

DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN SÍSMICA PRELIMINAR DE LA CATEDRAL METROPOLITANA DE SUCRE

Cuellar, M.¹, Arizaga, A.², Arraya, C.³, Bellido, L.⁴, Romero, D.⁵,

- 1 Docente Investigador en el área de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR, 573, Sucre, Bolivia. E-mail: mirkocuellar2405@gmail.com.
- 2 Técnico Superior en Construcción Civil, Estudiante Egresado en el área de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR, 573, Sucre, Bolivia. E-mail: alejan386@gmail.com
- 3 Investigadora en el Área de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR, 573, Sucre, Bolivia. E-mail: Carolfaby18@gmail.com.
- 4 Investigador en el Área de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR, 573, Sucre, Bolivia. E-mail: luisfernandobellidojim@gmail.com.
- 5 Investigadora en el Área de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR, 573, Sucre, Bolivia. E-mail: romerofloresdanitza27@gmail.com

Recibido: 11/10/2023

Aceptado:

Publicado:

RESUMEN

En la presente investigación se quiere determinar la vulnerabilidad sísmica de la catedral metropolitana de Sucre, una estructura expuesta a los duros efectos de los años y a los desastres naturales, estos son problemas muy serios que como consecuencia generan riesgo de colapso y extinción. El estudio de la seguridad estructural de este tipo de edificaciones es de vital importancia, por su apreciación dentro de la sociedad al ser parte de la historia del lugar. De este modo es necesario que el proyecto estructural esté basado en la “comprensión total” del comportamiento estructural del inmueble, así como de las características de sus materiales. Así mismo, el diagnóstico y evaluación de la seguridad deben estar basados tanto en información histórica, como en criterios adecuados para la conservación de las edificaciones históricas.

En la ciudad de Sucre contamos con muchas infraestructuras de piedra, sobre todo en el casco viejo, gran parte de estas infraestructuras son, edificaciones patrimoniales, que fueron escenarios de gran importancia y valor histórico a nivel nacional, tanto cultural, como también patrimonial.

Para analizar la Catedral Metropolitana De Sucre se realizará modelaciones con respuesta sísmica, se tomará con mayor relevancia el atrio central para que pueda ser evaluada en forma independiente del resto de la estructura. La idea de la modelación central surge cuando se presentan mecanismos de daño. Éstos se forman cuando el daño en la estructura crea secciones con comportamientos similares al de cuerpos rígidos. De esta forma, el daño actúa en forma de articulación o desliga el elemento del resto de la estructura.

Los resultados obtenidos de un modelo sirven de base para una mejor concepción del otro modelo, el cual puede utilizar una herramienta de análisis diferente. Así mismo, combinando los resultados de los diferentes modelos, es posible obtener una mejor y más completa estimación del comportamiento estructural de un edificio histórico.

Palabras clave: Vulnerabilidad, Riesgo Sísmico, Patrimonio Cultural, Edificios Históricos.

ABSTRACT

In the present investigation we want to determine the seismic vulnerability of the Sucre Metropolitan Cathedral, a structure exposed to the harsh effects of the years and natural disasters, these are very serious problems that as a consequence generate a risk of collapse and extinction. The study of the structural safety of this type of buildings is of vital importance, due to its appreciation within society as it is part of the history of the place. In this way, it is necessary that the structural project is based on the "total understanding" of the structural behavior of the property, as well as the characteristics of its materials. Likewise, the diagnosis and evaluation of safety must be based both on historical information and on appropriate criteria for the conservation of historic buildings.

In the city of Sucre we have many stone infrastructures, especially in the old town, a large part of these infrastructures are heritage buildings, which were scenes of great importance and historical value at the national level, both cultural and heritage.

To analyze the Metropolitan Cathedral of Sucre, modeling with seismic response will be carried out, the central atrium will be taken with greater relevance so that it can be evaluated independently from the rest of the structure. The idea of central modeling arises when damage mechanisms are presented. These are formed when the damage in the structure creates sections with behavior similar to that of rigid bodies. In this way, the damage acts as an articulation or separates the element from the rest of the structure.

The results obtained from one model serve as the basis for a better conception of the other model, which can use a different analysis tool. Likewise, by combining the results of the different models, it is possible to obtain a better and more complete estimate of the structural behavior of a historic building.

