

ESTUDIO DE PATOLOGÍA Y VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO
PARQUE SANTANDER UBICADO CERCA AL PARQUE CENTRAL EN LA CIUDAD DE
VILLAVICENCIO, META, COLOMBIA.



JUAN DAVID GUTIERREZ OTERO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
VILLAVICENCIO

2022

ESTUDIO DE PATOLOGÍA Y VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO
PARQUE SANTANDER UBICADO CERCA AL PARQUE CENTRAL EN LA CIUDAD DE
VILLAVICENCIO, META, COLOMBIA.

JUAN DAVID GUTIERREZ OTERO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director

Ing. Alexander Solarte Benavides, Esp. MSc

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
VILLAVICENCIO

2022

Autoridades Académicas

P. José Gabriel Mesa Angúlo, O.P.

Rector General

P. Eduardo González Gil, O.P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo García Jara, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. Julieth Andrea Sierra Tobón

Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Juan Manuel Herrera, Me

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios, por ser el gestor de la vida y el que orienta mi destino, pues me da fuerza, valentía y moral para que mi espíritu este en paz y pueda seguir a senda hacia un camino exitoso.

A su vez un agradecimiento a la Universidad Santo Tomas, por financiar este proyecto mediante la convocatoria FODEIN Multicampus 2021 a cargo del proyecto con título “Análisis de vulnerabilidad y riesgo sísmico de la Ciudad de Villavicencio, Meta, Colombia: Primera fase edificios de la Comuna 2 con más de cinco pisos que aplican al capítulo A.10 de la NSR - 10”.

Quiero demostrar mi agradecimiento las personas que me apoyaron y estuvieron presentes para la realización del proyecto, a mi director, el Ing. Alexander Solarte Benavides, quien, gracias a sus amplios conocimientos, me sirvieron de guía y fueron indispensables para la culminación del trabajo.

A mis padres y mi hermana, pues fueron un apoyo a lo largo de mis estudios, me sirvieron de apoyo moral, económico, motivacional y sobre todo el amor incondicional me permitieron crecer como persona, pues ellos son el motor de mi vida, y su constante paciencia y comprensión hicieron de mi un mejor ser humano.

Por último, a mis amigos y compañeros, porque me permitieron compartir y disfrutar del tiempo compartido con ellos, creando un equipo que se fortalece cada día, y nos permite tener vínculos únicos y generar apoyo a lo largo de mi vida.

Contenido

	Pág.
Resumen	12
Abstract.....	13
Introducción	14
1. Formulación del Problema	16
1.1. Descripción del Problema.	16
1.2. Formulación del Problema.	17
2. Justificación.....	18
3. Objetivos.	20
3.1. Objetivo General	20
3.2. Objetivos Específicos.....	20
4. Estado del Arte	21
4.1. Estudio Patologico Edificio de Oficinas Corporacion Minuto de Dios Calle 81a No. 73a-22 Bogota, (Arq. Yovani Martinez Espejo, Bogota D.C., 2018):.....	21
4.2. Identificación de Patologías Estructurales en Edificaciones Indispensables del municipio de Santa Rosa De Cabal (Sector Educativo). (Cortes, Brian.; Perilla, Katherin. 2017):.....	22
4.3. Protocolo para los Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado en Colombia (Díaz, Patricia. Universidad Javeriana. Bogotá D.C. 2014):.....	23
4.4. Aplicación de Temas de Ingeniería Civil Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica y Diagnóstico de Patología Estructural en el municipio de Villavicencio, Caso de Estudio: Edificio La Voz del Llano. (Garcia, Jefferson.; Rozo, Juan David. 2020):.....	24
4.5. Patologías de las Estructuras de Concreto Reforzado. (Treviño T, Ernesto L. Universidad Autónoma De Nuevo León. México. 1998):.....	24
4.6. Metodología para el Estudio de la Vulnerabilidad Estructural de Edificaciones. (Páez D, Hernández J. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Colombia, 2005):.....	24
4.7. Metodología para Estudios de Vulnerabilidad Sísmica y Patología Estructural para Edificaciones con Carácter Patrimonial. Caso de Estudio: Edificio 21 Complejo Hospitalario San Juan de Dios. (Salamanca L, Universidad Militar Nueva Granada. Colombia, 2015):.....	25
5. Marco de Referencia	27
5.1. Marco Teórico	27
5.2. Marco Normativo	35

5.3. Marco Geográfico	36
5.3.1 Zona de realización del proyecto.	38
6. Metodología.....	39
6.1. Clasificación y selección de la edificación.	39
6.2. Solicitud de permisos de ingreso y planos arquitectónicos del edificio.....	39
6.3. Recolección de Información y Dictamen de las Respectivas Visualizaciones de las Patologías del Edificio Parque Santander.	41
6.4. Esclerometría.....	47
6.5. Ensayo de Regatas y Ferrosacan.....	61
6.6. Ensayo de extracción de núcleos.....	62
6.7. Carbonatación.....	65
6.8. Análisis Estático.....	66
6.8.1 Disposición de las plantas de la estructura.	66
6.8.2 Dimensiones y resistencia de elementos estructurales.....	71
6.8.3 Irregularidades en altura.	73
6.8.4 Avalúo de Cargas.....	74
6.9. Análisis Dinámico.....	75
6.9.1 Espectro de Diseño y Resistencia efectiva.....	75
6.9.2 Combinaciones de Carga.	77
6.9.3 Ajuste de Resultados.....	80
6.9.4 Cortante basal y Fuerza Horizontal Equivalente.	80
6.9.5 Porcentaje de participación de masas (Periodo de la estructura).....	83
6.9.6 Cálculo de la deriva de la estructura.	85
6.9.7 Historial de máximos desplazamientos.....	87
6.9.8 Índice de Flexibilidad y Vulnerabilidad en Columnas	89
6.9.9 Índice de Flexibilidad en Vigas	91
6.9.10 Índice de Sobreesfuerzo en Vigas y Columnas.....	95
6.9.11 Índice de Vulnerabilidad General	100
6.10. Análisis de Resultados y Recomendaciones.....	101
6.10.1 Tipos de Patologías Encontradas	101
6.10.2 Vulnerabilidad Sísmica.....	102

6.10.3	Recomendaciones	103
7.	Resultados Esperados e Impactos.....	106
7.1.	Resultados Esperados	106
7.2.	Impactos	106
8.	Conclusiones	108
9.	Bibliografía.....	111

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Clases de patologías estructurales.....	29
Tabla 2. Valores de ϕ_c y ϕ_e	34
Tabla 3 Normativa del proyecto en general.....	35
Tabla 4 Continuacion.....	36
Tabla 5 Caracterización de Patologías Encontradas.	42
Tabla 6 Pruebas de Esclerometría por planta.....	50
Tabla 7 Resistencia en MPa dado por la prueba de esclerometría.....	55
Tabla 8 Distribución de Frecuencias Ensayo de Esclerometría.....	59
Tabla 9 Peso y cortante basal de la estructura.	66
Tabla 10 Resistencia de los materiales.	72
Tabla 11 Carga muerta no estructural.....	74
Tabla 12 Caracterización Zona de Amenaza Sísmica.....	76
Tabla 13 Factores para espectro de diseño.	76
Tabla 14 Combinaciones de Carga.	78
Tabla 15 Factor de Ajuste para Sismo en X y en Y.....	80
Tabla 16 Cortante basal y pseudo-aceleracion.....	80
Tabla 17 Fuerza Horizontal Equivalente Edificio Parque Santander.	81
Tabla 18 Modos de participación de masas en la estructura.....	83
Tabla 19 Desplazamientos de la Estructura.	85
Tabla 20 Historial máximos desplazamientos.	88
Tabla 21 Índice Flexibilidad General É Índice de Vulnerabilidad de Columnas.	89
Tabla 22 Índice de Flexibilidad para vigas.	91
Tabla 23 Índice de Sobre esfuerzo en Columnas (Refuerzo)	95
Tabla 24 Índice de Sobre esfuerzo en Vigas (Refuerzo)	98
Tabla 25 Índice de Vulnerabilidad.....	100
Tabla 26 Resultados Esperados.	106

Lista de Ilustraciones

	Pág.
Figura 1 Localización Edificio Parque Santander	14
Figura 2 Terraza - Edificio Parque Santander.....	19
Figura 3 Viga, Sección de oficinas, Edificio Minuto de Dios. (Bogotá, Colombia)	22
Figura 4 Humedad Alcaldía del municipio de Santa Rosa de Cabal, Colombia	23
Figura 5 Esquema de vulnerabilidad estructural.....	25
Figura 6 Evaluación Patológica para un BIC.....	26
Figura 7 Metodología de estudio para patologías estructurales.....	28
Figura 8 Esclerómetro.....	31
Figura 9 Ensayo de Ferroskan.....	31
Figura 10 Ensayo de Carbonatación	32
Figura 11 Ensayo de Regatas	33
Figura 12 Municipio de Villavicencio en Colombia.....	36
Figura 13 Temperatura a lo largo del año.....	37
Figura 14 Imagen Satelital Edificio Parque Santander en el centro del municipio de Villavicencio	38
Figura 15 Imagen Satelital Edificio Parque Santander en el municipio de Villavicencio.....	38
Figura 16 Formato Solicitud de Permisos al Edificio Parque Santander	40
Figura 17 Planta Sótano	40
Figura 18 Plantas Piso 4-18	41
Figura 19 Localización de Columnas dispuestas en la Planta Sótano para ensayo de esclerometría	48
Figura 20 Localización de Columnas dispuestas en la Planta #1, #2 y #3 para ensayo de esclerometría.....	49
Figura 21 Localización de Columnas dispuestas en la Planta #4 a #18 para ensayo de esclerometría	49
Figura 22 Grafica Numero de Golpes v. Resistencia (MPa)	54
Figura 23 Resistencia Promedio de Columnas en la estructura, Ensayo de Esclerometría	59

Figura 24 Toma de prueba de esclerometría en la azotea.....	60
Figura 25 Resultados Ferroskan y regatas	61
Figura 26 Resultados Ferroskan y regatas	62
Figura 27 Toma de Ensayos Extracción de Núcleos	63
Figura 28 Extracción de Núcleos.....	64
Figura 29 Ensayo Resistencia a la Compresión.....	64
Figura 30 Escala de PH.....	65
Figura 31 Resultados Ensayo de Carbonatación.....	65
Figura 32 Planta nivel #1	66
Figura 33 Planta nivel #2 y #3	67
Figura 34 Planta nivel #4	68
Figura 35 Planta nivel #5-#12 al #15-#18.....	69
Figura 36 Planta nivel #13 al #14	70
Figura 37 Columna 30X50 CM, Refuerzo 12#5.....	71
Figura 38 Columna 30X30 CM, Refuerzo 8#5.....	71
Figura 39 Columna 50X30 CM, Refuerzo 12#5.....	71
Figura 40 Columna 45X125 CM, Refuerzo 16#8.....	71
Figura 41 Columna 125X45 CM, Refuerzo 16#8.....	72
Figura 42 Losa entrepiso espesor 30 cm.....	72
Figura 43 Viga 60X40 cm.....	72
Figura 44 Viga 30X20 cm.....	72
Figura 45 Irregularidades en altura	73
Figura 46 Tabla B.4.2.1-1 Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas.....	74
Figura 47 Tabla B.4.2.1-2 Cargas vivas mínimas en cubiertas	75
Figura 48 Espectro de diseño (Seguridad Limitada) de Villavicencio	76
Figura 49 Tabla A.10.4-1	77
Figura 50 Valor “k” A.4.3.2.....	80
Figura 51 Modelo del Edificio Parque Santander en el software ETABS.....	82
Figura 52 Historial máximos desplazamientos	87
Figura 53 Falla de columnas	97
Figura 54 Tipos de Patologías Encontradas.....	101

Figura 55 Patologías Encontradas.....	101
Figura 56 Refuerzo con Laminas	104
Figura 57 Columna durante proceso de recrecido	105

Resumen

Mediante este proyecto se propone evaluar las condiciones de los materiales y la integridad estructural del edificio Parque Santander ubicado en Villavicencio-Meta, analizando sus patologías estructurales y su vulnerabilidad ante un evento sísmico. Para realizar este análisis, se siguió el procedimiento descrito en el Capítulo A.10 de la NSR-10. Para el desarrollo de esta investigación primero se realizó la solicitud de los permisos de acceso al edificio en estudio y sus planos constructivos. Luego se realizó una inspección visual de las patologías encontradas en el recorrido por las instalaciones de los 17 pisos de la edificación para identificar patologías existentes y posterior clasificación. Posteriormente se realizó un estudio de laboratorio como extracción de núcleos de concreto, carbonatación, esclerometría y ferroskan, con el objetivo de realizar una caracterización mecánica de los materiales. Se encontraron barras longitudinales de diámetro #8 cada 15 cm y un esfuerzo de compresión del concreto mayor a 4000 Psi. Con esta información se realizó un modelo en elementos finitos con el objetivo de realizar una evaluación de la vulnerabilidad ante las sollicitaciones sísmicas y dictaminar conclusiones y posibles soluciones de reforzamiento.

Palabras Clave: Patología Estructural; Estudio de Vulnerabilidad; Caracterización de Propiedades.

Abstract

The purpose of this project is to evaluate the condition of the materials and the structural integrity of the Parque Santander building located in Villavicencio-Meta, analyzing its structural pathologies and its vulnerability to a seismic event. To perform this analysis, the procedure described in Chapter A.10 of NSR-10 was followed. For the development of this investigation, first the access permits to the building under study and its construction plans were requested. Then, a visual inspection of the pathologies found in the 17 floors of the building was carried out to identify existing pathologies and subsequent classification. Subsequently, a laboratory study was carried out, such as concrete core extraction, carbonation, sclerometry and ferroskan, in order to perform a mechanical characterization of the materials. Longitudinal bars of diameter #8 every 15 cm and a concrete compressive stress greater than 4000 Psi were found. With this information, a finite element model was made in order to evaluate the vulnerability to thermal stresses and to draw conclusions and possible strengthening solutions.

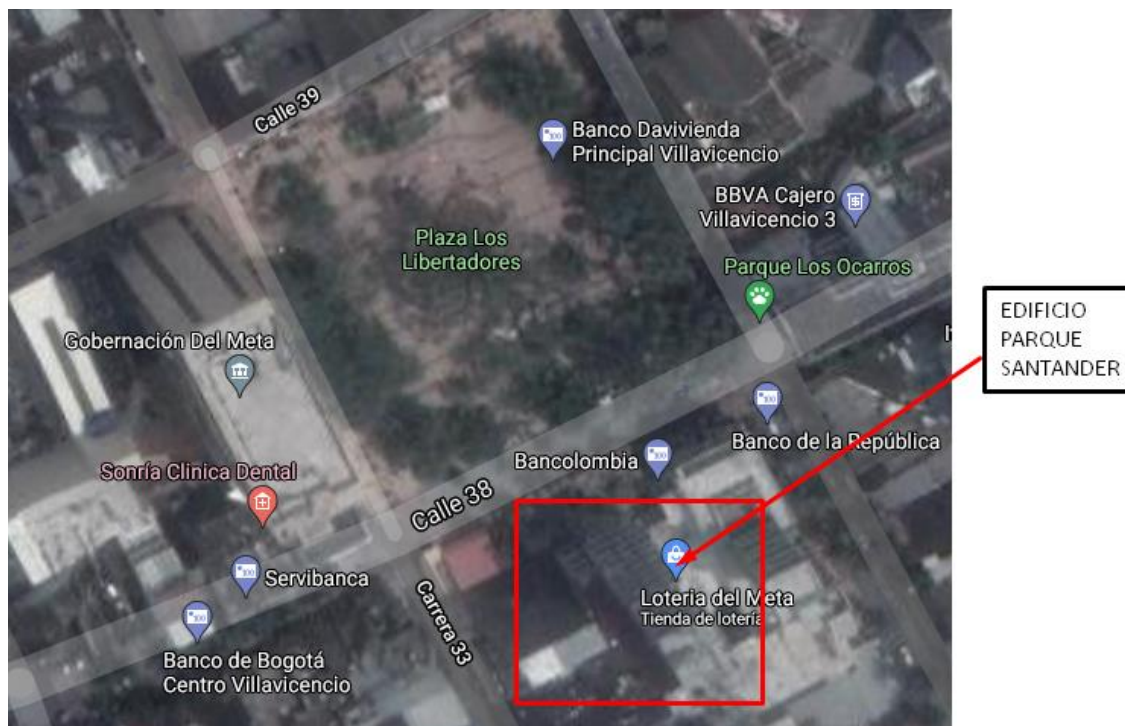
Key Word : Structural Pathology; Vulnerability Study; Property Characterization.

Introducción

El propósito de un estudio de patología estructural es poder observar y evaluar el verdadero estado estructural del edificio, en este caso el Edificio Parque Santander, y de acuerdo con la inspección realizada, tomar acciones pertinentes que solucionen las fallencias halladas y que permitan a la estructura su funcionalidad.

