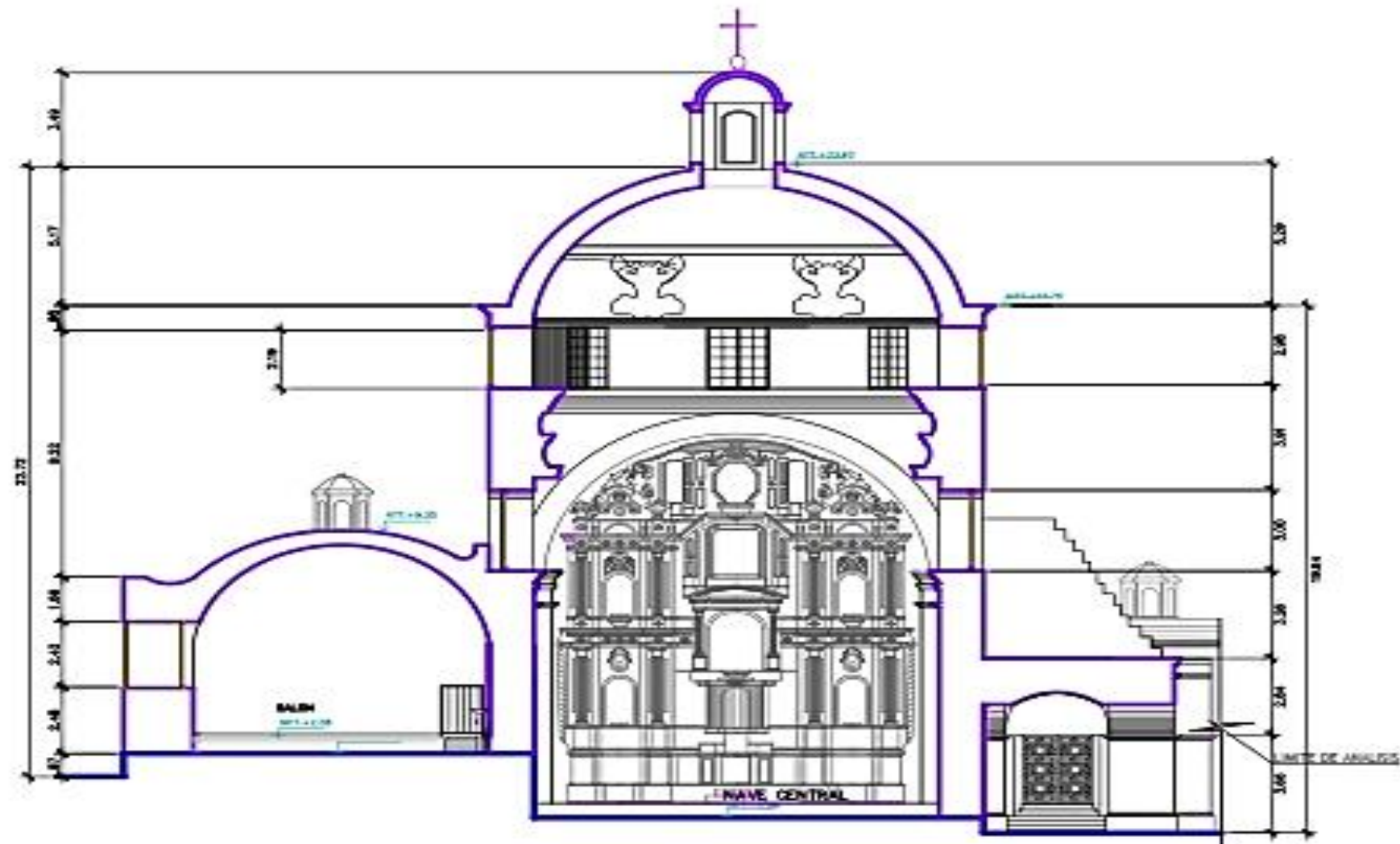
ESCALA:

1/250

LÁMINA:

A-5

ANEXO 13: Plano de corte B-B



CORTE B-B ESC: 1/250

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CAJAMARCA



(ORIENTACION)



(ASESOR)

DR. MIGUEL ANGEL
MOQUEIRA MORENO

(MENCION)

INGENIERIA CIVIL

(PROYECTO)

"EVALUACION DE LA
VULNERABILIDAD SISMICA DE LA
IGLESIA BELEN DE LA CIUDAD DE
CAJAMARCA- 2017"

(UNIVERSIDAD)

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CAJAMARCA

(PLANO)

CORTE B-B

(FECHA)

JULIO - 2019

(REGION)

CAJAMARCA

(PROVINCIA)

CAJAMARCA

(DISTRITO)