Key words: Vulnerability, Seismic Risk, Cultural Heritage, Historic Building

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se encuentra las definiciones que nos ayudara a comprender el comportamiento de la estructura durante un sismo de una Edificación Patrimonial

SISMOLOGÍA

La Sismología encarga del estudio de los terremotos y la transmisión de ondas elásticas que se encuentra en el exterior e interior de la tierra, así mismo dando información de la estructura interna de la Tierra. Durante su estudio fue evolucionando de una manera satisfactoria que actualmente se pueden realizar estructuras antisísmicas.

Los registros más destacados en la historia fueron:

1. En 1664 Athanasius Kircher propuso que los terremotos serian causados por el movimiento del fuego dentro de un sistema de canales que existe dentro de la tierra.
2. En 1703 Martin Lister y Nicolas Lemery propusieron que los terremotos serian causados por explosiones químicas.
3. En 1755 fue donde creció más interés por entender el comportamiento y la causa de los terremotos, con las aportaciones de John Bevis y Jhon Michell que dieron el concepto que los terremotos eran ondas de movimientos causadas por masas de rocas que se mueven en el interior de la tierra.
4. En 1857 Robert Mallet fundo la Sismología Instrumental en que se llevó a cabo experimentos a base de explosivos.
5. En 1897 se obtuvo los cálculos teóricos de Emil Wiechert.
6. En 1906 Richard Dixon Oldham identifico las Ondas P, las Ondas S, y las ondas de Superficie en los sismogramas.
7. En 1910 Harold Jeffreys fue el primero en descubrir basándose en el estudio de las ondas sísmicas que el núcleo de la tierra en liquida
8. En 1960 se hizo el desarrollo de la teoría de las placas tectónicas, en el que se concretan conceptos en ciencias de la tierra.

VULNERABILIDAD SÍSMICA

Según (Barbat, 1998) el concepto de vulnerabilidad sísmica es indispensable en estudios sobre riesgo sísmico y para la mitigación de desastres por terremotos. Se entiende por riesgo sísmico, el grado de pérdidas esperadas que sufren las estructuras durante el lapso de tiempo que permanecen expuestas a la acción sísmica. A dicho lapso de tiempo se le denomina período de exposición o periodo de vida útil de la estructura. Por otra parte, la mitigación de los desastres, en el ámbito de la ingeniería, corresponde a la totalidad de las acciones que tienen como objetivo la mejora del comportamiento sísmico de los edificios de una zona, a fin de reducir los costes de los daños esperados durante el terremoto.

(Dolce et al., 1994). Menciona que, en la actualidad, los análisis de la vulnerabilidad sísmica de las diferentes estructuras existentes en nuestro medio, esto es: edificios, componentes de líneas vitales, estructuras esenciales y centrales nucleares entre otras, se encuentran en un nivel avanzado debido al trabajo realizado por investigadores y técnicos en los últimos 20 años.

MAGNITUDES DE LA ESCALA RICHTER. - Para su mejor comprensión en la energía disipada se hará una comparación con la energía de una detonación de TNT.

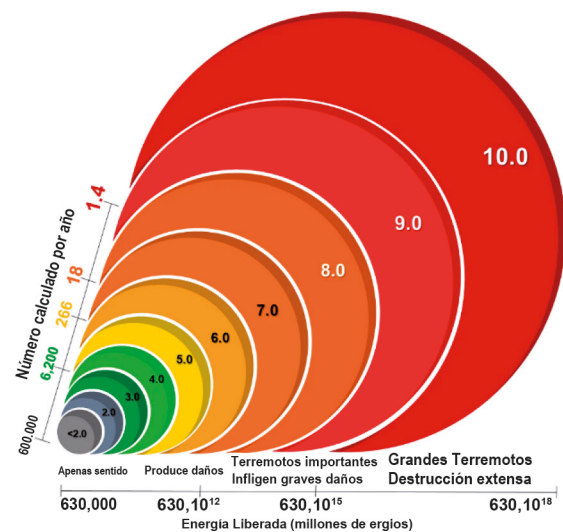


Figura 1: Efectos según la escala Richter.
Fuente: Revista ciencias de la tierra.

SISMICIDAD EN BOLIVIA

Los Sismos en Bolivia son de manera moderada que no cuentan con un registro extenso, solo fueron registrados los que ocasionaron grandes daños estructurales que se llevaron vidas humanas.

Sismos Históricos en Bolivia más importantes:

Terremoto 23 de marzo de 1899

- El mes de marzo de 1899 se produjo un temblor de magnitud 7.00 en la escala de Richter, en la región chaqueña dejando consecuencias funestas en la capital yacuibeña, dicho movimiento sísmico fue sentido en la ciudad de Tarija. Se pudo sentir el movimiento del suelo, ocasionando el derrumbe de todos los edificios, dejando así varios heridos y grietas en los suelos de alta profundidad.