El Edificio Parque Santander se encuentra ubicado en la Calle 38 32-37, frente al parque central del municipio de Villavicencio, Meta, tiene una altura alrededor de 50 metros, siendo de los edificios más altos de la ciudad, y cuenta con 17 pisos y un sótano, en los cuales operan entidades públicas como la Lotería del Meta y CAMACOL, como oficinas a particulares; la actividad de este edificio es comercial.

Figura 1 Localización Edificio Parque Santander



Nota. Adaptado de (Google Maps, 2021)

Este edificio utiliza un sistema estructural de pórtico rígido, en concreto reforzado. fue construido en el año 1975; debido a que en ese año, en Colombia, no existía una norma de sismo

resistencia que normalizara el diseño y construcción de estructuras a lo largo del territorio nacional, los ingenieros se amparaban bajo códigos de construcción internacionales (NSR-10, 2010), como el que se utiliza en California, Estados Unidos (Zona de alta actividad sísmica), y que estaba en criterio de ellos el cómo se utilizara, por consiguiente, este edificio no fue la excepción, y se construyó bajo parámetros de una normativa sismo resistente para una zona diferente.

Debido a la creación (NSR-98, 1998), y posterior actualización de la norma de construcción sismo resistente (NSR-10, 2010), que regula las condiciones con las que deben contar las construcciones con el fin de que la respuesta estructural a un sismo sea favorable; es necesario determinar el comportamiento de la estructura, e identificar patologías propias del edificio que permitan salvaguardar la integridad estructural y la funcionalidad del mismo, debido a la actualización de la normatividad en vigencia.

Su importancia comercial, su amenaza sísmica y la incertidumbre que existe en su construcción, fueron las razones para realizar el estudio de patología y vulnerabilidad sísmica de la edificación, con el objetivo de evaluar, identificar y proponer soluciones estructurales para garantizar la resistencia y evitar pérdidas de vidas humanas y económicas. Para esto se llevó a cabo el procedimiento descrito en el Capítulo A-10 de la NSR-10 para realizar una actualización a las solicitudes de la norma vigente.

En la edificación a estudiar se realizarán inspecciones visuales con las cuales se determinarán las fallencias que a simple vista muestra la edificación, posterior a ello se realizarán ensayos más avanzados como extracción de núcleos y ferro escáner, que permitirán determinar la consistencia, resistencia y funcionalidad de los materiales usados para la construcción del edificio.

Adicional a ello, este estudio, sirve como una propuesta a nivel local que permita a que diversos organismos de control puedan garantizar la integridad de sus edificaciones, y puedan seguir operando correctamente, siendo práctico debido a que la ciudad de Villavicencio se encuentra en zona de amenaza sísmica alta, y en caso de alguna eventualidad, poder tomar medidas al respecto y mejorar la infraestructura de la edificación.

1. Formulación del Problema

1.1. Descripción del Problema.

El Edificio Parque Santander fue construido en el año 1977, es decir, tiene aproximadamente 45 años desde su construcción según la administración del edificio; está ubicado en el parque central de la ciudad de Villavicencio, Meta, diagonal a la gobernación del departamento, este edificio cuenta con 18 pisos y una altura de 50 metros.

El municipio de Villavicencio se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta según la norma de construcción sismo resistente en el Título A.2.3-1 (NSR-10, 2010). Algunos factores que fomentan a la estructura deteriorarse rápidamente son el tiempo primordialmente, su uso, los materiales empleados en su construcción, y la falta de mantenimiento, por lo que se vuelve indispensable realizar inspecciones al edificio para identificar sus patologías. Según la Norma Sismo Resistente NSR-10, los múltiples daños en edificaciones construidas antes de 1984, ratificaron el mal comportamiento de edificaciones frágiles de mampostería no reforzada y de pórticos de concreto reforzado que no cumplían con los requisitos mínimos de sismo resistencia son más propensas a presentar falencias estructurales haciendo la estructura más vulnerable en caso de un evento sísmico (SAI, 2020).

Según lo anterior, los edificios con problemas estructurales son más susceptibles a eventos sísmicos, por ello, esta investigación debe realizarse pues el estado actual de la estructura puede hacerla más susceptible a las fuerzas ejercidas en un evento sísmico, lo que puede conducir a problemas importantes como la pérdida de vidas humanas y materiales, y con el fin de preservar su vida útil y operatividad correcta.

1.2. Formulación del Problema.

¿Cuál es el estado de vulnerabilidad y patología estructural del Edificio Parque Santander ubicado cerca al parque central de la ciudad de Villavicencio, Meta?

En primer lugar, se llevó a cabo un proceso de recopilación de información, empezando por el año de construcción de la edificación, el método constructivo de la estructura y el material que se empleó para su construcción; con esto se pueden identificar falencias y patologías que puedan afectar el funcionamiento del edificio y que lo haga vulnerable a un evento sísmico, pues se puede evidenciar que el estado de sus elementos estructurales es el correcto.

2. Justificación

Mediante la presente investigación se pretende identificar las posibles causas de las patologías analizadas del Edificio Parque Santander; este estudio se aplicará al edificio en cuestión debido a que tiene 44 años de construido, por ende este edificio no está bajo las directrices de la NSR-10, dicho lo anterior se puede apreciar que es de primera necesidad realizar los estudios de patología y vulnerabilidad con el fin de determinar el estado de carbonatación de las columnas del edificio, la resistencia del concreto mediante la extracción de núcleos en las columnas, del esclerómetro y demás condiciones particulares que el edificio en cuestión tenga; con este estudio se pretende brindar a los ocupantes una mayor seguridad ante eventos sísmicos y a su vez, si cumple con los parámetros establecidos en la normativa vigente que permita su operatividad.

Según la NSR-10 en el Título A.2.3-1 (NSR-10, 2010), el municipio de Villavicencio - Meta, está localizado en una zona sísmica alta, por lo que la edificación de estudio está sujeta a eventos sísmicos que pueden afectar su sistema estructural, puesto que esta edificación que tiene más de 45 años de construcción, nunca ha sido intervenida; es de suma importancia hacerlo, y realizar estudios que comprueben su integridad estructural y con ello proponer alternativas y soluciones que brinden la seguridad necesaria a la estructura para que continúe en funcionamiento.

Por lo anterior, este estudio propone identificar las falencias, patologías, y vulnerabilidad del edificio Parque Santander, con lo cual se puedan solucionar y corregir, y con ello se pueda garantizar la seguridad de las personas que trabajan en el edificio y la comunidad adyacente a este. También proponer una inspección técnica y económicamente viable, en la que los propietarios del edificio puedan estar informados del estado de su inmueble, para que puedan mitigar y corregir las fallas estructurales, si las hay, y salvaguardar la integridad estructural del edificio para garantizar su operatividad.

Los recursos para este estudio fueron financiados por la Universidad Santo Tomas, mediante la convocatoria FODEIN Multicampus 2021 a cargo del proyecto con título “Análisis de vulnerabilidad y riesgo sísmico de la Ciudad de Villavicencio, Meta, Colombia: Primera fase edificios de la Comuna 2 con más de cinco pisos que aplican al capítulo A.10 de la NSR - 10”.

Figura 2 Terraza - Edificio Parque Santander



3. Objetivos.

3.1. Objetivo General

Realizar el estudio de patología y análisis de vulnerabilidad sísmica para el edificio Parque Santander ubicado en Villavicencio, Meta, Colombia.

3.2. Objetivos Específicos

- Identificar el estado del inmueble mediante un proceso de desarrollo de estudio patológico y de vulnerabilidad estructural.
- Determinar las propiedades mecánicas de la edificación mediante los ensayos de esclerometría, ferrosacan y extracción de núcleos.
- Representar una aproximación del comportamiento real de la estructura, mediante un modelo numérico en un software de elementos finitos con el fin de comprobar la vulnerabilidad del edificio.
- Proponer soluciones constructivamente viables para la corrección de falencias y patologías encontradas en la edificación.

4. Estado del Arte

La investigación se enfoca en el análisis de condiciones patológicas que pueda sufrir el edificio en cuestión, es decir, fallas en procesos constructivos, deterioro del material, fallos en aceros de refuerzo, o entre otros, es de suma importancia explorar antecedentes que se relacionen directamente con la propuesta de investigación para conceptualizar mejor la temática y abordar mejores resultados. Así mismo la patología del concreto tiene gran importancia en la ingeniería civil, debido a que esta permite, elaborar un diagnóstico de cómo se encuentra la estructura, inducida bajo condiciones de servicio futuras. (Cánovas, 1994).

4.1. Estudio Patológico Edificio de Oficinas Corporación Minuto de Dios Calle 81a No. 73a-22 Bogotá, (Arq. Yovani Martínez Espejo, Bogotá D.C., 2018):

- En 2018 el autor realizó el estudio de patología estructural al edificio en cuestión, donde este mismo encontró que se están presentando dos tipos de lesiones mecánicas y físicas, que se evidencian en algunos de los elementos de la estructura que componen la edificación. Según el autor, su origen puede ser causado por una variedad de factores, como cambios en el diseño arquitectónico y la estructura, estos cambios detuvieron la construcción de los muros de carga básicos que sostienen el edificio durante la construcción del edificio., además de cargas adicionales que no se contemplaron en el diseño estructural inicial; otro factor relevante es la cercanía de especies arbóreas de gran porte que debido a sus raíces, generan fallas en la edificación, y en las vías y construcciones aledañas. En esta investigación, el autor concluyó según su estudio que la lesión sufrida por el paciente corresponde al impacto relacionado con el comportamiento del suelo subyacente y el estrés adicional en la estructura, y al verificar los resultados de las pruebas de laboratorio, estos componentes han sido sometidos a una presión excesiva, y muchos componentes han superado su resistencia, es decir, se ve afectado por un evento sísmico, la estructura tiene un alto riesgo de colapso (Espejo, 2018).

Figura 3 Viga, Sección de oficinas, Edificio Minuto de Dios. (Bogotá, Colombia)



Nota. Figura adaptada de (Martinez, Y; 2018).

4.2. Identificación de Patologías Estructurales en Edificaciones Indispensables del municipio de Santa Rosa De Cabal (Sector Educativo). (Cortes, Brian.; Perilla, Katherin. 2017).:

- Según los autores, este estudio se realizó con el fin de que las entidades gubernamentales, que son las responsables de velar por el bienestar y la seguridad de la comunidad, tomen cartas en el asunto, debido a que hasta el momento no han tomado alguna acción al respecto. El autor señala que, dado que son edificaciones con alto impacto, se da una solución frente a cada patología encontrada y así mitigar su impacto, minimizar el riesgo de la población que hace parte de los planteles educativos y se contribuir al mejoramiento de la infraestructura del municipio (Henaó, 2017).

Figura 4 Humedad Alcaldía del municipio de Santa Rosa de Cabal, Colombia



Nota. Adaptado de (Cortes, Brian.; Perilla, Katherin. 2017).

4.3. Protocolo para los Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado en Colombia (Díaz, Patricia. Universidad Javeriana. Bogotá D.C. 2014):

- En esta investigación, los autores del proyecto crearon un protocolo para el estudio de patologías en edificaciones de concreto reforzado debido a la falta de unificación de criterios en los estudios de patología de la construcción en Colombia para la valoración del daño en edificaciones de concreto reforzado. Según el autor los estudios de patología de la construcción, más comunes son; las fases de documentación, observación de campo, toma de datos, material de prueba, evaluación e informe final; pero sin embargo no se presenta consenso en el alcance de sus variables (Barreiro, 2014).

4.4. Aplicación de Temas de Ingeniería Civil Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica y Diagnóstico de Patología Estructural en el municipio de Villavicencio, Caso de Estudio: Edificio La Voz del Llano. (Garcia, Jefferson.; Rozo, Juan David. 2020).:

- En este proyecto, los autores intervinieron un edificio localizado en la comuna dos de la ciudad de Villavicencio, el edificio en cuestión tiene más de 25 años de construcción, allí ellos plantearon una metodología que identifica paso a paso las causas de la problemática que existe en la edificación, en cuanto a patologías estructurales y vulnerabilidad sísmica. Allí los autores concluyeron, después de tener el análisis de la estructura, que, en promedio la resistencia mínima del concreto cumple, pero en algunas columnas no se alcanza a cumplir la resistencia mínima, pero, aun así, la estructura es rígida y resiste los embates del tiempo (García Socha, 2020).

4.5. Patologías de las Estructuras de Concreto Reforzado. (Treviño T, Ernesto L. Universidad Autónoma De Nuevo León. México. 1998).:

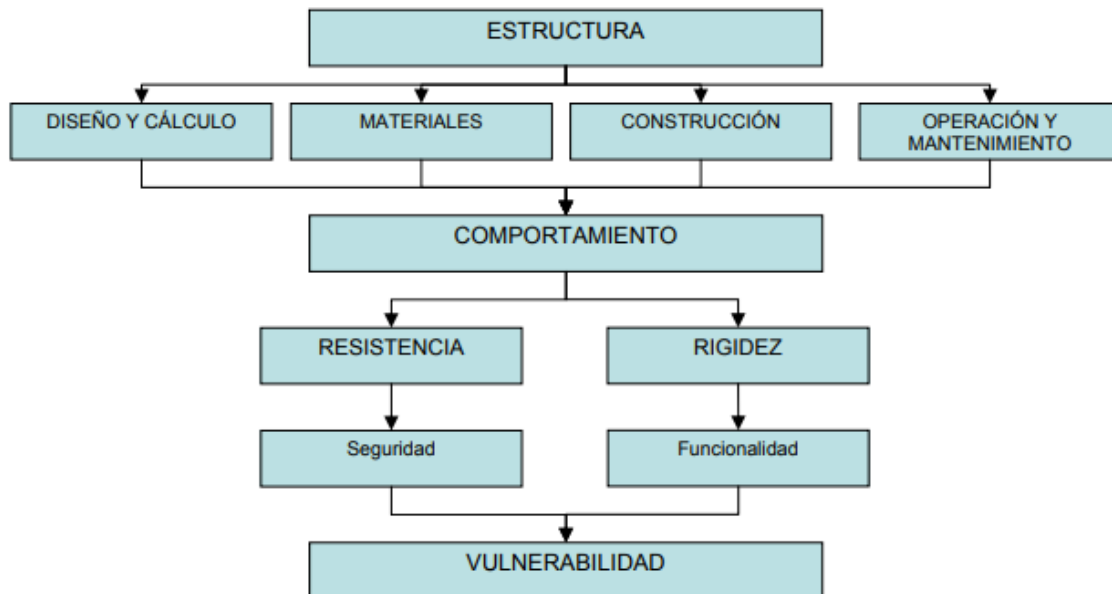
- En este libro, el autor recopila información sobre cómo abordar un estudio de patología en una estructura, así mismo, él recomienda como llevar a cabo un programa de inspección y mantenimiento periódico, ya que en muchas estructuras antiguas el concreto utilizado se seleccionó mediante requerimientos de resistencia, y no en el tipo de material (Treviño, 1998).

4.6. Metodología para el Estudio de la Vulnerabilidad Estructural de Edificaciones. (Páez D, Hernández J. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Colombia, 2005).:

- Según los autores, la determinación de la vulnerabilidad estructural y la alternativa de refuerzo más adecuada debe considerar el impacto de las solicitaciones sísmicas en la estructura, así como la función y seguridad que puede proporcionar a los ocupantes después de la acción esperada, en lugar de simplemente evaluar la respuesta de la estructura al evento, además, depende del criterio del ejecutor que va a realizar la modelación estructural en software con el fin de conocer el estado de esfuerzos y deformaciones de los elementos de la estructura, pues es importante que el

modelo realizado represente lo más posible el comportamiento de la estructura estudiada, para conocer las sollicitaciones de esfuerzos más cercanas a la realidad (Páez Moreno, 2005).

Figura 5 Esquema de vulnerabilidad estructural



Nota. Adaptado de (Páez D, Hernández J; 2005).

4.7. Metodología para Estudios de Vulnerabilidad Sísmica y Patología Estructural para Edificaciones con Carácter Patrimonial. Caso de Estudio: Edificio 21 Complejo Hospitalario San Juan de Dios. (Salamanca L, Universidad Militar Nueva Granada. Colombia, 2015).:

- El autor del proyecto, señala que en la norma se dan los parámetros para la actualización de las edificaciones que fueron construidas antes de su vigencia y las condiciones que deben cumplir para que su respuesta ante un evento sísmico sea correcto, añade además que la metodología para un proyecto de patología y vulnerabilidad estructural a una edificación que cuente con caracterización patrimonial (Bienes de Interés Cultural), se deben tener en cuenta tres aspectos fundamentales que son: “Caracterización del Bien, Evaluación del Bien y Diagnóstico Final” (Salamanca Nonzoque, 2016).