CAJAMARCA

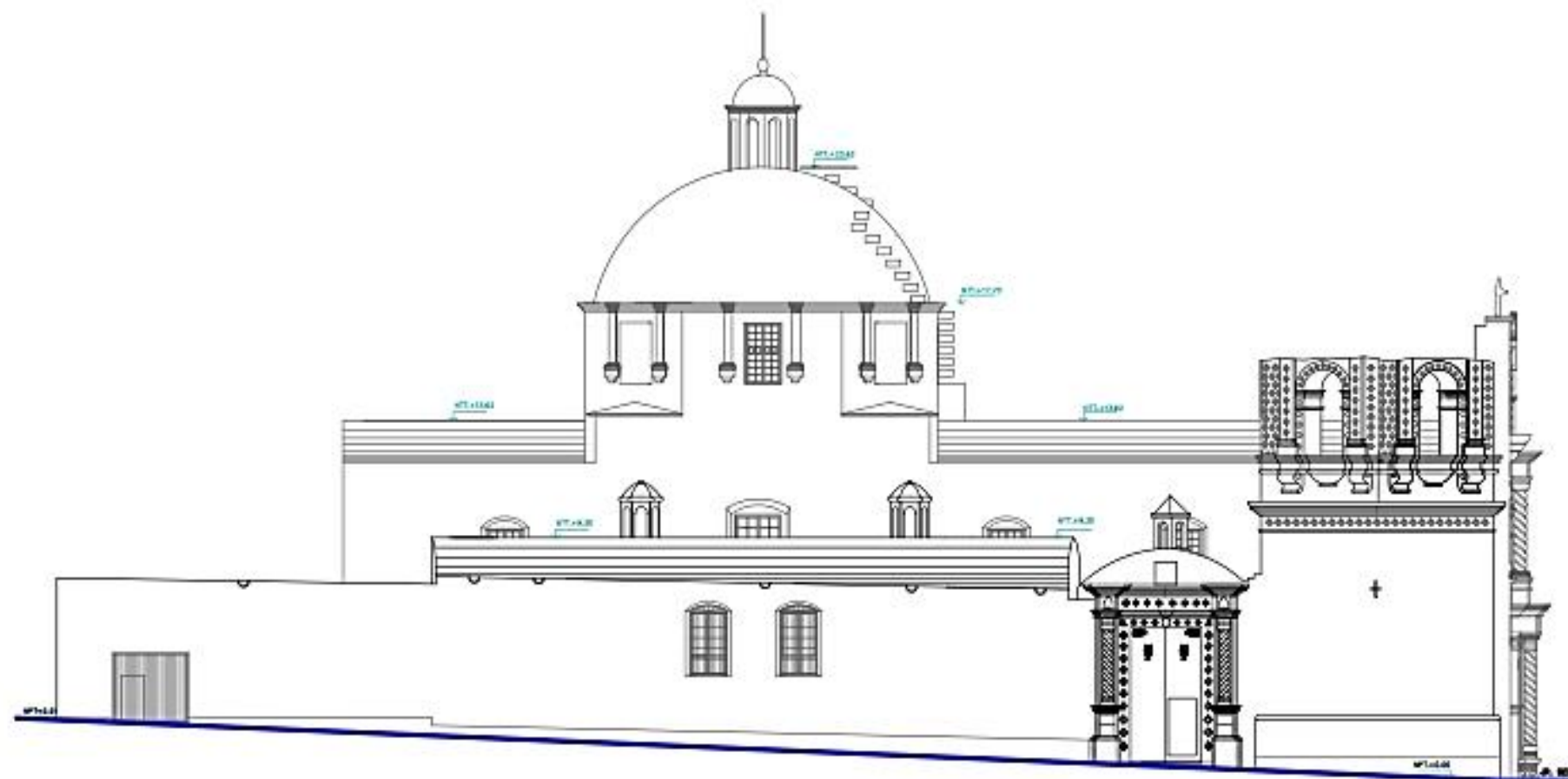
(ESCALA)

1/250

(LAMINA)

A-6

ANEXO 14: Plano de elevación principal



ELEVACION LATERAL ESC: 1/250

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



ORIENTACIÓN:



AUTOR: DR. MIGUEL ANGEL MOQUEIRA MORENO

ESPECIALIDAD: INGENIERIA CIVIL

TÍTULO: EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE LA IGLESIA BELEN DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA- 2017