Terremoto 23 de julio de 1909

- El 23 de julio de 1909 en Sipe Sipe, hubo un movimiento telúrico provocó 15 muertos y la destrucción de varias viviendas.

Terremoto Aiquile 22 de mayo de 1998

- El terremoto de Aiquile de 1998 fue considerado el peor del siglo XX de Bolivia, dando un riesgo alto de destrucción a la Ciudad.

SUCRE PATRIMONIO CULTURAL DE LA HUMANIDAD

Sucre recibió el Título de Patrimonio Cultural de la humanidad por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la ciencia y la Cultura Por sus valores históricos culturales y de mantenimiento de su estilo Arquitectónico Colonial.

Cuenta con numerosas Iglesias conservadas de su época de la primera mitad del siglo XVI como son: San Lázaro, San Francisco, Santo Domingo, y la Catedral, que ilustran la mezcla de tradiciones arquitectónicas locales con los estilos importados de Europa.

REGISTROS SÍSMICOS DE SUCRE

Año	Mes	Día	Magnitud (Mb)	Intensidad (MM)	Observaciones
1650	11	10	6.4	VIII	La Bóveda de la catedral de Sucre es destruida.
1884	11	27	5.8	VI	Destrozos en Tarabuco.
1948	3	27	6.1	VII	Destrucción en la ciudad de Sucre, muerta y heridos.
1985	3	19	5.4	VI	En Monteagudo hubo derrumbes.
1994	6	9	8.1	VI	Sismo Profundo, Sentido en casi todo Bolivia
2017	2	21	6.5	IV	Debido a la profundidad fue casi imperceptible.

Tabla 1: Registro de sismos suscitados en Sucre
Fuente: Observatorio de San Calixto

Sucre se encuentra en una zona sísmica considerada roja, debido a los registros sísmicos históricos suscitados en la ciudad, los siguientes datos fueron proporcionados por el Observatorio de San Calixto para enfocar e idealizar un escenario sísmico.

EDIFICACIONES PATRIMONIALES DAÑADAS REGISTRADAS:

El terremoto más fuerte suscitado en nuestra ciudad fue en marzo de 1948, ésta fue la más destructiva en la ciudad, entre las instituciones e infraestructuras más dañadas fueron:



Figura 2: Varias casas y edificios públicos sufrieron el embate del temblor de 1948 y tuvieron que ser reconstruidos
Fuente: Correo del Sur

Iglesia Santo Domingo

Se dañó de forma irreparable esta significativa edificación colonial, la bóveda de la nave central ha sido desplomada en gran parte, arrastrando consigo valiosas arañas de luces de cristal. De igual forma se afectaron las bóvedas laterales, columnas y el coro.

El colegio Sagrado Corazón

Los muros fueron cuarteados, tabiques rotos, cornisas desplomadas, etc. Gran parte del internado tuvo que rehacerse, así como también la iglesia Santa Mónica, que se encuentra ahí mismo.

Templo Santa Clara

Los muros sufrieron una separación notable a la altura del techo, ablandamiento de las fundaciones por origen hidráulico, debido a infiltraciones, y empujes de agua por los desniveles existentes en la construcción.

Templo San Roque

Se tuvieron que trabajar arreglos de altares, púlpitos, artesanado o coro.

Catedral Metropolitana

Se deshicieron arquerías y columnas. También fueron demolidas la torre. Se restauraron los muros, preservando su arquitectura y acabado colonial. Se restauraron también las bóvedas, cúpulas, etc.

RESEÑA HISTÓRICA DE LA CATEDRAL METROPOLITANA DE SUCRE

Se puede señalar que la catedral tuvo dos etapas de construcción, la primitiva en 1551 al 1561, en que se construyen un modesto templo de una nave cubierta de crucería que es obra de Juan Miguel Veramendí y una segunda etapa va del 1580 a 1633 en el que se hace el Baptisterio, crucero, capilla mayor y sacristía y se repara el templo.

A partir de 1686, a instancias del arzobispo González y Poveda se inicia la transformación de la estructura en un templo de tres naves.

En 1688 estaban levantadas las paredes de las dos naves, hechos los arcos y comenzadas las bóvedas, así mismo se había empezado la torre. En 1690 se concluyeron la portada de la epístola, la de la cabecera no se había empezado aun en 1693, muerto González y Poveda, el arzobispo Queipo del Llano Valdés se ocupó de la decoración del interior. Este podríamos llamar, tercer periodo de construcción, no se puede descartar la posibilidad de que el arquitecto José González Marguete interviniera en la obra, como lo que atestiguan documentos contemporáneos. Entre 1712 - 1718 se revisan las bóvedas nuevamente y se complementa la obra con la construcción de algunas capillas.