Figura 6 Evaluación Patológica para un BIC



Nota. Adaptado de: (Salamanca L; Colombia, 2015)

5. Marco de Referencia

Dado que el objeto central de este proyecto de investigación es la identificación de las patologías y vulnerabilidades más frecuentes en el Edificio Parque Santander del municipio de Villavicencio, Meta, es de primera necesidad partir a través de ejes conceptuales para entender toda la temática relacionada a patologías, vulnerabilidades y sus causas, y por ende así mismo, los posibles efectos que pueden ocasionar en las estructuras.

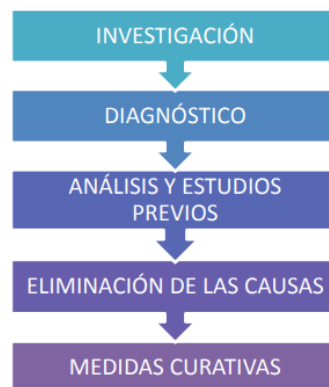
5.1. Marco Teórico

El daño estructural del edificio se manifiesta principalmente como el daño y degradación de los pilares, cimientos y vigas. Por lo general, estos daños ocurren durante eventos sísmicos o como resultado de cambios en las solicitaciones estructurales. Los terremotos son movimientos violentos que producen vibraciones o movimientos del suelo dentro de la tierra; la base principal de la mayoría de los eventos sísmicos es la ruptura de rocas en la capa superficial más externa de la corteza terrestre. Por los motivos anteriores, es posible proponer una descripción de la patología del daño y análisis de la causa del daño, y verificarlo a través de la inspección visual de la superficie del edificio y sus elementos, a fin de brindar sugerencias. para mejorar los elementos y mitigar sus falencias en el futuro próximo.

La palabra “patología” conforme al diccionario de la Real Academia procede de las palabras griegas “pathos”, que quiere decir enfermedad y “logos” que significa estudio o tratamiento y en castellano se define como la parte de la medicina que trata el estudio de las enfermedades. La adaptación del vocablo al mundo de la construcción nos hace definirlo como el estudio del conjunto de los procesos degenerativos tipificados en la alteración de los materiales y los elementos constructivos, así mismo, podemos definir la patología de la edificación como el estudio de las lesiones o problemas que se presentan en un edificio y que determinan la carencia de algunas de sus condiciones básicas de funcionamiento, o sea las relativas a funcionalidad, seguridad o habitabilidad. (Lopez, Rodriguez, Cruz, & Ubeda, 2004)

La patología estructural como metodología, es un procedimiento en el cual se realiza un diagnóstico inicial de reconocimiento de una estructura, y se permite analizar su estado actual de trabajo. Este proceso se realizará cuando el edificio esté degradado, amenazado y / o vulnerable a un evento sísmico. Con base en los resultados del diagnóstico proporcionados, se puede establecer un estándar de actualización, que puede ser proyectos de preservación, refuerzo, restauración, reparación o restauración.

Figura 7 Metodología de estudio para patologías estructurales



Nota. Adaptado de: (Salamanca Nonzoque, 2016)

La vulnerabilidad va de la mano con la patología, pues si se presentan muchas anomalías en la estructura va a ser más susceptible a fallas y por ende tendrá más riesgo; la vulnerabilidad estructural se refiere a la susceptibilidad que la estructura presenta frente a posibles daños en aquellas partes de la edificación que lo mantienen en pie ante un movimiento telúrico. Esto incluye cimientos, columnas, muros, vigas y losas. Permite cuantificar el tipo de daño estructural, modos de falla y la resistencia sísmica de la estructura ante posibles condiciones sísmicas. La vulnerabilidad ante terremotos solo cuantifica el riesgo en función de las características de la estructura. El peligro de terremoto consiste en cuantificar la magnitud del riesgo causado por el área geográfica donde se encuentra la estructura. La vulnerabilidad sísmica de la estructura, el peligro sísmico asociado con su ubicación y el daño sísmico potencial ayudan a cuantificar el riesgo sísmico asociado con el complejo.

Existen varios tipos de patologías presentes en una estructura, entre ellas se encuentran de varios tipos, como:

Tabla 1 Clases de patologías estructurales.

CLASES DE PATOLOGIAS	TIPOS
MECÁNICOS	Flexión
	Pandeo
	Desplomes
	Alabeo
	Grieta
	Grieta Superficial
	Fisura
	Desprendimiento
	Fractura
	Hundimiento
BIOLÓGICOS	Micro vegetación
	Macro vegetación
	Manchas Verdes
	Manchas Negras
	Excrementos de animales
FÍSICOS	Humedad por Filtración
	Humedad por Capilaridad
	Erosión
	Exfoliación
	Agua Superficial
	Suciedad Acumulada
QUÍMICOS	Eflorescencia
	Oxidación
	Corrosión
	Cripto florescencia
	Sub florescencia

Según el Centro de investigación en Gestión integral de Riesgos, las patologías se presentan por tres motivos (Astorga & Rivero, 2009):

1- por Defectos: son aquellas relacionadas con las características intrínsecas de la estructura. Pueden ser causadas por un mal diseño, una errada configuración estructural, una construcción mal elaborada o materiales de calidad deficiente que no cumplen especificaciones de la norma técnica colombiana (NTC).

2- originadas por Daños: se manifiestan durante y/o luego de la incidencia de una fuerza externa a la edificación. Los daños pueden ser causados por un fenómeno natural, como un sismo, inundación, deslizamiento de tierras, entre otros. Aunque otro motivo posible podría ser el caso en el que la estructura se viera obligada a soportar una carga para la cual no fue diseñada, es decir, una sobrecarga.

3- el Deterioro: generalmente se diseñan para que funcionen durante una vida útil, pero con el transcurrir del tiempo, la estructura presenta daños que deberán ser atendidas de manera inmediata.

A su vez la el comportamiento estructural ante una sollicitación de tipo natural o antrópica cualquiera está sujeto a las condiciones bajo las cuales fue diseñada y construida la edificación, cuyo nivel de importancia dependerá de la eficacia y cumplimiento de las especificaciones de los materiales propuestos, del sistema de calidad y del nivel de seguimiento en los procesos constructivos, de la respectiva correspondencia en el nivel y tipo de ocupación y de la forma de mantenimiento y conservación de la estructura. (Páez Moreno, 2005).

Para definir este tipo de patologías y vulnerabilidades, existen dos tipos de ensayos que permitirán al evaluador definir en qué estado se encuentra la estructura, estos son:

- **Ensayos No Destructivos:** Son pruebas realizadas para conocer las características de los materiales y / o estructuras sin causar ningún daño a los componentes a inspeccionar. La mayoría de ellos son macroscópicos, eléctricos, ultrasónicos, etc. Estos tipos de

pruebas pueden identificar inicialmente el estado y las características del edificio. Como ejemplos a destacar tenemos:

- Esclerometría: ensayo regido por la norma NTC 3692, que permite identificar la resistencia de un concreto mediante una prueba de golpe de martillo a un elemento estructural.

Figura 8 Esclerómetro



Nota. Adaptado de: (Laboratorio de Estructuras USTA Villavicencio, 2021).

- Ferroskan: Permite verificar el acero de refuerzo, la posición y su diámetro, también aproximarse al recubrimiento del elemento, y la localización de los estribos. Es muy útil en edificios antiguos o del que no se tengas detalles de su construcción y disposición estructural.

Figura 9 Ensayo de Ferroskan



Nota. Adaptado de: (INCONTECH SAS, 2021).

- **Ensayos Destructivos:** Estas pruebas se realizan para medir la capacidad de un determinado material para verificar su sollicitación, para lo cual es necesario extraer una muestra del material a verificar. Aunque estas pruebas están estandarizadas, se consideran destructivas porque deben cambiar la forma original del elemento en estudio en varias partes para realizar las comprobaciones características necesarias. Existen varios experimentos de este tipo, como:
- Extracción de Núcleos: ensayo regido mediante la NTC 3658, es el ensayo destructivo de más importancia en la identificación de patologías en estructuras de concreto, pues se pueden identificar características intrínsecas como su módulo de elasticidad, resistencia optima, y medición del pH.
- Carbonatación: En la prevención de la corrosión del hormigón armado la coloración por fenolftaleína es una técnica muy utilizada ya que a pH por debajo de 8 el acero se puede corroer, mientras que a pH muy alcalinos se encuentra pasivo. A la profundidad que alcanza la zona de pH inferior a 8, zona incolora, se le suele llamar ‘profundidad de carbonatación’, este ensayo requiere uno destructivo pues se necesita una muestra del material del elemento estructural.

Figura 10 Ensayo de Carbonatación



Nota. Adaptado de: (INCONTECH SAS, 2021).

- **Ensayo de Regatas:** Este ensayo se realiza para verificar el diámetro de las barras de refuerzo transversales y longitudinales del elemento estructural así mismo se determina su separación entre estas. Se selecciona el elemento estructural, se procede a utilizar el rotomartillo y se interviene hasta encontrar las barras de refuerzo, se procede a medir el diámetro de las barras con el pie de rey así mismo como su separación entre ellas. Después se procede a resanar la regata realizada para que quede el elemento estructural como se encontró inicialmente. Se debe hacer aseo en la zona donde se realizó el ensayo.

Figura 11 Ensayo de Regatas



Nota. Adaptado de: (INCONTECH SAS, 2021).

Para la determinación de la vulnerabilidad estructural es consecuente regirse bajo los títulos A y B de la NSR-10 (Norma Sismo Resistente, 2010), en el cual dan los parámetros con los que se desarrollaran las pruebas para determinar si la estructura es resistente o no ante un evento sísmico.

- **Índice de sobreesfuerzo**

Para todos los elementos de la estructura debe dividirse la fuerza o esfuerzo que se le exige al aplicarle las solicitaciones mayoradas de acuerdo al procedimiento recomendado en el Título B de la NSR-10, por la resistencia efectiva del elemento. El índice de sobreesfuerzo para toda la estructura corresponderá al mayor valor obtenido de estos cocientes, entre los elementos que puedan poner en peligro la estabilidad general de la edificación (Asociación Nacional de Ingenieros, 2010).

- Resistencia efectiva

La resistencia efectiva N_{ef} de los elementos, o de la estructura en general, debe evaluarse como el producto de la resistencia existente N_{ex} multiplicada por los coeficientes de reducción de resistencia ϕ_c y ϕ_e así:

$$N_{ef} = \phi_c \phi_e N_{ex}$$

Donde a ϕ_c y ϕ_e se les asigna el valor dado en la Tabla A.10.4-1, dependiendo de la calificación de la calidad y estado de la estructura definida en A.10.2.2.1 y A.10.2.2.2. del presente reglamento (Asociación Nacional de Ingenieros, 2010).

Tabla 2. Valores de ϕ_c y ϕ_e

	Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación		
	Buena	Regular	Mala
ϕ_c o ϕ_e	1.0	0.8	0.6

Nota. Adaptado de: NSR-10 (Asociación Nacional de Ingenieros, 2010)

- Análisis de Vulnerabilidad

Para analizar la vulnerabilidad sísmica de una estructura existente se tienen que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Se tienen que determinar los índices de sobreesfuerzo individual de los elementos estructurales de la edificación.
- Establecer un orden en el cual los elementos marcaran una secuencia de falla acorde a su resistencia, identificando la progresión al daño de los elementos, que inician con aquellos que tengan un índice de sobreesfuerzo mayor.

- c. Con todos los índices de sobreesfuerzo de cada elemento estructural, se procede hallar el elemento que posea un índice mayor, y a la inversa de este valor se definirá como el índice de vulnerabilidad de la edificación. (Asociación Nacional de Ingenieros, 2010).

5.2. Marco Normativo

Para el proyecto realizado, se rigió bajo estas normas, parámetros y decretos citados a continuación:

Tabla 3 Normativa del proyecto en general.

NORMA	DESCRIPCION	PERTINENCIA DE LA NORMA
ACI 224.14-93	Causas, evaluación y reparación de fisuras en estructuras de concreto.	Resume las causas de fisuras de las estructuras de concreto
ACI 224.2R-92	Fisuración de miembros de hormigos en tracción directa.	Esclarece la fisuración del concreto reforzado provocada por tracción
ACI 224R-01	Control de la fisuración en estructuras de concreto reforzado.	Contiene las principales causas de fisuración y los procedimientos para mitigar estas fallas
NTC 3692	Método de ensayo para medir el número de rebote del concreto endurecido.	Esta norma determina el número de rebote del concreto endurecido usando un martillo de acero impulsado por resorte
NTC 3658	Método de ensayo para medir el número de rebote del concreto endurecido.	Esta norma tiene por objeto establecer la obtención, la preparación y el ensayo de núcleos extraídos de concreto para la determinación de su resistencia a la compresión o de la resistencia a la tracción indirecta.
Acuerdo No 287 de 2015	Nuevo Plan de Ordenamiento Territorial para la ciudad de Villavicencio, Meta.	Construcción de un municipio mejor y seguro, que alcance un territorio eficiente, equitativo y sostenible, orientado al desarrollo económico, social y civil de sus habitantes.

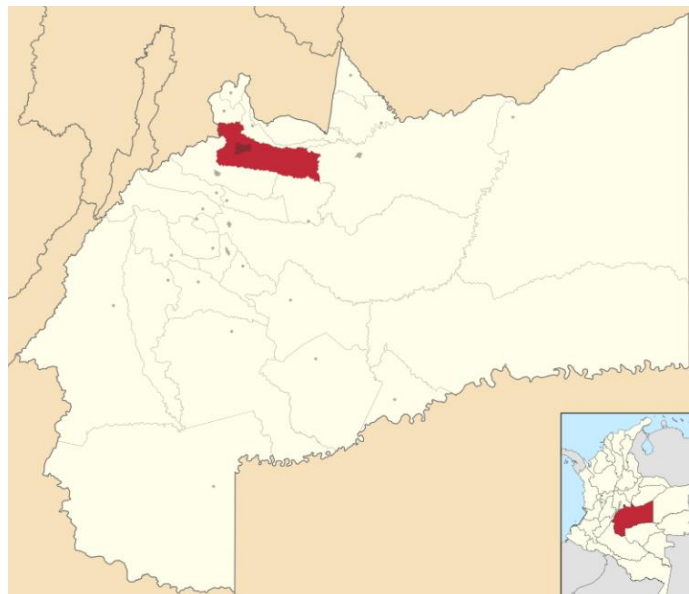
Tabla 3 Continuacion

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI 364	<i>"Guide for Evaluation of Concrete Structures prior to Rehabilitation."</i>	Presenta metodologías para evaluar e intervenir estructuras de concreto.
Decreto 1400 del 7 de junio de 1984	Por el cual se adopta el Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes.	Este código establece criterios para la construcción y diseño de edificaciones que puedan, verse sometidas a fuerzas sísmicas, con el fin de reducir a un mínimo el riesgo a la perdida de la vida.
NSR-10 Titulo A, B y C (General)	Norma Colombiana Sismo-Resistente	Es el reglamento sismorresistente de Colombia, el cual indica lo que se debe hacer en las estructuras.

5.3. Marco Geográfico

Villavicencio, capital del Departamento del Meta, se extiende sobre la falda de la Cordillera Oriental a pocas cuerdas del caudaloso río Guatiquía, encerrado por caños y riachuelos como el Parrado y el Gramalote, el Ocoa al Oriente y el río Negro y el Guayuriba al sur. (Colombiamania, 2021).

Figura 12 Municipio de Villavicencio en Colombia



Nota. Adaptado de (commons.wikimedia.org, 2018)

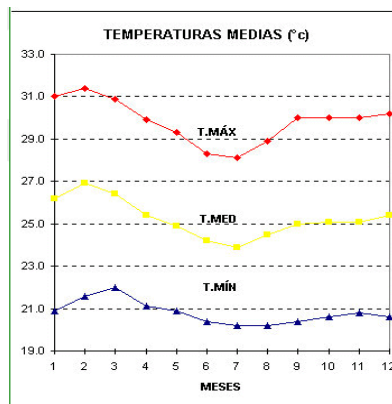
Es sede política, comercial y social del departamento, con la fortuna de estar a solo 86 kilómetros de Bogotá, capital del país; Villavicencio mezcla los negocios, los edificios y el comercio, con la vitalidad y arraigo de las tradiciones del pueblo llanero. La ciudad se encuentra dividida en ocho comunas, 235 barrios, 101 asentamientos, 2 zonas de invasión, 7 corregimientos y 61 veredas. (Uff.travel, 2021).

- Información del Municipio (**Alcaldía de Villavicencio, 2021**):

País: Colombia	Superficie: 1.328 km ²
Departamento: Meta	Temperatura media: 27 °C
Región: Orinoquía	Fundación: 1840
Código DANE: 50001	Población: 452.472 habitantes
Ubicación: 04°09 N 73°38 O	Densidad: 332,80 hab/km ²
Altitud: 467 msnm	Gentilicio: Villavicense
Distancia: 86 km a Bogotá	Alcalde: Juan Felipe Harman Ortiz

Villavicencio se encuentra ubicada en el llamado Piedemonte de la Cordillera Oriental, en la orilla del río Guatiquía, al noroccidente del departamento del Meta a 467 m.s.n.m. El clima en la ciudad es de un promedio de 27°C todo el año, con una humedad de gran relevancia.