UNIVERSIDAD: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

TÍTULO: ELEVACION PRINCIPAL

FECHA: JULIO - 2019

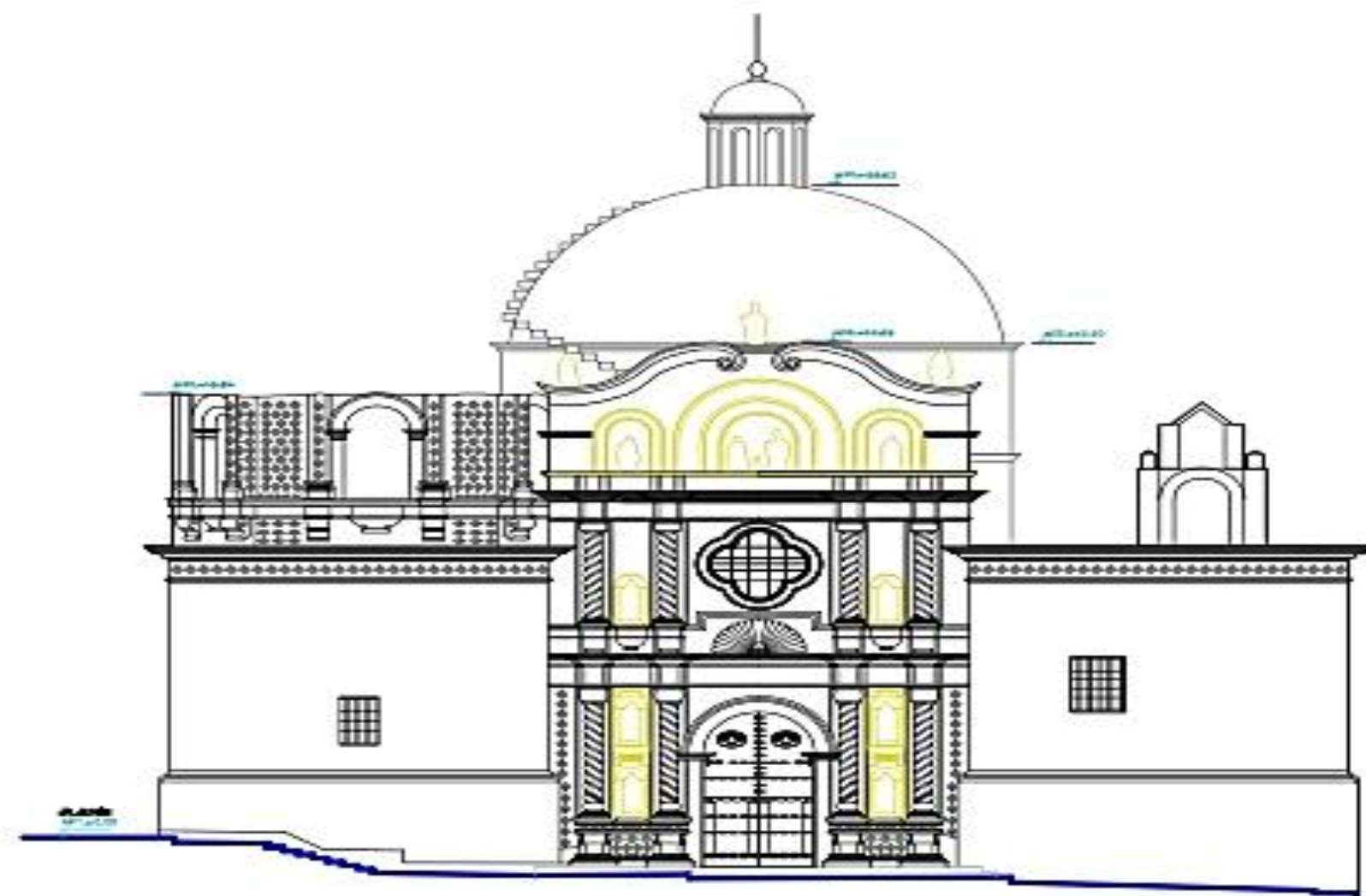
REGION: CAJAMARCA PROVINCIA: CAJAMARCA

DISTRITO: CAJAMARCA

ESCALA: 1/250

LÁMINA: A-7

ANEXO 15: Plano de elevación lateral

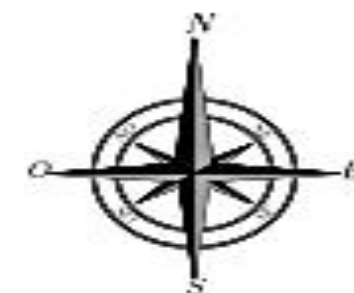


ELEVACION PRINCIPAL ESC: 1/250

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



[ORIENTACIÓN]



[ASESOR]

DR. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO

[MENCION]

INGENIERIA CIVIL

[PROYECTO]

"EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE LA IGLESIA BELEN DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA- 2017"

[UNIVERSIDAD]

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

[PLANO]

ELEVACION LATERAL

[FECHA]

JULIO - 2019

[REGION]

CAJAMARCA

[PROVINCIA]

CAJAMARCA

[DISTRITO]

CAJAMARCA

[ESCALA]

1/250

[LÁMINA]

A-8