Figura 3: Catedral Metropolitana de Sucre
Fuente: Sucre - Nicolás Abarca

Como ingresos principales, tiene dos portadas de estilo barrocas, talladas en piedra, la gran torre con su reloj (1772), de cuatro caras es el Hito más importante de la ciudad, como características de Sucre.

Cuenta con tres naves, en la central se encuentra el Altar Mayor junto al templete de estilo grecorromano, en su parte posterior el coro de canónigos de estilo plateresco.

En 1776, se construye la Sala Capitular para la celebración del Concilio Platense, actualmente

se encuentran las pinturas de arzobispos al óleo. En el atrio sobresale la “égida” (centro de la ciudad), una gran cruz de piedra, por lo que se denomina en el dulce vocablo quechua: Rumí Cruz (Cruz de Piedra).

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CATEDRAL METROPOLITANA DE SUCRE

Edificio monumental responde a una planta basilical compuesta de tres naves, definida por arcos formeros de medio punto y pilares de planta cruciforme; constituyendo estos elementos la estructura portante de las bóvedas en la nave central, a diferencia de las laterales donde la función de soporte se comparte con los muros de carga.

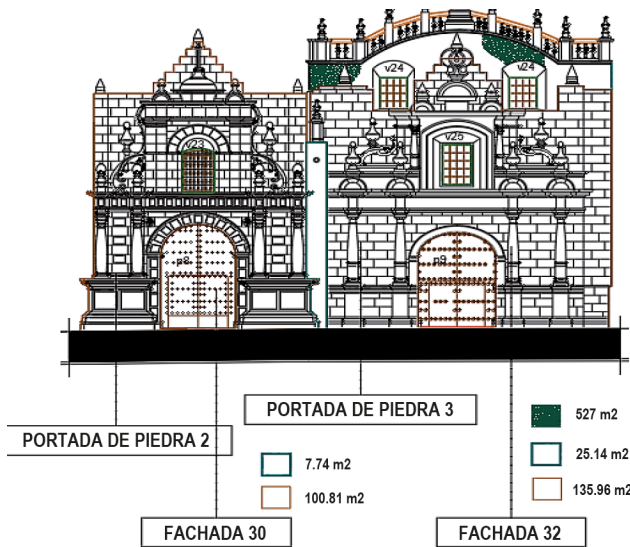


Figura 4: Planos Generales de la Catedral Metropolitana de Sucre
Fuente: Escuela Taller.

El diseño de las bóvedas en su generalidad responde al trazado de bóvedas vaídas con la incorporación de terceletes de influencia gótica, planta rectangular en la nave central y cuadrangular en las laterales, este orden se invierte en la nave del crucero, siendo de planta cuadrangular la central y rectangulares las capillas laterales.

La bóveda central del crucero está jerarquizada por ser la más grande y presentar linterna. Como elementos compositivos característicos

en el interior resaltan también el coro bajo, el coro alto, el transepto, el pulpito, las capillas laterales, las portadas en ingresos a sacristías y cancelas de madera de líneas góticas. El tratamiento decorativo que resalta todo el interior en base a molduras básicamente de trazo mixtilíneo, y cubren baldaquino – tabernáculo, portadas, ménsulas, cornisas, capiteles, arcos, enmarcamiento de vanos, etc., también se aprecia estas tienen pintura dorado y son de inspiración barroca como se muestra en los planos generales de la figura 4.

El aspecto exterior del edificio también refleja un predominante estilo barroco y su volumetría está definida por el cuerpo de la torre, el cuerpo sobresaliente que conforman la capilla de San Bartolomé y la sala capitular; resaltando en el conjunto los siguientes compositivos:

Atrio en los dos frentes de acceso principal a la catedral, con balaustrada robusta en piedra y puertas de rejas de bronce macizo. Torre campanario, cuyo cuerpo inferior cubre la altura de los muros perimetrales y se encuentra con cadenas de piedra embutidas en los muros a manera de entramado, tanto en esquinas como en centrales formando ocho paños enmarcados en los dos frentes vistos. El segundo cuerpo presenta cadenas esquineras de piedra vista y cornisa perimetral a media altura del mismo material, además de los vanos con arcos de medio punto donde están las campanas grandes. El tercer cuerpo, similar al anterior, pero de dimensiones menores, sin cadenas de piedra vista y su coronamiento lleva cornisa y barandilla de reja metálica.