Figura 13 Temperatura a lo largo del año



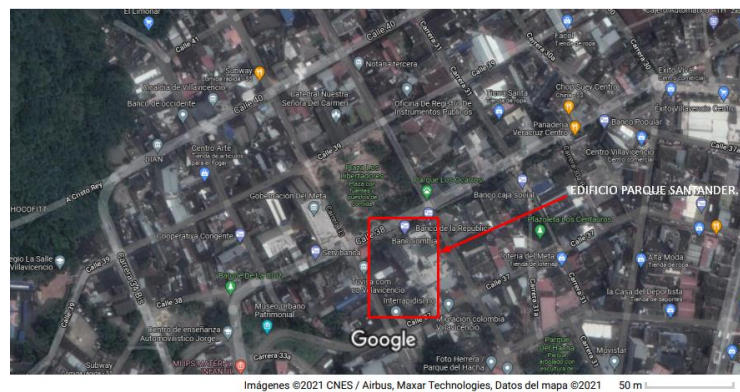
Nota. Adaptado de: (IDEAM, 2020).

Este territorio se destaca por estar dividido en dos regiones geográficas: una montañosa, al occidente y nororiente del municipio, siendo el costado de la cordillera oriental de Colombia; y la región planicie, que corresponde al comienzo del piedemonte llanero. La ciudad limita al norte con los municipios de Restrepo y El Calvario; al oriente con Puerto López, al sur con Acacías y San Carlos de Guaroa, y al occidente con Acacías y el departamento de Cundinamarca. (Uff.travel, 2021).

5.3.1 Zona de realización del proyecto.

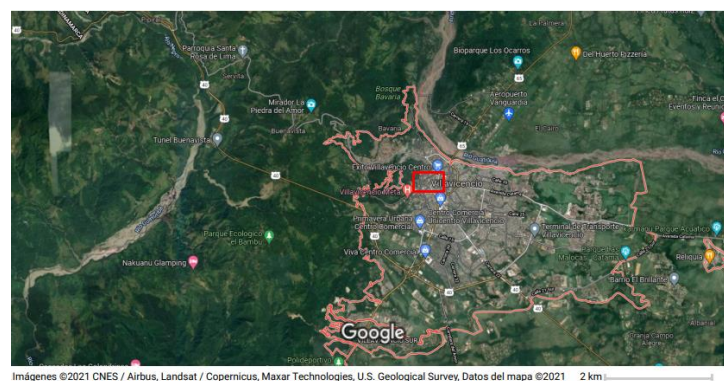
El *Edificio Parque Santander*, se encuentra localizado en la Calle 38 # 32-41, de la comuna 2 en el centro de la ciudad de Villavicencio, Meta.

Figura 14 Imagen Satelital Edificio Parque Santander en el centro del municipio de Villavicencio



Nota. Adaptado de: (Google Maps, 2021).

Figura 15 Imagen Satelital Edificio Parque Santander en el municipio de Villavicencio



Nota. Adaptado de: (Google Maps, 2021).

6. Metodología

6.1. Clasificación y selección de la edificación.

Según el enfoque del proyecto, se requería de una estructura cuyo año de construcción fuera anterior a la normativa NSR-98, que estuviese localizada en la comuna 2 del municipio de Villavicencio, Meta, y que además fuese de 5 plantas o más, así que debido a esto, habían opciones limitadas, la zona de estudio es en el centro del municipio, allí se procedió a solicitar citas y hablar con el administrador o encargado del edificio en cuestión para ver si con el permiso que ellos nos pueden brindar, podíamos intervenir la estructura. Se solicitaron permisos a dos edificaciones que cumplían con los requerimientos, el Edificio Comité de Ganaderos, y el Edificio Parque Santander, en el primero, nos dieron cita con la administración, pero su respuesta fue no favorable, y en el segundo, luego de reunidos con la administración, en cabeza de la señora Susana García (Administradora, Edificio Parque Santander), se pasaron los oficios que respaldan la intervención al edificio, se pudo poner en marcha el proyecto.

6.2. Solicitud de permisos de ingreso y planos arquitectónicos del edificio.

Se envió un formato a la administración del Edificio Parque Santander (ANEXO A), con el fin de que tuvieran presente los ensayos que se realizaran en la estructura, y se recibió respuesta favorable. Adicional en el “ANEXO B” se podrá observar el Formato de Solicitud de Permisos, y en el anexo 2 se podrá observar los permisos otorgados por la administración del Edificio Parque Santander.

Se solicitaron los planos a la notaría primera, ubicada en el centro de la ciudad de Villavicencio, Meta, en el cual no se tenía información del edificio, adicional, se hizo la gestión en la secretaria de Planeación del municipio, también con respuesta desfavorable, sin embargo, la administración del edificio contaba con una copia de los planos arquitectónicos de estos, y se procedió a sacar copia digital de los planos.

Figura 16 Formato Solicitud de Permisos al Edificio Parque Santander

Villavicencio, 04 de marzo de 2021

Señores
Edificio Parque Santander

Ref. SOLICITUD DE PERMISO PARA ESTUDIO DE PATOLOGÍA Y VULNERABILIDAD DEL EDIFICIO PARQUE SANTANDER

Yo, Juan David Gutiérrez Otero, vecino del municipio, identificado con el número de cédula 1006775833, expedida en Villavicencio-Meta, junto con Juan José Martínez Melo vecino del municipio, identificado con el número de cédula 1122655197, expedida en Restrepo-Meta estudiantes de últimos semestres de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, junto con el ingeniero Alexander Solarte Benavides, identificado con el número de cédula 1143837949 expedida en Cali, Valle, docente tiempo completo de la Facultad de Ingeniería Civil Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, nos dirigimos a ustedes muy comedidamente para solicitar un permiso de intervención en algunos elementos estructurales del Edificio Parque Santander.

Lo anterior debido a que la Facultad de Ingeniería Civil cuenta con la financiación económica de un proyecto de investigación gracias a la convocatoria multicampus FODEIN – 2021, el cual tiene como objetivo evaluar la Patología, Vulnerabilidad y Riesgo en el cual se encuentran las edificaciones con mayor afluencia de personas de la comuna 2 y que hayan sido construidas antes de la presente norma de construcción (NSR-10). Entre estas edificaciones el Edificio Parque Santander ha sido seleccionado entre las posibles edificaciones a ser evaluado por su gran importancia para la ciudad y su ubicación estratégica.

Al finalizar el estudio se darán unas conclusiones y recomendaciones a los dueños de las edificaciones para solucionar las problemáticas encontradas, sin ningún costo económico.

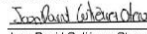
Para realizar dicho estudio es necesario realizar distintos ensayos de laboratorio con algunos elementos estructurales. Los ensayos a realizar son los siguientes:

- Extracción de núcleos de 10 cm de diámetro y profundidad 20 cm (en una columna, una viga, en un muro estructural (si existe) y en una losa de entrepiso).
- Análisis con Ferroskan para determinar la distribución del acero de refuerzo
- Regatas para determinar la calidad del concreto

Se hace la aclaración que las intervenciones no pondrían en peligro la integridad estructural de la edificación y se realizarán en horarios establecido por la administración del edificio para este tipo de eventos. Además de que todo lo que se intervenga se dejará en las mismas condiciones encontradas de estética.

De antemano agradezco la atención y la colaboración brindada, y quedo a disposición del permiso para iniciar con el proyecto.

Cordialmente


Juan David Gutiérrez Otero
C.C. 1006775833
juandgutierrez@usantotomas.edu.co
Cel: 3053711362


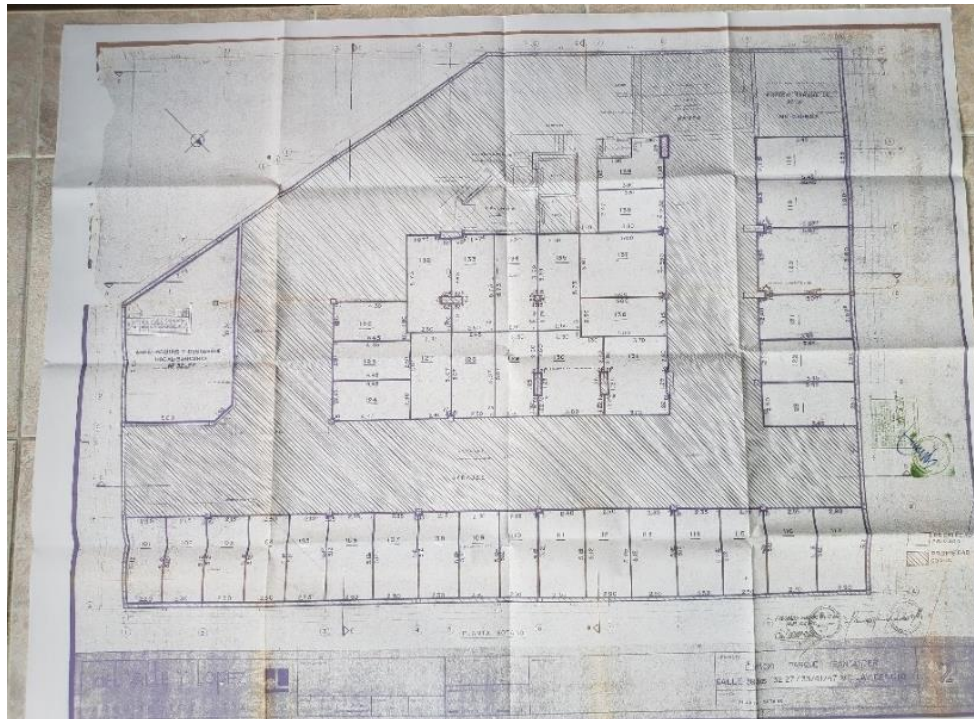
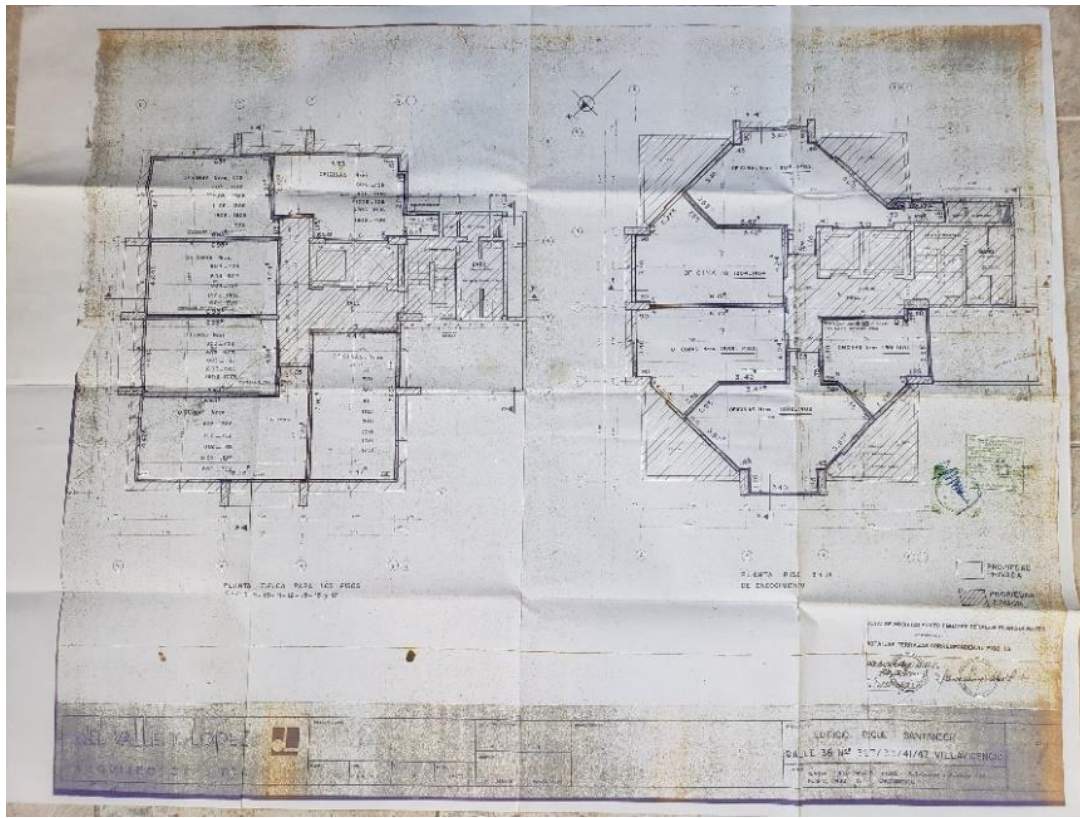

Juan José Martínez Melo
C.C. 1122655197
juanmartinez@usantotomas.edu.co
Cel: 3185780375

Figura 17 Planta Sótano

Nota. Adaptado de: (Administración Edificio Parque Santander, 2021).

Figura 18 Plantas Piso 4-18

Nota. Adaptado de: (Administración Edificio Parque Santander, 2021).

6.3. Recolección de Información y Dictamen de las Respectivas Visualizaciones de las Patologías del Edificio Parque Santander.

Se realizó la inspección visual del edificio, evidenciando las patologías que presenta, piso por piso, y los en los resultados se evidencia que el edificio cuenta con una gran conservación, así como una resistencia y durabilidad de los materiales óptima dado el paso del tiempo.

Tabla 4 Caracterización de Patologías Encontradas.




CARACTERIZACION DE PATOLOGIAS ENCONTRADAS		
EDIFICACION	EDIFICIO PARQUE SANTANDER	
NUMERO DE PLANTAS	18	
# PLANTA:	SOTANO	
FOTO O EVIDENCIA	TIPO DE PATOLOGIA	DESCRIPCION
	HUMEDAD	Se presento humedad en una tubería, pero se realizó su corrección y se selló con mortero.
	HUMEDAD	Se presenta humedad en la placa de entre piso del sótano, allí el agua lluvia puede penetrar fácilmente, y se ve esta patología.
	FISURAS	Se presenta fisuramiento en un muro de mampostería, que no afecta en nada la estructura del edificio. La humedad en el sector es considerable.

Tabla 4 Continuación

	DESCASCARAMIENTO	Se presenta descascaramiento en varias paredes del sótano, debido a la presencia de humedad en el área.
# PLANTA:	5	
FOTO O EVIDENCIA	TIPO DE PATOLOGIA	DESCRIPCION
	FISURAS	Se presenta una fisura en una pared de mampostería frente a la entrada del ascensor del piso #5, pero no tiene repercusiones en la estructura.

Tabla 4 Continuación



# PLANTA:	10	
FOTO O EVIDENCIA	TIPO DE PATOLOGIA	DESCRIPCION
	FISURAS	Se presenta una fisura superficial en la losa del piso #10, a la entrada del ascensor, pero no tiene repercusiones en la estructura.
# PLANTA:	13	
FOTO O EVIDENCIA	TIPO DE PATOLOGIA	DESCRIPCION
	HUMEDAD	Se presenta humedad en el área de la escalera que conecta el piso #13 con el #14, no afecta el funcionamiento de la estructura y no supone riesgos

Tabla 4 Continuación



# PLANTA:	14	
FOTO O EVIDENCIA	TIPO DE PATOLOGIA	DESCRIPCION
	FISURAS	Se presenta una fisura superficial en la losa de la escalera del piso #14, pero no tiene repercusiones en la estructura.
# PLANTA:	16	
FOTO O EVIDENCIA	TIPO DE PATOLOGIA	DESCRIPCION
	FISURAS	Se presenta una fisura superficial en la losa de la escalera del piso #16, pero no tiene repercusiones en la estructura.

Tabla 4 Continuación




# PLANTA:	AZOTEA	
FOTO O EVIDENCIA	TIPO DE PATOLOGIA	DESCRIPCION
	HUMEDAD	Se presenta humedad en la zona de aires acondicionados, puesto que está muy expuesta a la lluvia y al ambiente, es normal que se presente esto, y no afecta el funcionamiento de la estructura.
	HUMEDAD	Se presenta humedad la fachada de la azotea, puesto que está muy expuesta a la lluvia y al ambiente, es normal que se presente esto, y no afecta el funcionamiento de la estructura.
	FISURAS	Se presenta fisuramiento en la zona de las escaleras que conecta a la azotea con el piso #17, se puede deber a que está expuesta a la humedad debido a la altura y exposición del edificio al agua.

Tabla 4 Continuación

	HUMEDAD	Se presenta humedad la fachada de la azotea, puesto que está muy expuesta a la lluvia y al ambiente, es normal que se presente esto, y no afecta el funcionamiento de la estructura.
# PLANTA:	FACHADA	
FOTO O EVIDENCIA	TIPO DE PATOLOGIA	DESCRIPCION
	NINGUNA	La fachada del edificio se encuentra recubierta de pintura impermeabilizante que permite al edificio soportar la humedad del ambiente y del sector.

6.4. Esclerometría.

Las pruebas de golpe de esclerómetro se realizaron a los elementos disponibles en la estructura, esto debido a que allí funciona un banco, el cual restringe el acceso a sus instalaciones por seguridad. En total se realizaron 99 pruebas de golpe a lo largo de la edificación, una de ellas se realizó a la placa de entresuelo del sótano, y las demás a las columnas dispuestas en la estructura.

Según la norma NTC 3692 el ensayo de golpe de prueba de esclerómetro debe llevarse a cabo con mínimo 10 golpes por elemento, en el cual tomamos 15 golpes, adicionalmente se debe obtener la media de los datos, cualquier golpe que se encuentre por debajo o por encima de la media por 6 unidades será tomado como un dato atípico, por lo cual será anulado.

Se procedió a limpiar la superficie con la piedra pulidora que tiene el equipo para garantizar que el error sea el menor posible; a continuación, se detallan las pruebas realizadas.

Figura 19 Localización de Columnas dispuestas en la Planta Sótano para ensayo de esclerometría

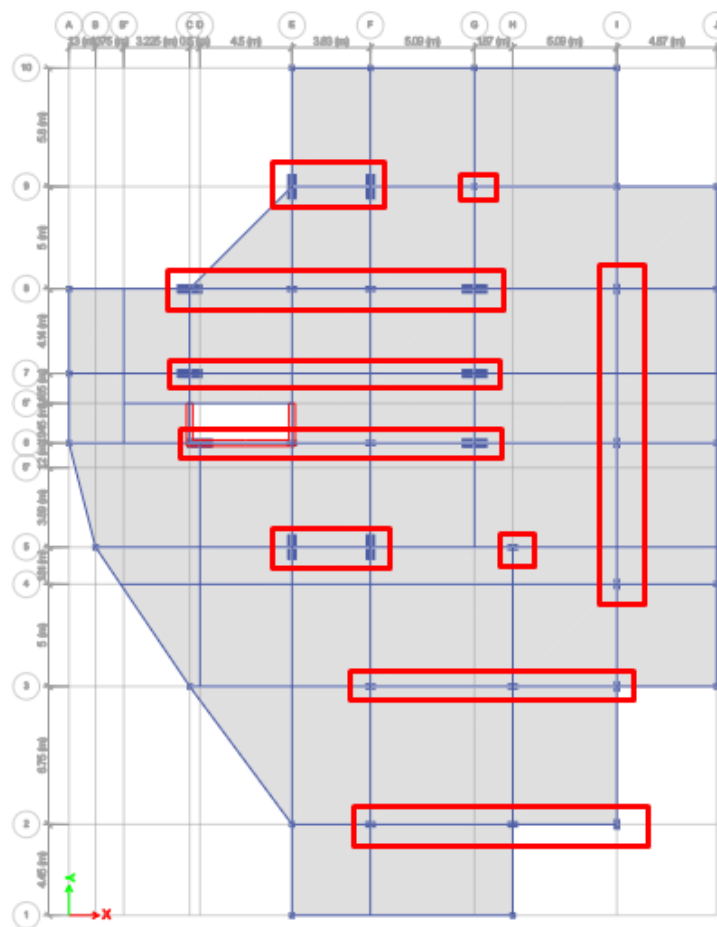


Figura 20 Localización de Columnas dispuestas en la Planta #1, #2 y #3 para ensayo de esclerometría

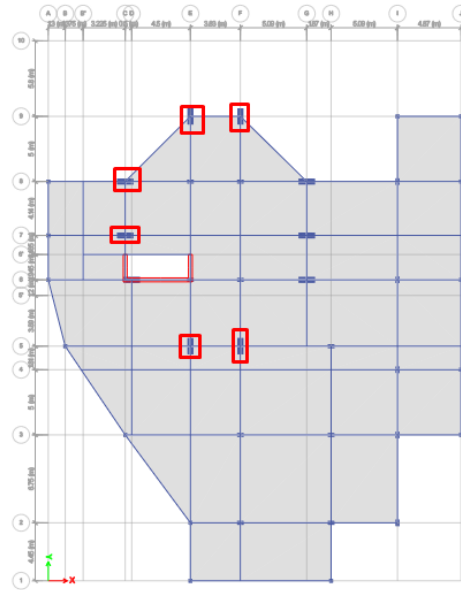


Figura 21 Localización de Columnas dispuestas en la Planta #4 a #18 para ensayo de esclerometría

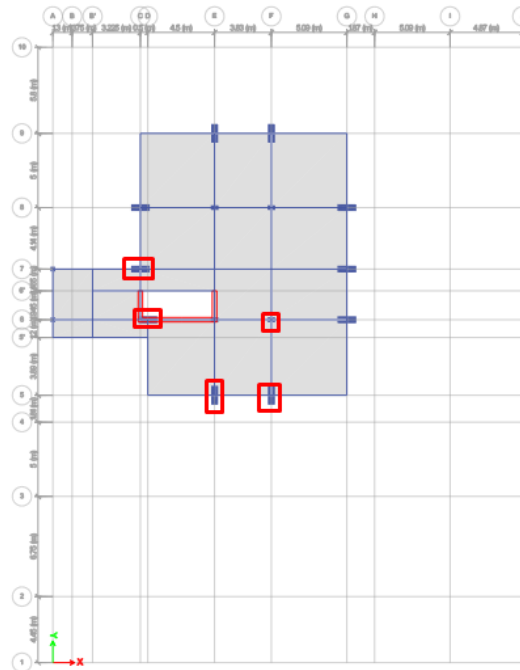


Tabla 5 Pruebas de Esclerometría por planta.

NUMERO DE GOLPE															
PLANTA SÓTANO															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C8 (125X45)	34	34	33	33	34	36	32	36	34	32	34	36	32	34	36
C7 (125X45)	36	40	42	36	42	40	40	36	40	40	36	40	36	36	38
D6 (125X45)	44	42	40	40	42	40	42	38	42	44	38	40	38	40	40
E9 (45X125)	40	42	38	42	38	34	41	38	42	44	44	42	40	42	42
E8 (50X30)	36	38	38	36	36	38	36	34	40	36	34	34	36	40	38
E6 (50X30)	38	36	38	36	36	36	36	34	40	36	34	34	36	40	38
E5 (45X125)	38	36	36	38	40	40	42	42	40	42	42	42	40	42	40
F9 (45X125)	34	32	32	34	30	32	36	34	34	33	31	34	32	30	36
F8 (50X30)	36	38	36	38	36	32	34	36	34	38	36	36	38	36	34
F6 (50X30)	38	34	32	40	34	34	36	34	36	34	36	35	37	38	36
F5 (45X125)	38	36	34	36	34	36	36	40	40	38	42	42	40	38	40
F3 (50X30)	40	38	38	40	42	40	42	40	40	44	42	40	42	40	40
G10 (30X30)	22	36	30	30	32	32	33	31	35	31	33	35	32	30	22
G8 (125X45)	36	40	42	36	42	40	40	36	40	40	36	40	36	36	38
G7 (125X45)	44	42	40	40	42	40	42	38	42	44	38	40	38	40	40
G6 (125X45)	38	32	36	38	38	40	38	40	40	38	36	36	38	40	42
H5 (50X30)	42	46	46	42	46	40	40	42	44	48	44	42	42	38	44
H3 (50X30)	40	42	40	45	42	40	42	42	44	46	46	48	44	46	46
I9 (30X30)	34	36	44	42	30	32	32	32	32	32	32	38	36	34	40
I8 (30X50)	36	32	34	36	30	36	38	38	38	36	32	40	36	38	32
I6 (30X50)	30	30	28	28	29	34	30	32	30	30	28	28	30	32	30
I4 (30X50)	42	40	38	40	35	40	38	38	36	32	32	39	46	38	34
I3 (30X50)	40	38	40	38	38	36	38	34	29	40	30	38	40	50	32
I2 (30X50)	30	32	31	30	34	33	34	33	32	30	31	36	31	31	32
PLACA EP	30	35	40	38	38	36	46	46	36	36	38	40	38	30	32

Tabla 5 Continuación

PLANTA 1															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C8 (125X45)	36	33	32	37	36	36	34	34	31	33	37	35	33	36	33
C7 (125X45)	41	38	39	39	36	44	38	44	39	43	44	43	37	42	36
E9 (45X125)	42	37	44	44	37	39	37	44	41	43	42	41	39	39	41
E5 (45X125)	42	37	37	37	40	44	39	41	39	39	41	36	41	40	44
F9 (45X125)	40	40	37	42	40	40	44	43	41	44	39	39	40	42	36
F5 (45X125)	40	38	39	38	43	42	41	43	43	40	41	43	44	44	44
PLANTA 2															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C8 (125X45)	44	38	38	43	40	40	41	36	36	41	38	39	44	44	40
C7 (125X45)	44	41	37	42	43	42	43	39	39	38	44	42	40	41	42
D6 (125X45)	44	37	41	37	40	44	40	39	44	36	43	44	41	40	37
E5 (45X125)	39	42	36	37	36	36	38	38	37	39	41	41	41	43	41
F5 (45X125)	37	38	40	41	43	39	42	39	41	42	40	43	44	39	40
PLANTA 3															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C7 (125X45)	36	42	44	37	41	44	39	36	39	43	36	42	42	41	38
D6 (125X45)	36	40	41	39	42	38	42	39	40	42	43	43	39	37	41
E5 (45X125)	40	42	39	40	42	38	36	39	43	39	38	41	37	44	37
F5 (45X125)	38	39	39	38	38	39	43	39	44	40	38	43	41	39	37
PLANTA 4															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C7 (125X45)	40	43	42	41	43	39	39	36	37	43	39	40	39	42	38
D6 (125X45)	36	36	39	36	41	41	44	42	44	44	41	42	43	36	37
E5 (45X125)	36	41	37	42	44	41	38	40	37	42	43	40	39	37	38
F5 (45X125)	39	42	36	38	38	37	37	42	43	41	36	39	37	38	39
PLANTA 5															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C7 (125X45)	44	40	37	36	44	36	38	42	40	37	44	38	44	37	37
D6 (125X45)	44	42	42	41	44	41	43	38	37	36	36	38	38	36	41
E5 (45X125)	41	42	38	38	43	43	40	42	39	39	41	44	39	39	38
F5 (45X125)	36	36	44	39	42	37	41	40	37	42	40	44	43	38	37

Tabla 5 Continuación

PLANTA 6															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C7 (125X45)	37	38	43	38	42	44	44	36	41	44	36	44	40	41	40
D6 (125X45)	43	39	41	41	38	38	43	40	43	44	38	44	37	40	37
E5 (45X125)	42	40	44	39	41	40	44	43	42	36	40	44	38	39	39
F5 (45X125)	43	36	36	43	37	40	38	43	41	44	41	38	37	39	41
PLANTA 7															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C7 (125X45)	43	39	37	39	38	42	41	37	43	42	36	38	42	41	36
D6 (125X45)	44	38	39	43	44	39	37	37	36	36	41	36	39	40	38
E5 (45X125)	36	37	44	36	36	41	44	36	40	39	41	42	39	36	42
F5 (45X125)	43	40	36	39	37	43	37	42	40	39	37	39	41	42	38
PLANTA 8															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C7 (125X45)	42	41	39	37	36	43	39	40	44	36	44	43	42	39	42
D6 (125X45)	37	37	41	42	40	42	39	36	41	38	39	37	44	37	38
E5 (45X125)	41	42	36	38	37	37	43	42	39	38	37	40	36	38	41
F5 (45X125)	42	37	37	36	38	42	39	36	36	40	43	42	43	44	41
PLANTA 9															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C7 (125X45)	40	41	37	42	41	44	39	36	44	43	40	42	44	40	37
D6 (125X45)	40	39	42	37	38	37	38	36	40	42	37	43	41	41	44
E5 (45X125)	42	43	43	44	36	36	40	36	38	39	37	36	44	36	37
F5 (45X125)	36	36	42	37	37	36	36	36	44	38	40	36	42	44	44
PLANTA 10															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C7 (125X45)	38	38	43	44	38	42	43	40	44	36	37	40	37	38	42
D6 (125X45)	43	39	38	39	41	39	40	38	37	38	41	36	41	39	44
E6 (50X30)	40	34	34	36	37	39	37	39	34	38	40	40	34	37	36
E5 (45X125)	44	44	42	36	37	40	38	37	43	44	41	37	42	43	37
F6 (50X30)	40	37	35	38	37	35	39	36	39	37	36	40	38	38	34
F5 (45X125)	36	38	38	36	41	38	38	44	44	42	42	43	38	43	40

Tabla 5 Continuación

PLANTA 11															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C7 (125X45)	37	40	36	40	41	39	37	37	40	38	41	43	36	41	38
D6 (125X45)	44	38	42	38	38	41	43	41	37	40	41	44	42	38	40
F5 (45X125)	37	36	37	36	41	39	36	40	38	43	37	43	40	36	44
PLANTA 12															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C7 (125X45)	43	36	43	43	39	39	44	43	44	37	38	38	40	41	44
D6 (125X45)	41	41	43	41	39	42	38	40	43	43	40	39	36	37	38
F5 (45X125)	41	43	36	40	38	37	44	44	43	39	43	44	36	37	36
PLANTA 13															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C7 (125X45)	43	44	44	44	39	41	44	40	38	43	36	43	40	42	40
D6 (125X45)	42	43	44	40	40	42	44	40	40	39	43	44	41	39	39
F6 (50X30)	37	38	40	38	40	40	38	38	36	36	37	39	39	37	40
F5 (45X125)	36	44	42	39	44	39	44	41	41	38	39	41	36	40	39
PLANTA 14															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C7 (125X45)	39	40	37	43	36	39	43	39	39	38	41	40	41	42	40
F6 (50X30)	36	36	35	36	35	35	38	37	39	38	36	36	36	34	34
F5 (45X125)	41	39	38	38	44	39	36	37	37	44	41	39	40	43	37
PLANTA 15															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C7 (125X45)	43	44	36	44	38	43	36	44	44	42	38	40	42	44	40
D6 (125X45)	37	38	39	41	43	44	44	37	39	43	38	44	40	37	43
E6 (50X30)	40	36	39	35	35	37	38	39	38	40	35	38	34	34	38
F6 (50X30)	40	40	36	36	37	39	35	37	34	40	34	39	34	37	39
F5 (45X125)	39	37	40	40	39	44	44	39	43	41	36	36	38	39	41

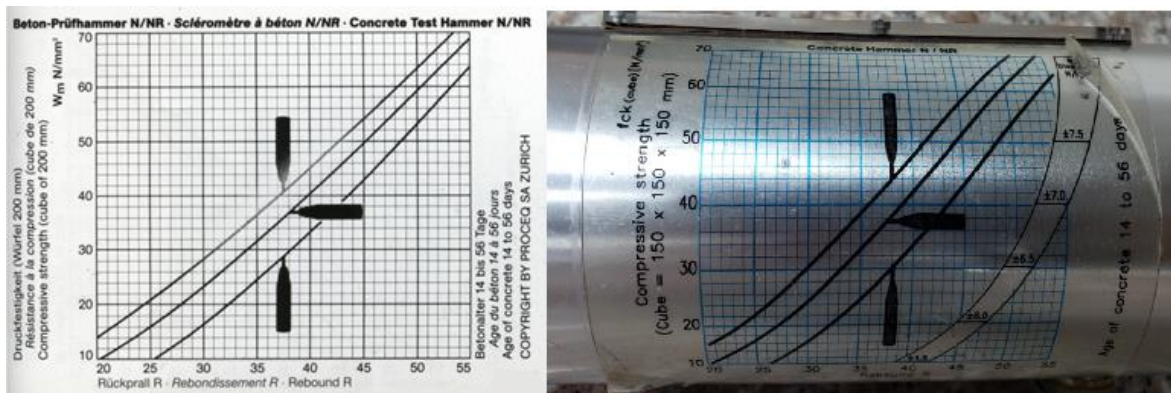
Tabla 5 Continuación

PLANTA 16															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C7 (125X45)	37	37	39	38	44	44	38	41	41	37	43	39	43	37	42
D6 (125X45)	38	37	44	43	43	43	40	36	41	42	42	39	42	37	39
E5 (45X125)	44	41	39	44	43	44	41	44	44	42	42	40	39	36	39
F6 (50X30)	37	40	34	40	40	38	40	38	38	35	36	34	35	36	34
F5 (45X125)	42	40	44	43	40	40	43	36	37	38	39	44	39	40	40

PLANTA 17															
COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C7 (125X45)	38	42	44	43	40	38	38	37	39	41	40	38	43	41	37
D6 (125X45)	41	44	42	42	40	43	44	41	39	39	44	39	44	40	39
E6 (50X30)	37	40	39	34	34	34	36	38	40	36	39	37	40	36	39
E5 (45X125)	36	43	39	41	42	41	38	41	42	42	44	42	40	41	38
F6 (50X30)	34	38	36	39	35	40	38	39	40	38	40	39	38	36	35
F5 (45X125)	40	42	39	37	37	39	43	39	37	40	38	37	38	40	39

A continuación, con la gráfica a continuación suministrada por el fabricante del esclerómetro, se realizan las ecuaciones para hallar una resistencia aproximada de cada columna según el número de golpes promedio.