El último cuerpo que lleva la cubierta apuntada de planta octogonal; presenta los discos del reloj en los cuatro lados. La portada está hecha de piedra con trazo claramente barroco, compuesta de tres cuerpos. La portada sur presenta dos cuerpos, compuesta con elementos dóricos y barrocos. Ambas portadas incluyen puertas postigo de madera con llamadores metálicos.

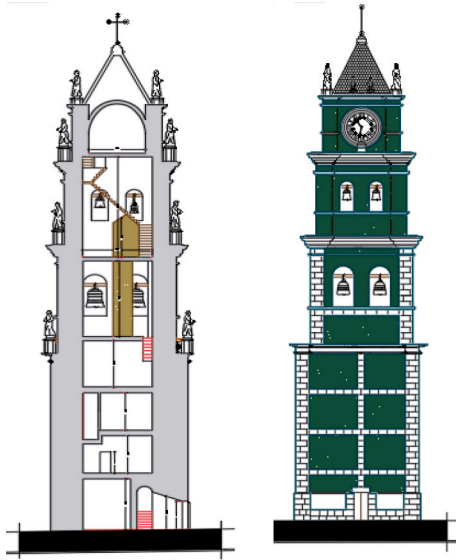


Figura 5: Torre de la Catedral Metropolitana de Sucre
Fuente: Escuela Taller.

PROCESO DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PARA EL ANÁLISIS SISMICO MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA LA CATEDRAL METROPOLITANA DE SUCRE

A continuación, se detalla los pasos más importantes para poder realizar el análisis y posterior evaluación para determinar la vulnerabilidad sísmica:

PASO 1

Recopilación de Información y Ensayos Adicionales:

En primera instancia, se recopilaron los diferentes datos, como ser: información histórica, descripciones de materiales, geométricas, estructurales e investigaciones realizadas. Los datos para el replanteo de la catedral, fueron determinados por un relevamiento topográfico, empleando equipos como ser: taquímetro y un distanciómetro. Para la determinación de las características de los materiales, se realizó el ensayo de peso específico tomando como muestra especímenes con propiedades similares a los materiales empleados en la catedral, obtenidos del lugar según referencias históricas (Cerro Churuquilla)



Figura 6: Recopilación de Información mediante ensayos y relevamientos insitu.
Fuente: Elaboración propia

Para obtener la resistencia de los pilares, realizamos un ensayo de esclerometría, se tomaron como base diferentes datos como observa en la figura 6. En general, la geometría de la catedral metropolitana de Sucre es compleja, por sus detalles arquitectónicos, monumentos, por tal razón sólo se analizará el atrio central, arcos, bóvedas, muros perimetrales. Por lo tanto, la información geométrica estructural es importante para un buen modelado de la estructura en el programa SAP 2000. Este modelo idealizado depende básicamente del tipo de elemento estructural y su geometría, pero también de sus condiciones de contorno, apoyos, nodos, tensiones y otras idealizaciones de elementos.

PASO 2

Proceso de modelo, calibración y validación:

Todo análisis estructural debe ser ejecutado idealizando la realidad, como ser geometría, comportamiento de materiales, estructuras, tensiones aplicadas, entre otros. Es importante que la idealización este sujeta a los materiales y secciones de los elementos, por lo tanto en base a elementos placas o shell, fue modelado la estructuras en base a pilares, muros, arcos y la torre, según la geometría obtenida en planos y verificada con el relevamiento, los parámetros de los materiales fueron interpolados en base a los datos de los ensayos de peso específico y esclerometría, por lo se obtuvo parámetros

de módulo de elasticidad y modulo poisson, necesarios para incorporar al programa computacional.

El modelo fue realizado primeramente en un programa CAD, por su facilidad en dibujo e introducción de elementos tipo placa (shell), para posteriormente importarlo al programa computacional que utiliza el método de elementos finitos, por lo que fue un proceso bastante complejo por la forma y geometría de la estructura. Antes de la importación fue necesaria la verificación de la unión de nudos, ya que, si estos no están unidos o conectados, estos se vuelven inestables y generan errores en el proceso de análisis. En nuestro caso se hicieron más de 20 modelos ya que en varias ocasiones presentaron inestabilidad y generaban errores en los resultados. Una vez culminado el modelo, se realiza el proceso de calibración y verificación. La calibración se realiza mediante iteración, también se debe validar su modelo antes de ejecutar varias consultas en él. Dependen del tipo de análisis realizado. Cada modelo debe ser evaluado de manera individual. En este proceso también se necesitaron datos recopilados de estructuras ya analizadas en artículos científicos, que nos dio parámetros y lineamientos de los resultados iniciales como es el análisis modal para la obtención de periodos y frecuencias propias de la estructura, las cuales deben estar relativamente cercanos para poder continuar con el proceso de análisis sísmico.