Figura 22 Grafica Numero de Golpes v. Resistencia (MPa)



Nota. Adaptado de: Laboratorio de Estructuras USTA Villavicencio, (2021).

La resistencia varia acorde a la dirección de como el que realice el ensayo tome el equipo, dirección A (Hacia abajo), dirección B (Hacia un lado) y dirección C (Hacia arriba).

- Dirección A: $0.01466x^2 + 0.62x - 3.666667$ (MPa)
- Dirección B: $0.008x^2 + 1.12x - 17$ (MPa)
- Dirección C: $0.01466x^2 + 0.62x - 14.666667$ (MPa)

Tabla 6 Resistencia en MPa dado por la prueba de esclerometría.

PLANTA SÓTANO						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C8 (125X45)	1.464	34.000	35.464	32.536	34.000	30.328
C7 (125X45)	2.326	38.533	40.859	36.207	38.462	37.911
D6 (125X45)	1.952	40.667	42.618	38.715	40.615	41.686
E9 (45X125)	2.667	40.600	43.267	37.933	40.846	42.095
E8 (50X30)	1.952	36.667	38.618	34.715	36.615	34.735
E6 (50X30)	1.922	36.533	38.456	34.611	36.462	34.472
E5 (45X125)	2.138	40.000	42.138	37.862	40.154	40.871
F9 (45X125)	1.870	32.933	34.803	31.064	32.923	28.545
F8 (50X30)	1.767	35.867	37.634	34.099	36.000	33.688
F6 (50X30)	2.063	35.600	37.663	33.537	35.538	32.907
F5 (45X125)	2.619	38.000	40.619	35.381	38.000	37.112
F3 (50X30)	1.598	40.533	42.131	38.936	40.462	41.414
G10 (30X30)	4.079	30.933	35.012	26.854	31.231	25.781
G8 (125X45)	2.326	38.533	40.859	36.207	38.462	37.911
G7 (125X45)	1.952	40.667	42.618	38.715	40.615	41.686
G6 (125X45)	2.390	38.000	40.390	35.610	38.154	37.378
H5 (50X30)	2.712	43.067	45.778	40.355	43.077	46.091
H3 (50X30)	2.588	43.533	46.121	40.946	43.462	46.788
I9 (30X30)	4.200	35.067	39.266	30.867	34.769	31.613
I8 (30X50)	2.875	35.467	38.342	32.591	35.538	32.907
I2 (30X50)	1.732	32.000	33.732	30.268	31.846	26.781
PLACA EP	4.728	37.267	41.994	32.539	37.154	28.615

Tabla 6 Continuación

PLANTA 1						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C8 (125X45)	1.882	34.400	36.282	32.518	34.462	31.098
C7 (125X45)	2.957	40.200	43.157	37.243	40.231	41.007
E9 (45X125)	2.554	40.667	43.221	38.112	40.692	41.822
E5 (45X125)	2.455	39.800	42.255	37.345	39.769	40.194
F9 (45X125)	2.295	40.467	42.762	38.172	40.538	41.550
F5 (45X125)	2.134	41.533	43.667	39.400	41.615	43.464
PLANTA 2						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C8 (125X45)	2.722	40.133	42.855	37.411	40.154	40.871
C7 (125X45)	2.134	41.133	43.267	39.000	41.231	42.778
D6 (125X45)	2.875	40.467	43.342	37.591	40.538	41.550
E5 (45X125)	2.360	39.000	41.360	36.640	38.923	38.714
F5 (45X125)	1.995	40.533	42.529	38.538	40.538	41.550
PLANTA 3						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C7 (125X45)	2.903	40.000	42.903	37.097	40.000	40.600
D6 (125X45)	2.134	40.133	42.267	38.000	40.231	41.007
E5 (45X125)	2.350	39.667	42.017	37.316	39.615	39.924
F5 (45X125)	2.127	39.667	41.794	37.540	39.538	39.789
PLANTA 4						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C7 (125X45)	2.219	40.067	42.286	37.848	40.154	40.871
D6 (125X45)	3.182	40.133	43.315	36.952	40.154	40.871
E5 (45X125)	2.469	39.667	42.136	37.198	39.615	39.924
F5 (45X125)	2.242	38.800	41.042	36.558	38.692	38.312
PLANTA 5						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C7 (125X45)	3.180	39.600	42.780	36.420	39.538	39.789
D6 (125X45)	2.933	39.800	42.733	36.867	39.769	40.194
E5 (45X125)	2.028	40.400	42.428	38.372	40.308	41.142
F5 (45X125)	2.840	39.733	42.574	36.893	39.692	40.059

Tabla 6 Continuación

PLANTA 6						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C7 (125X45)	2.973	40.533	43.506	37.560	40.615	41.686
D6 (125X45)	2.530	40.400	42.930	37.870	40.385	41.278
E5 (45X125)	2.404	40.733	43.138	38.329	40.846	42.095
F5 (45X125)	2.731	39.800	42.531	37.069	39.769	40.194
PLANTA 7						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C7 (125X45)	2.530	39.600	42.130	37.070	39.615	39.924
D6 (125X45)	2.774	39.133	41.907	36.359	39.000	38.848
E5 (45X125)	2.987	39.267	42.254	36.279	39.154	39.116
F5 (45X125)	2.295	39.533	41.828	37.238	39.538	39.789
PLANTA 8						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C7 (125X45)	2.722	40.467	43.189	37.745	40.538	41.550
D6 (125X45)	2.366	39.200	41.566	36.834	39.077	38.982
E5 (45X125)	2.330	39.000	41.330	36.670	38.923	38.714
F5 (45X125)	2.890	39.733	42.623	36.843	39.692	40.059
PLANTA 9						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C7 (125X45)	2.610	40.667	43.276	38.057	40.769	41.959
D6 (125X45)	2.469	39.667	42.136	37.198	39.615	39.924
E5 (45X125)	3.226	39.133	42.360	35.907	39.000	38.848
F5 (45X125)	3.348	38.933	42.281	35.585	38.769	38.446
PLANTA 10						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C7 (125X45)	2.777	40.000	42.777	37.223	40.000	40.600
D6 (125X45)	2.167	39.533	41.700	37.366	39.462	39.655
E6 (50X30)	2.299	37.000	39.299	34.701	37.000	35.392
E5 (45X125)	3.039	40.333	43.373	37.294	40.385	41.278
F6 (50X30)	1.831	37.267	39.098	35.436	37.308	35.920
F5 (45X125)	2.815	40.067	42.882	37.252	40.077	40.735

Tabla 6 Continuación

PLANTA 11						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C7 (125X45)	2.120	38.933	41.054	36.813	38.846	38.580
D6 (125X45)	2.295	40.467	42.762	38.172	40.462	41.414
F5 (45X125)	2.825	38.867	41.692	36.042	38.692	38.312
PLANTA 12						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C7 (125X45)	2.808	40.800	43.608	37.992	40.923	42.231
D6 (125X45)	2.219	40.067	42.286	37.848	40.154	40.871
F5 (45X125)	3.240	40.067	43.306	36.827	40.077	40.735
PLANTA 13						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C7 (125X45)	2.501	41.400	43.901	38.899	41.615	43.464
D6 (125X45)	1.915	41.333	43.248	39.418	41.308	42.915
F6 (50X30)	1.424	38.200	39.624	36.776	38.231	37.511
F5 (45X125)	2.597	40.200	42.797	37.603	40.231	41.007
PLANTA 14						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C7 (125X45)	2.007	39.800	41.807	37.793	39.846	40.329
F6 (50X30)	1.438	36.067	37.504	34.629	36.000	33.688
F5 (45X125)	2.588	39.533	42.121	36.946	39.462	39.655
PLANTA 15						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C7 (125X45)	2.981	41.200	44.181	38.219	41.385	43.052
D6 (125X45)	2.800	40.467	43.266	37.667	40.462	41.414
E6 (50X30)	2.086	37.067	39.153	34.980	37.077	35.524
F6 (50X30)	2.264	37.133	39.397	34.870	37.154	35.656
F5 (45X125)	2.549	39.733	42.282	37.185	39.692	40.059
PLANTA 16						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C7 (125X45)	2.699	40.000	42.699	37.301	39.923	40.465
D6 (125X45)	2.586	40.400	42.986	37.814	40.462	41.414
E5 (45X125)	2.475	41.467	43.941	38.992	41.692	43.601
F6 (50X30)	2.330	37.000	39.330	34.670	37.000	35.392
F5 (45X125)	2.440	40.333	42.773	37.894	40.385	41.278

Tabla 6 Continuación

PLANTA 17						
COLUMNA	DESV EST	PROMEDIO	MAX	MIN	PROM COR	RESISTENCIA (MPa)
C7 (125X45)	2.314	39.933	42.247	37.620	39.846	40.329
D6 (125X45)	2.028	41.400	43.428	39.372	41.385	43.052
E6 (50X30)	2.219	37.267	39.486	35.048	37.308	35.920
E5 (45X125)	2.127	40.667	42.794	38.540	40.769	41.959
F6 (50X30)	1.988	37.667	39.655	35.679	37.769	36.714
F5 (45X125)	1.813	39.000	40.813	37.187	38.846	38.580

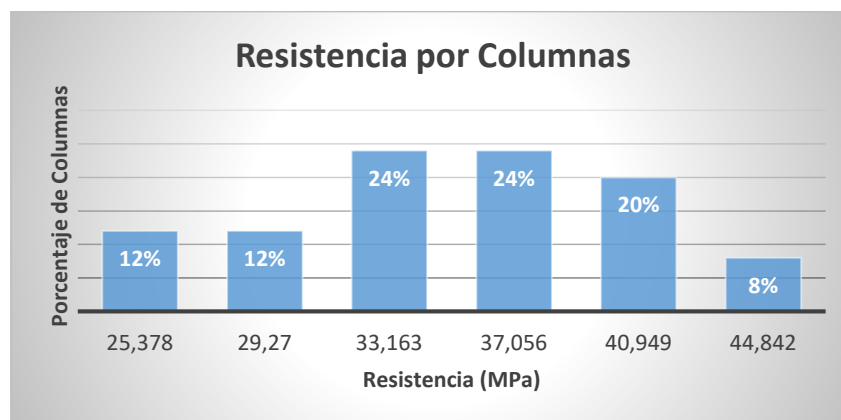
Con los valores obtenidos de resistencia, se realizó una tabla de distribución de frecuencias para representar gráficamente los valores dados por la totalidad de columnas analizadas.

Tabla 7 Distribución de Frecuencias Ensayo de Esclerometría.

Ri-1 (MPa)	Ri+1 (MPa)	Ri (MPa)	fi	Fi
23.431	27.324	25.378	0.12	0.12
27.324	31.217	29.27	0.12	0.24
31.217	35.110	33.163	0.24	0.48
35.110	39.003	37.056	0.24	0.72
39.003	42.895	40.949	0.2	0.92
42.895	46.788	44.842	0.08	1

Los valores de resistencia obtenidos por el ensayo nos dan un rango de resistencia promedio que oscila entre 25.378 MPa hasta 44.842 MPa.

Figura 23 Resistencia Promedio de Columnas en la estructura, Ensayo de Esclerometría



El ensayo de esclerometría es muy variable y susceptible a factores externos al elemento estructural, si está pintado, pañetado o enchapado, además de si su superficie es lisa, rugosa o con baches, por lo cual tiene un margen de error considerable y no es muy recomendable para chequear los elementos, si no para tener un predimensionamiento de los valores de resistencia que podrán tener los elementos en la estructura.

Figura 24 Toma de prueba de esclerometría en la azotea




6.5. Ensayo de Regatas y Ferrosacan.

El ensayo de regatas se realiza para verificar el diámetro de las barras de refuerzo transversales y longitudinales del elemento estructural así mismo se determina su separación entre estas, y a su vez, el ensayo de ferrosacan se realiza con el fin de determinar la posición del acero de refuerzo longitudinal y transversal en miembros de concreto reforzado, de esta manera se pueden determinar características como lo son el espesor de recubrimiento, separación de las barras y diámetro de las mismas.

Figura 25 Resultados Ferrosacan y regatas

ID DEL ELEMENTO	INFORMACION DEL ELEMENTO				
	a (m)	b (m)	ACERO LONGITUDINAL	ACERO TRANSVERSAL	RECUBRIMIENTO (cm)
COLUMNA	1.20	0.40	#8	#3 c/20	6 cm

UBICACIÓN ELEMENTO	
MURO PANTALLA	
REGISTRO FOTOGRAFICO	

Nota. Adaptado de: (INCONTECH SAS, 2021).

Figura 26 Resultados Ferroskan y regatas

ID DEL ELEMENTO	INFORMACION DEL ELEMENTO				
	a (m)	b (m)	ACERO LONGITUDINAL	ACERO TRANSVERSAL	RECUBRIMIENTO (cm)
VIGA AEREA	0.50	0.30	#8	#3 c/20	4 cm

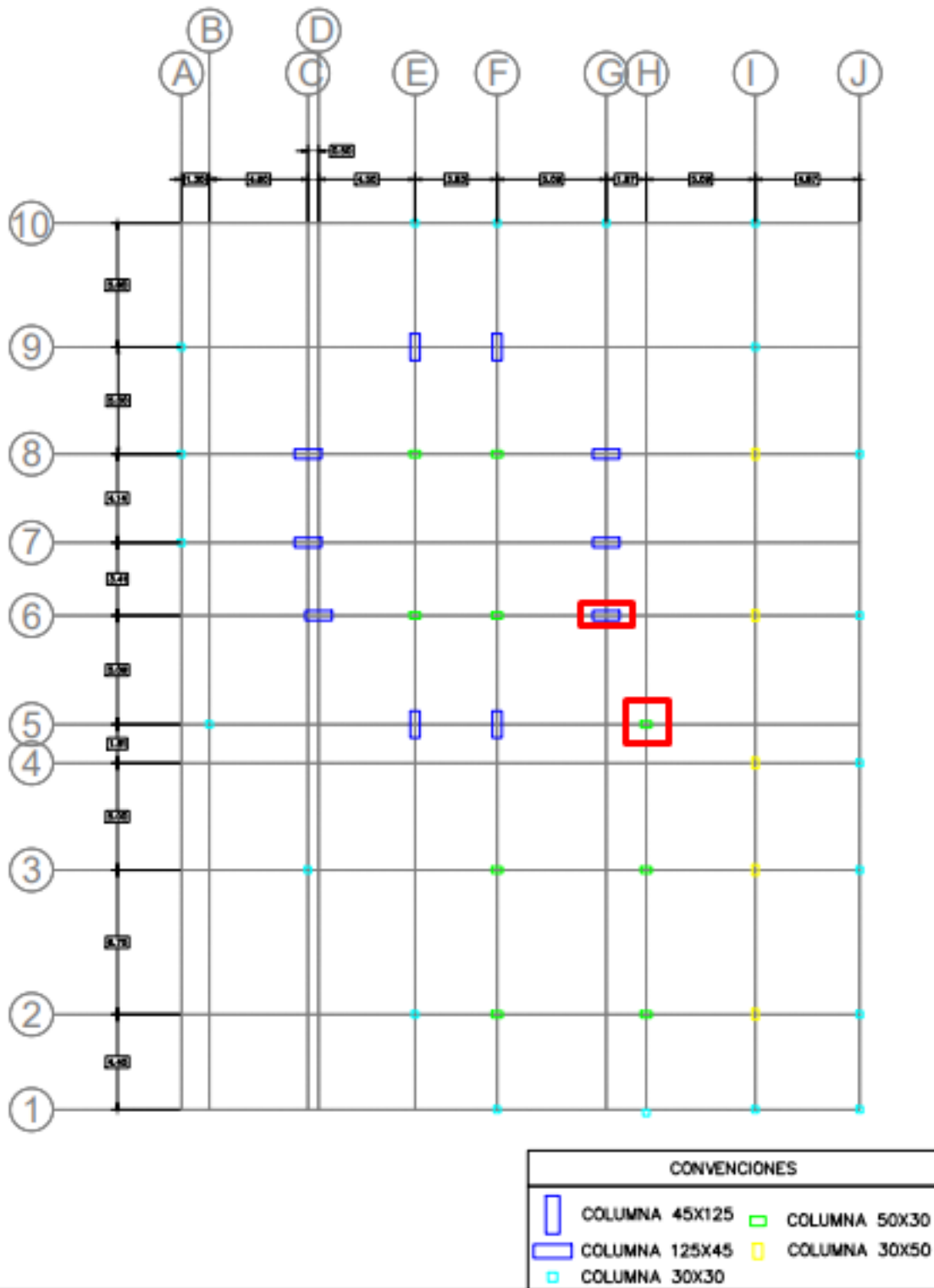
UBICACIÓN ELEMENTO	
COLUMNA	
REGISTRO FOTOGRAFICO	

Nota. Adaptado de: (INCONTECH SAS, 2021).