PASÓ 3

Análisis Computacional:

Para la Obtención del acelerograma mostrado en la figura 14, se tuvo que partir de datos y parámetros indicados en la Guía Boliviana de Diseño Sísmico en su versión 2020 (GBDS2020), del cual mediante el proceso automático que realiza el programa de transformación de espectro de respuesta a acelerograma se obtuvo el parámetro para el análisis sísmico tiempo historia.

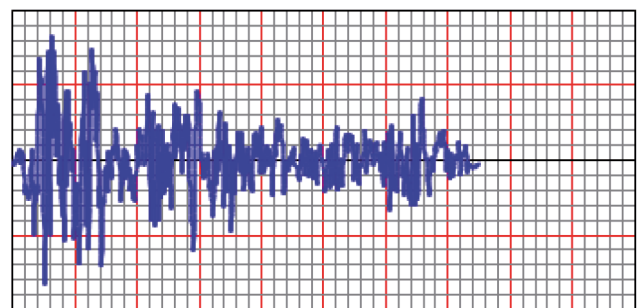


Figura 7: Conversión de Espectro de Diseño a Acelerograma con parámetros de la GBDS2020
Fuente: GBDS2020

Análisis Modal:

Se debe realizar un análisis preliminar, que este se denomina análisis modal, para determinar los modos naturales de vibración de la estructura. El análisis incluirá el número suficiente de modos de vibración de manera que se alcance por lo menos la participación modal del 90% de la masa sísmica en cada dirección horizontal ortogonal. La estructura debe ser modelada en tres dimensiones (3D), como se muestra en la figura 8, estas fueron realizadas y modeladas los mas aproximadas a la realidad, tratando de conseguir una estructura completa, pero con las dimensiones establecidas del relevamiento, pero con algunos cambios mínimos en la forma final sin perder los aspectos de geometría y secciones, simulando todos los aspectos técnicos visualizados.

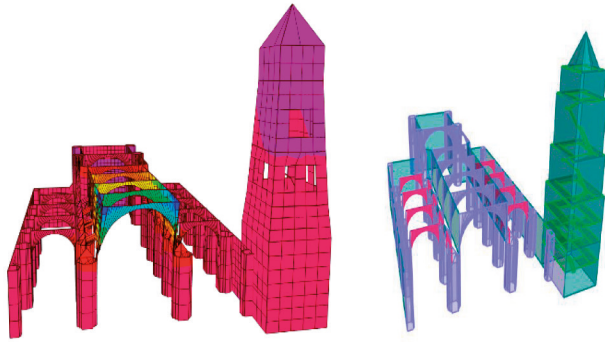


Figura 8: Estructura modelado en Sap2000 mediante placas y nudos.

Fuente Elaboración Propia

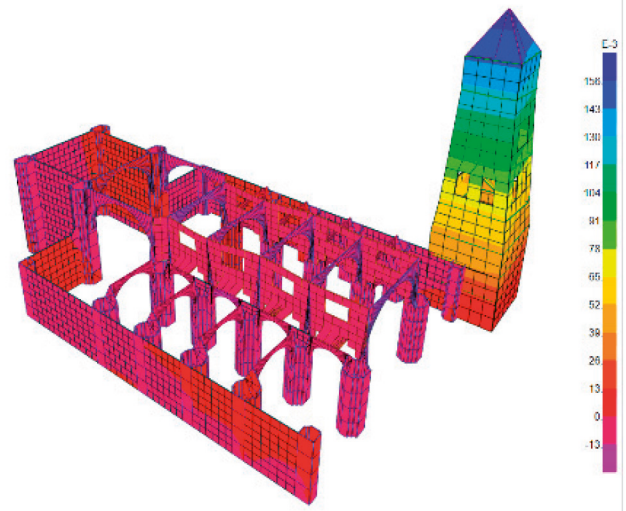
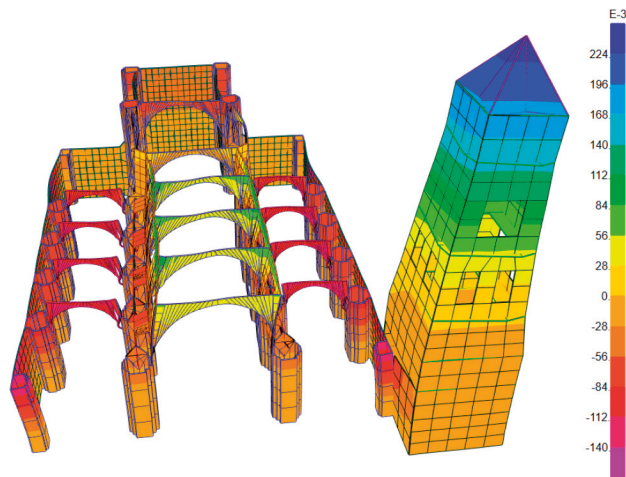


Figura 9: Resultados de Deformación en la dirección X y dirección Y de la estructura.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Sísmico Tiempo-Historia:

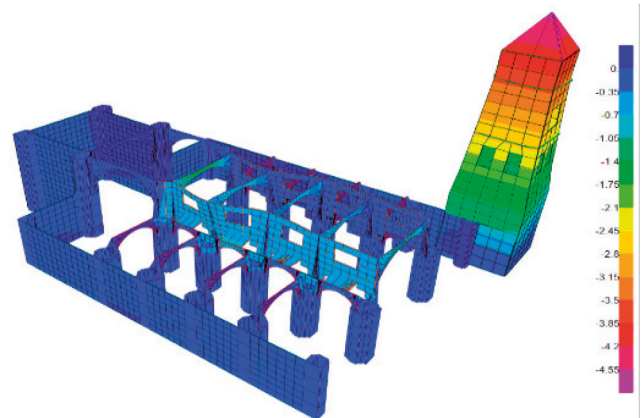


El análisis tiempo historia representa un tipo de análisis sísmico para determinar resultados necesarios para poder realizar la evaluación sísmica y poder obtener la vulnerabilidad sísmica de la estructura, se debe tener en cuenta que los datos ingresados son importantes para una correcta evaluación de la estructura, los resultados más importantes del presente análisis son las deformaciones y esfuerzos presentados en los diferentes elementos, para diferentes periodos de tiempo según el acelerograma introducido.

PASO 4. OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE RESULTADOS

Desplazamientos Sísmicos de la Estructura

Los desplazamientos de la estructura fueron analizados para aceleraciones máximas y picos producidos en el acelerograma de respuesta, este rango fue dado desde 0 hasta 10 seg. donde se encontraron picos máximos y mínimos hasta los 4.2 seg. de simulación sísmica. Por lo que los resultados mostrados a continuación representan las deformaciones mayores entre ese rango de tiempo según lo recopilado de otros proyectos de similares características.



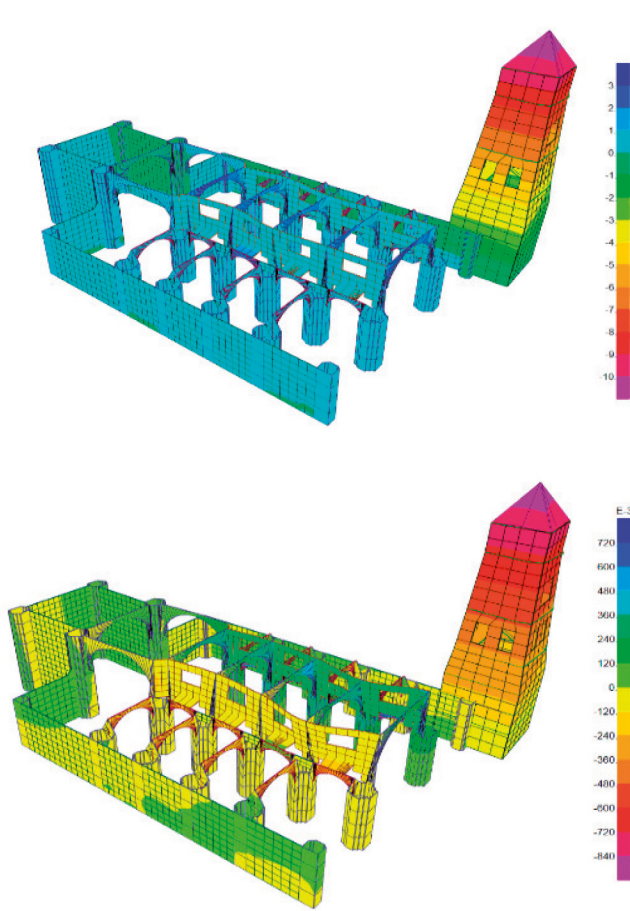


Figura 10: Desplazamiento Sísmico en la dirección Y.
Fuente: Elaboración Propia.

Al tener mayor densificación de pilares y muros en la dirección Y, este aumenta la rigidez en esa dirección, por lo que las deformaciones mayores se encuentran mayormente en la parte superior de la torre, esto en un rango de deformaciones máximas de aproximadamente de 9.5 cm para un tiempo de análisis tiempo historia de 2.10 seg., también se pueden apreciar valores de 1.75cm de deformaciones en los arcos principales superiores, como se pueden verificar en la figura 10.

Como se puede apreciar en los resultados, los desplazamientos ocasionados por el sismo en la estructura Patrimonial son de consideración, viendo que se realizó en periodos (tiempo), la reacción de la estructura, va variando según el tiempo, llegando a una deformación máxima de 9.6cm. en un periodo de 2.59 seg en el eje Y,

mientras en el eje X tiene una deformación de 3.6cm. en el mismo periodo e intensidad.

Se observa que las mayores deformaciones en encuentran en el eje X, porque su eje de rotación se encuentra bajo ese eje, no hay impedimento para su desplazamiento en el eje, por el caso contrario el eje Y su desplazamiento de la nave principal lo impide los muros, pilares, arcos, a eso se debe los desplazamientos.

CONCLUSIONES:

Al tener la inquietud de poder estudiar esta infraestructura se da un gran valor cultural, para preservar la integridad de este patrimonio histórico, como es la catedral metropolitana de Sucre.

El método Tiempo - Historia, fue el más adecuado para ser empleado en la investigación presentada, tomando en cuenta los acelerogramas de la Guía Boliviana De Diseño Sísmico.

Según el análisis del atrio central, se lograron evaluar los arcos centrales, laterales, bóvedas, muros perimetrales y la torre.

La zona identificada como más vulnerable y afectada en caso de sismo, el altar sería la región más afectada.

Está claro que es necesario hacer inelástico el análisis para obtener información completa sobre la vulnerabilidad sísmica.

Sin embargo, la complejidad de estos análisis y la falta de información confiable sobre algunos de los parámetros a menudo limitan la posibilidad de su aplicación práctica para estructuras complejas.

Un enfoque que ofrece algunas ventajas es utilizar la información obtenida de los análisis elásticos como guía, para construir modelos de partes críticas de las estructuras que podrían estudiarse por separado con más análisis complejos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cárdenas, M. I. (2013). "Vulnerabilidad sísmica de construcciones patrimoniales históricas de mampostería en Chile: aplicación a los torreones españoles de Valdivia". *Valdivia - Chile: editorial de la Universidad Austral de Chile*.

Clementi, F., Gazzani, V., Poiani, M., & Lenci, S. (2016). *Assessment of seismic behaviour of heritage masonry buildings using numerical modelling. Building engineering volume 8*, 29-47. obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710216300791>

G. González del Solar, P. E. Martín, F. A. Calderón, N. G. Maldonado, & I. A. Maldonado. (01 de diciembre de 2014). *Importancia de la modelación numérica en la puesta en valor de estructuras patrimoniales de mampostería en zona sísmica. revistaalconpat vol.4*, pág. 15. obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-68352014000300211&script=sci_arttext

Gea, S. B. (2016). *Vulnerabilidad sísmica de edificios históricos de mampostería. Salta-Argentina: editorial de la Universidad Nacional de Salta*.

Mondragón, F. P. (20 de diciembre de 2010). *estrategias para el modelado y el análisis sísmico de estructuras históricas. revista de ingeniería sísmica no. 83 43-63 (2010)*, pág. 20. obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2010000200003

Muñoz, F., Meza, J., & F. Peña. (S.F.). *scipedia. recuperado el 02 de junio de 2022, de scipedia: https://www.scipedia.com/public/mu%3B1oz_et_al_2012a*

P.B. Lourenc, O, & J.A. Roque. (21 de octubre de 2005). *simplified indexes for the seismic vulnerability of ancient. elsevier*, pág. 9. obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061805002679>

Salazar, I. G., & Ferreira, T. (01 de agosto de 2019). *vulnerabilidad sísmica para la rehabilitación del patrimonio cultural. un acercamiento teórico-institucional. revista gremium*, pág. 20. obtenido de <https://editorialrestauro.com.mx/vulnerabilidad-sismica-para-la-rehabilitacion-del-patrimonio-cultural-un-acercamiento-teorico-institucional/>