6.6. Ensayo de extracción de núcleos.

El objetivo principal del ensayo consiste en determinar la máxima resistencia a la compresión de un cilindro de muestra de un concreto frente a una carga aplicada axialmente, en este ensayo se aplica la extracción de núcleos cilíndricos de concreto obtenidos a parás de estructuras existentes. Este núcleo se falla a compresión para determinar la resistencia del concreto de la estructura. Se realizo el ensayo a un muro pantalla y a una columna de 125x45 cm.

Figura 27 Toma de Ensayos Extracción de Núcleos






Nota. Dimensionamiento planta sótano a través de AutoCAD

Figura 28 Extracción de Núcleos



Figura 29 Ensayo Resistencia a la Compresión

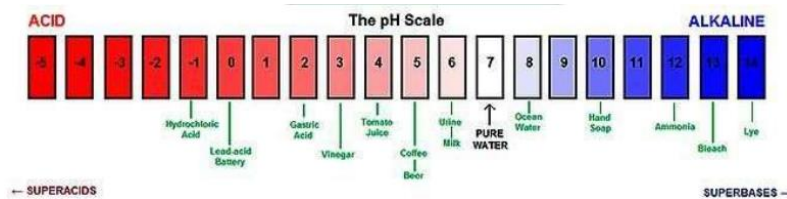
 INCONTECH SAS Calidad e Innovación		INCONTECH SAS NIT. 901376424-1 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE NUCLEOS												Código	SGC-PDS-F007									
														Versión	1									
														Fecha	20/02/2020									
OBRA:	ENSAYOS PARA PATOLOGIA Y VULNERABILIDAD SISMICA EDIFICIO SANTANDER CENTRO VILLAVICENCIO - META- PROYECTO FODEIN												NORMA:	NTC 3658-673										
CLIENTE:	UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SEDE VILLAVICENCIO																							
LOCALIZACION:	EDIFICIO SANTANDER CENTRO VILLAVICENCIO																							
DESCRIPCION:	EXTRACCION DE NUCLEOS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO												ODS											
FECHA TOMA:	19 de junio de 2021												FECHA INFORME:	22 de julio de 2021										
OBSERVACIONES:	CONCRETO DE 4000 PSI																							
CONTRATO/ ELEMENTO/ No. MUESTRA	OBSERVACIONES	FECHA DE TOMA DE NUCLEOS	RESISTENCIA A DE DISEÑO PSI	N° DE NUCLEO	FECHAS DE ROTURA	DIAMETRO Ø (cm)	LONGITUD (cm)	AREA (cm²)	VOLUMEN (cm³)	PESO (gr)	DENSIDAD (gr/cm³)	CARGA APLICADA (Kg)	RESISTENCIA A LA FECHA		L/D	FACTOR DE CORRECCION NTC-3658	RESISTENCIA CORREGIDA PSI	PORCENTAJE CON RESPECTO A Fc de 280 Kg/cm³	TIPO DE FALLA					
													(Kg/cm²)	P.S.I.					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
CONCRETO DE 4000 PSI (28 Mpa)	MURO PANTALLA	19/06/2021	4000	1	26/06/2021	7.00	13.0	38.5	500.3	1165	2.33	12482.8	324.4	4633.7	1.9	0.97	4515.52	112.89%			X			
	COLUMNA	19/06/2021	4000	2	26/06/2021	5.00	10.0	19.6	196.3	980	4.99	5961.2	303.6	4337.1	2.0	1.00	4337.1	108.43%				X		
La información aquí reportada pertenece únicamente a la muestra analizada y no podrá ser reproducida parcial o totalmente sin la autorización escrita de la empresa INCONTECH SAS																								
 LINA GOMEZ COORDINADORA TECNICA										 JUAN ESTEBAN SALAS JEFE DE LABORATORIO														

Nota. Adaptado de: (INCONTECH SAS, 2021).

6.7. Carbonatación.

En la prevención de la corrosión del hormigón armado la coloración por fenolftaleína es una técnica muy utilizada ya que a pH por debajo de 8 el acero se puede corroer, mientras que a pH muy alcalinos se encuentra pasivo. A la profundidad que alcanza la zona de pH inferior a 8, zona incolora, se le suele llamar ‘profundidad de carbonatación’, y se aclara que el hormigón endurecido tiene un Ph medio igual o superior a 12,5 (la reserva alcalina está entre 12,6 y 14), es decir, extremadamente básico. En el proceso de carbonatación el Ph puede caer hasta valores inferiores a 9. Pero estaríamos todavía en la parte básica de la escala.

Figura 30 Escala de PH



Nota. Adaptado de: (INCONTECH SAS, 2021).

Figura 31 Resultados Ensayo de Carbonatación

DATOS Y CALCULOS			REGISTRO FOTOGRAFICO	
CARBONATACION	(mm)	d	0	
TIEMPO CONSTRUIDO	(años)	t	44	
LEY DE FICK		k	0	
PROFUNDIDAD DE RECUBRIMIENTO	(mm)	a	60	
FRENTE DE CARBONATACION	mm	NO PRESENTA		
<p>Observaciones: SE EVALUO EL FRENTE DE CARBONATACION EN EL ELEMENTO ESTRUCTURAL MURO PANTALLA DEL EDIFICIO SANTANDER MEDIANTE FENOLFTALEINA AL 5% Y SE ENCONTRO QUE EL ELEMENTO ESTRUCTURAL NO PRESENTA CARBONATACION.</p>				
<p><small>La información aquí reportada pertenece unicamente a la muestra analizada y no podrá ser reproducida parcial o totalmente sin la autorización escrita de la empresa INCONTECH SAS</small></p>				

Nota. Adaptado de: (INCONTECH SAS, 2021).

6.8. Análisis Estático.

Se realizó el avalúo de cargas según los planos arquitectónicos suministrados por el edificio, se procedió a realizar el chequeo de la estructura con los parámetros que da la NSR-10. El tipo de estructura es de pórtico en mampostería confinada con una altura de aproximadamente 51.3 m.

Tabla 8 Peso y cortante basal de la estructura.

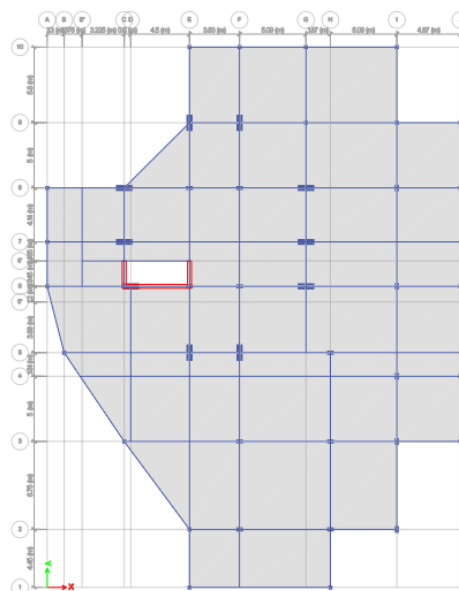
Periodo Aproximado	CuTa	2.07 seg
Periodo Natural Modelo	Tn Modelo	1.712 seg
Periodo Natural (ETABS)	Tn	1.712 seg
Peso total	W	54158.2 KN
Pseudo Aceleración	Sa	0.3084112 g
Cortante Basal	Vs	16703.0 KN
Factor k	k	1.606

6.8.1 Disposición de las plantas de la estructura.

- Planta Nivel #1:

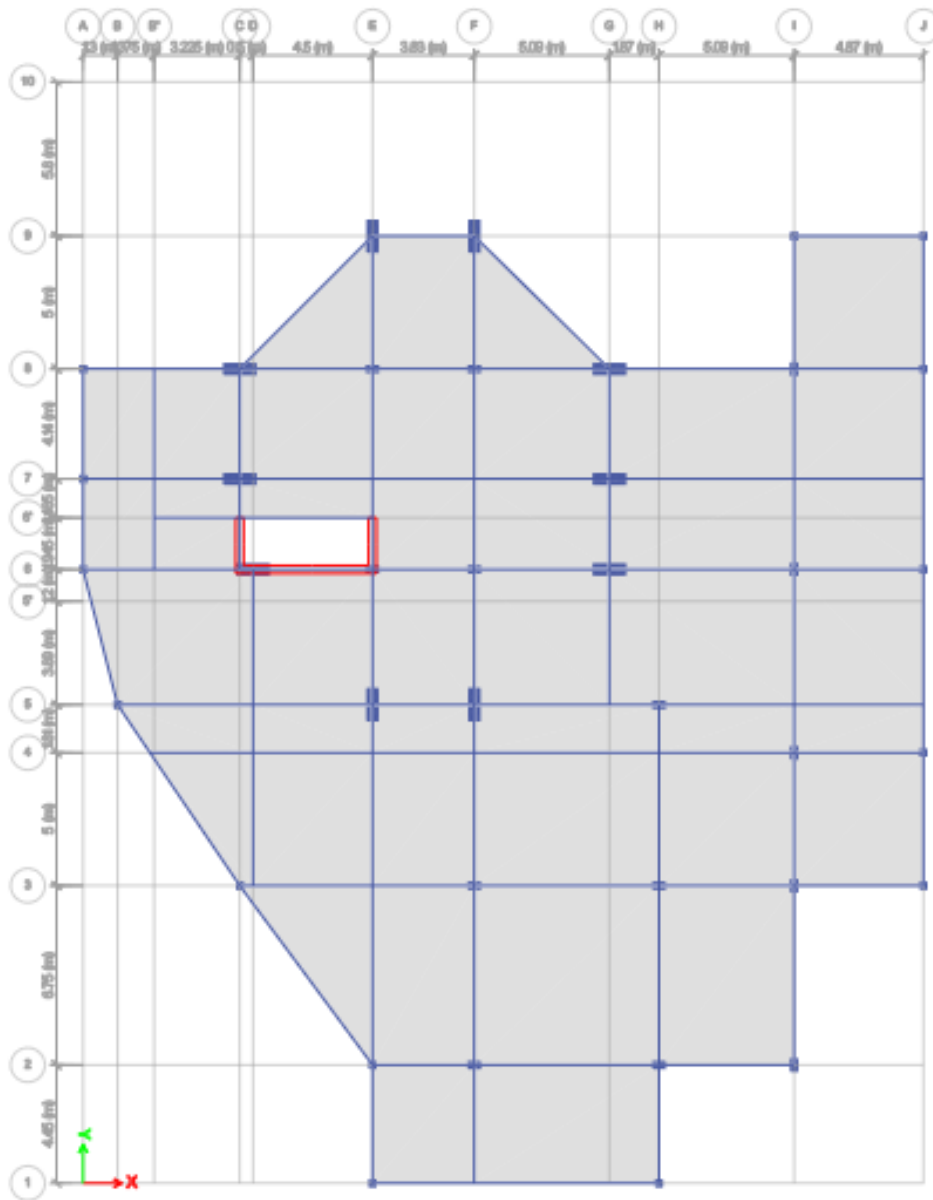
-

Figura 32 Planta nivel #1



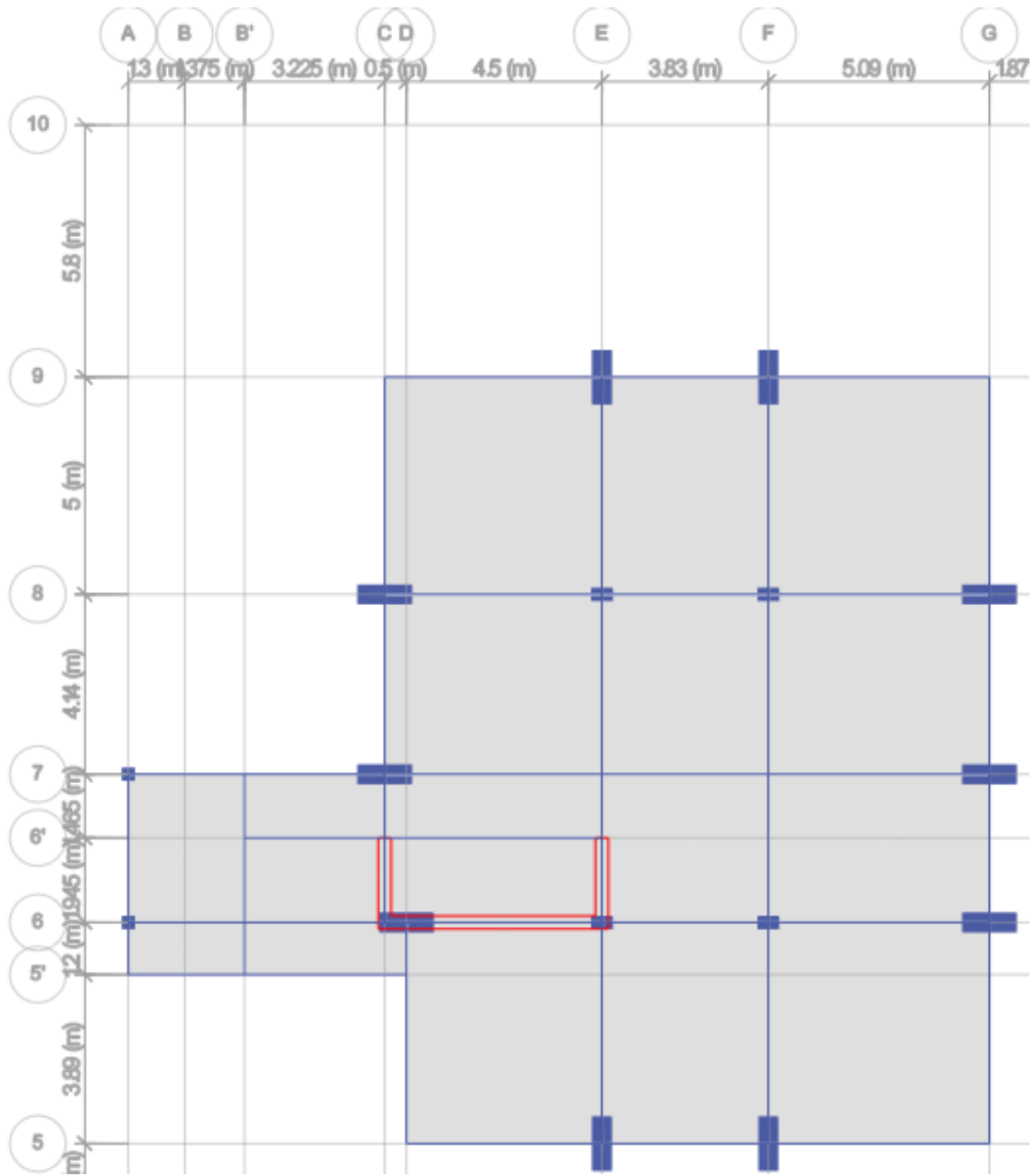
- **Planta Niveles #2 y #3:**

Figura 33 Planta nivel #2 y #3



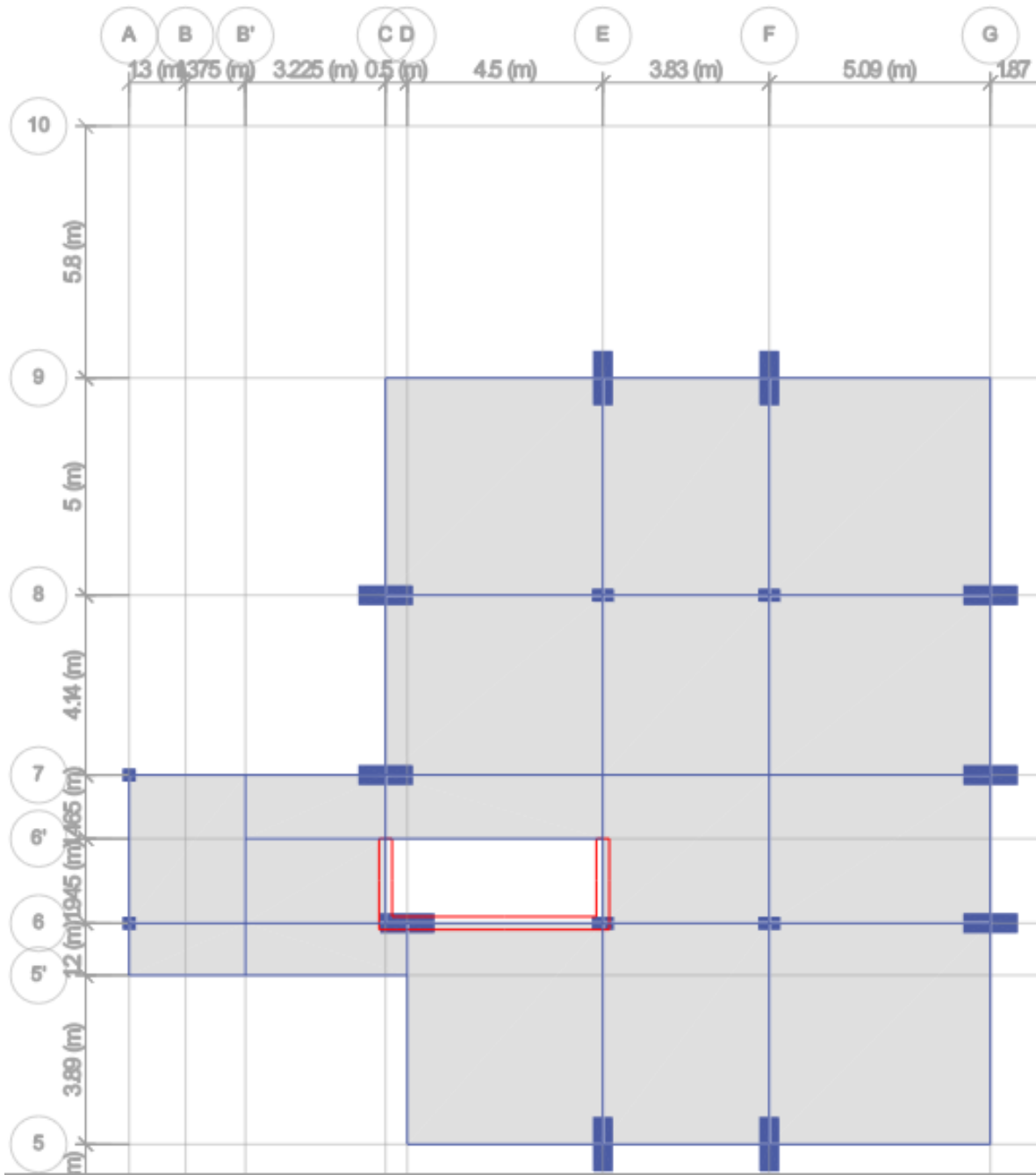
- **Planta Nivel #4:**

Figura 34 Planta nivel #4



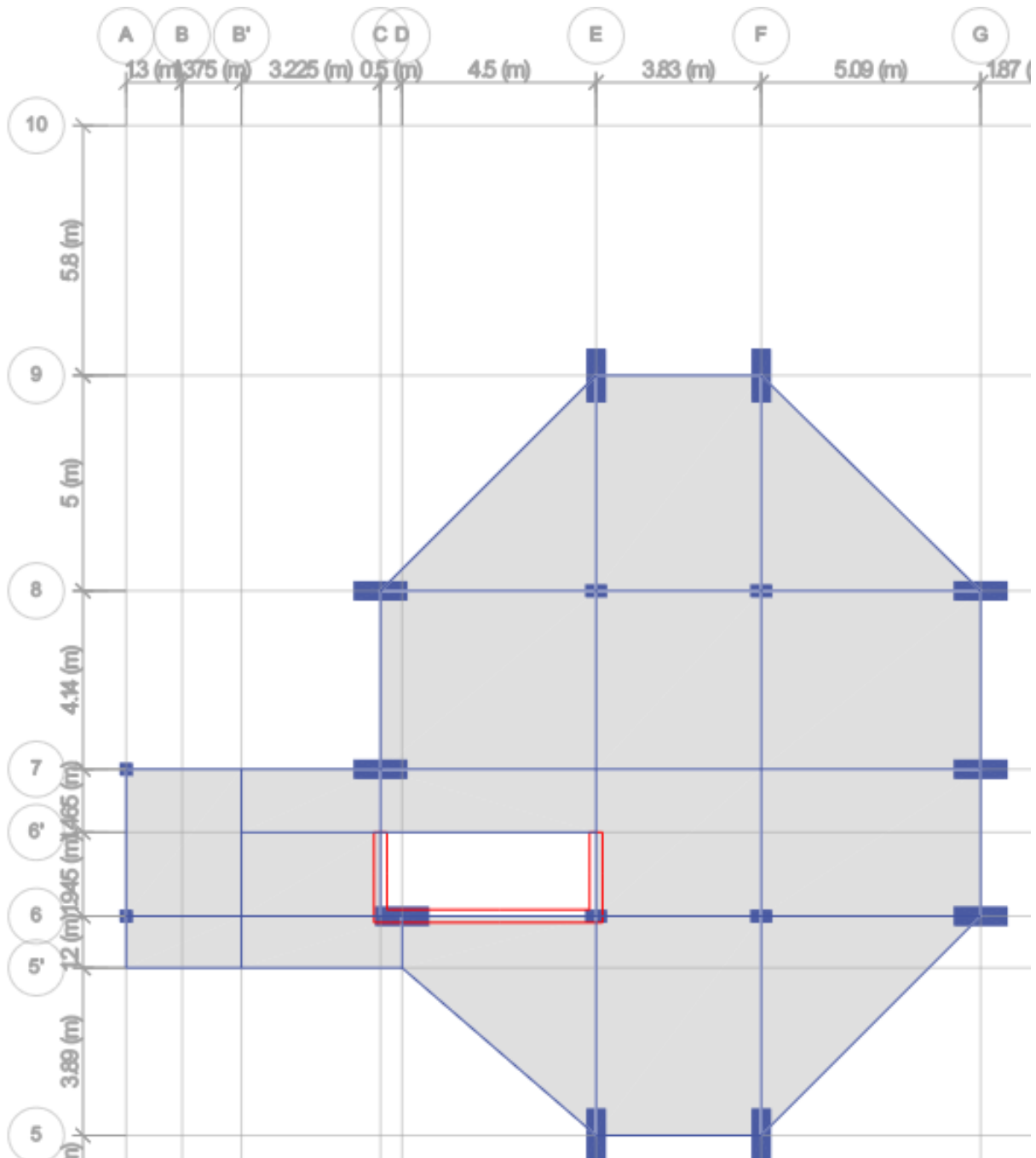
- **Planta Niveles #5 al #12 y del #15 al #18:**

Figura 35 Planta nivel #5-#12 al #15-#18



- **Planta Nivel #13 al #14:**

Figura 36 Planta nivel #13 al #14



6.8.2 Dimensiones y resistencia de elementos estructurales.

En la presente estructura se presentan 3 dimensiones de columnas, los cuales son:

- **30x30 cm**
- **30x50 cm**
- **45x125 cm**

Y de elemento viga encontramos dos tipos de dimensiones que son de **40x60 cm** y **20x30 cm**, y se encontró adicional que la losa entrepiso tiene un espesor de **30 cm**.

Figura 38 Columna 30X30

CM, Refuerzo 8#5

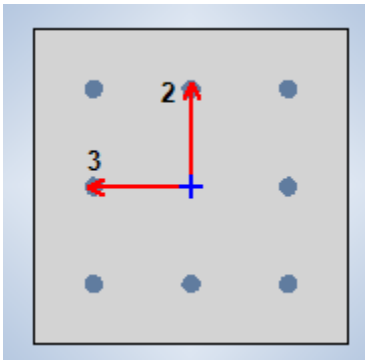


Figura 37 Columna 30X50

CM, Refuerzo 12#5

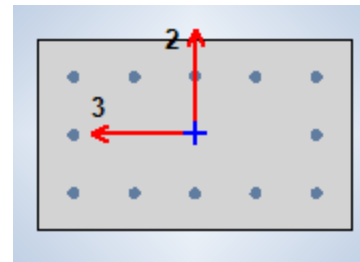


Figura 40 Columna 45X125

CM, Refuerzo 16#8

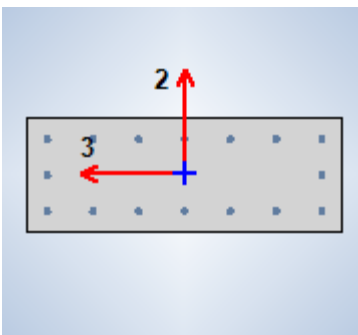


Figura 39 Columna 50X30

CM, Refuerzo 12#5

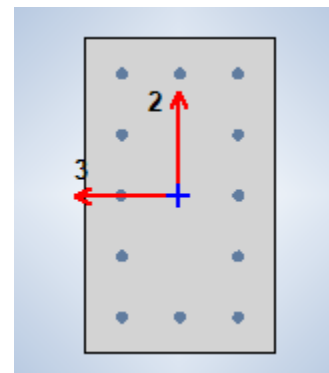


Figura 41 Columna 125X45

CM, Refuerzo 16#8

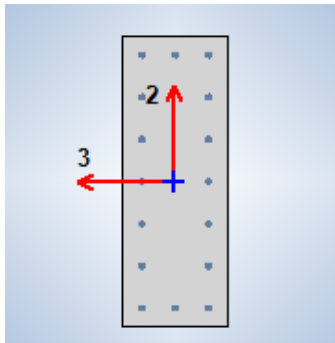


Figura 42 Losa entrepiso espesor 30 cm

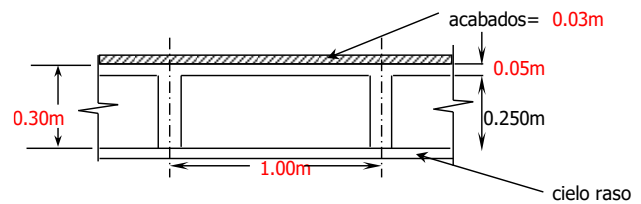


Figura 44 Viga 30X20 cm

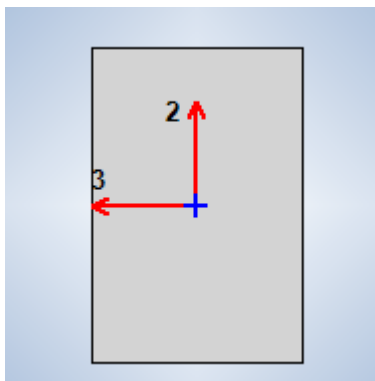
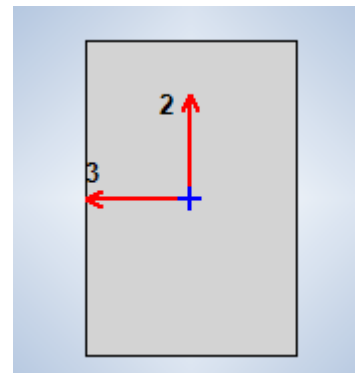


Figura 43 Viga 60X40 cm



Adicionalmente, se tiene que cuenta que estos elementos cuentan con estribos longitudinales #3 cada 20 cm de espaciamiento, y un recubrimiento de 6 cm.

Tabla 9 Resistencia de los materiales.

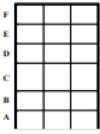
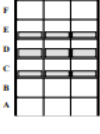
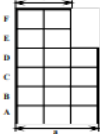
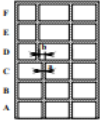
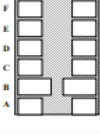


RESISTENCIA DE LOS MATERIALES		
#	RESISTENCIA (PSI)	RESISTENCIA (MPa)
ENSAYO 1	4515.52	31.133
ENSAYO 2	4337.1	29.903
PROMEDIO	4426.31	30.518

Se realizaron 2 ensayos para determinar la resistencia promedio de la estructura, el primero mediante un ensayo destructivo como lo es la extracción de núcleos, y el segundo mediante un ensayo no destructivo que es la esclerometría. La resistencia del material de la estructura es de $f'c = 30.518$ MPa, obtenidos por los ensayos destructivos de extracción de núcleos; también se realizaron los ensayos de esclerometría a los elementos estructurales, pero estos son más imprecisos debido a que son muy susceptibles a factores externos no estructurales tales como elementos que estén pintados, pañetados, enchapados o si su superficie es lisa o rugosa, por lo que se tiene una gran incertidumbre en la toma de muestras.

6.8.3 Irregularidades en altura.

Según el NSR-10, “Tabla A.3-7 Irregularidades en la altura”, existen 7 tipos de irregularidades en altura. La edificación cuenta con irregularidad tipo 1aA (entre el piso 1, 2 y 3 y 3A (en el piso 13 y 14), por lo que $\phi_a = 0.9$.

Figura 45 Irregularidades en altura

<p>Tipo 1aA — Piso flexible $\phi_a = 0.9$ $0.60 \text{ Rigidez } K_D \leq \text{Rigidez } K_C < 0.70 \text{ Rigidez } K_D$ $0.70 (K_D + K_C) / 3 \leq \text{Rigidez } K_C < 0.80 (K_D + K_C) / 3$</p>	
<p>Tipo 1bA — Piso flexible extremo $\phi_a = 0.8$ $\text{Rigidez } K_C < 0.60 \text{ Rigidez } K_D$ $\text{Rigidez } K_C < 0.70 (K_D + K_C) / 3$</p>	
<p>Tipo 2A — Distribución masa — $\phi_a = 0.9$ $m_D > 1.50 m_E$ $m_D > 1.50 m_C$</p>	
<p>Tipo 3A — Geométrica — $\phi_a = 0.9$ $a > 1.30 b$</p>	
<p>Tipo 4A — Desplazamiento dentro del plano de acción — $\phi_a = 0.8$ $b > a$</p>	
<p>Tipo 5aA — Piso débil $\phi_a = 0.9$ $0.65 \text{ Resist. Piso C} \leq \text{Resist. Piso B} < 0.80 \text{ Resist. Piso C}$</p>	
<p>Tipo 5bA — Piso débil extremo $\phi_a = 0.8$ $\text{Resistencia Piso B} < 0.65 \text{ Resistencia Piso C}$</p>	

Nota. Adaptado de (NSR-10; 2010).

6.8.4 Avalúo de Cargas.

Según los planos suministrados por el edificio, se realizó el avalúo de cargas para identificar las cargas muertas no estructurales por piso en la edificación, para chequear la edificación en el software ETABS.

Tabla 10 Carga muerta no estructural

CARGA MUERTA NO ESTRUCTURAL	
PISO	CARGA (KN/M ²)
1	2.9
2	2.8
3 - 4	3.12
5 - 12	2.952
13 - 14	2.440
15 - 17	2.952
CUBIERTA	0.621

Figura 46 Tabla B.4.2.1-1 Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas

Ocupación o uso	Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta	
Reunión	Balcones	5.0	500
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Silletería fija (fijada al piso)	3.0	300
	Gimnasios	5.0	500
	Vestíbulos	5.0	500
	Silletería móvil	5.0	500
	Áreas recreativas	5.0	500
	Plataformas	5.0	500
	Escenarios	7.5	750
Oficinas	Corredores y escaleras	3.0	300
	Oficinas	2.0	200
	Restaurantes	5.0	500
Educativos	Salones de clase	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Bibliotecas		
	Salones de lectura	2.0	200
Fábricas	Estanterías	7.0	700
	Industrias livianas	5.0	500
Institucional	Industrias pesadas	10.0	1000
	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0	400
	Cuartos privados	2.0	200
Comercio	Corredores y escaleras	5.0	500
	Minorista	5.0	500
Residencial	Mayorista	6.0	600
	Balcones	5.0	500
	Cuartos privados y sus corredores	1.8	180
Almacenamiento	Escaleras	3.0	300
	Liviano	6.0	600
Garajes	Pesado	12.0	1200
	Garajes para automóviles de pasajeros	2.5	250
Coliseos y Estadios	Garajes para vehículos de carga de hasta 2.000 kg de capacidad.	5.0	500
	Graderías	5.0	500
	Escaleras	5.0	500

Nota. Adaptado de: (Titulo B NSR-10, 2010).

Figura 47 Tabla B.4.2.1-2 Cargas vivas mínimas en cubiertas

Tabla B.4.2.1-2
Cargas vivas mínimas en cubiertas

Tipo de cubierta	Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
Cubiertas, Azoteas y Terrazas	la misma del resto de la edificación (Nota-1)	la misma del resto de la edificación (Nota-1)
Cubiertas usadas para jardines de cubierta o para reuniones	5.00	500
Cubiertas inclinadas con más de 15° de pendiente en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.35	35
Cubiertas inclinadas con pendiente de 15° o menos en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.50	50

Nota-1 — La carga viva de la cubierta no debe ser menor que el máximo valor de las cargas vivas usadas en el resto de la edificación, y cuando esta tenga uso mixto, tal carga debe ser la mayor de las cargas vivas correspondientes a los diferentes usos.

Nota. Adaptado de: (Titulo B NSR-10, 2010)

6.9. Análisis Dinámico.

Se procede con la información obtenida en base al levantamiento arquitectónico y ensayos destructivos, a diseñar con un programa de elementos finitos, en este caso ETABS, la estructura en 3 dimensiones para saber cómo se comporta bajo un análisis dinámico, que no es más que someter a la estructura a un evento sísmico.

6.9.1 Espectro de Diseño y Resistencia efectiva.

Se realizó el espectro de diseño para el municipio de Villavicencio, Meta, con una consideración según la norma: **A.10.9.2.4 — Intervención de edificaciones diseñadas y construidas antes de la vigencia del Decreto 1400 de 1984** — “Las estructuras según A.10.9.1, diseñadas y construidas antes del 1° de diciembre de 1984, fecha en que entró en vigencia el Decreto 1400 de 1984, deben obtener, como mínimo, al ser intervenidas, el nivel de seguridad limitada prescrito en A.10.4.2.2 y tratarse de acuerdo con los criterios y requisitos del presente Reglamento, de tal manera que la edificación una vez intervenida quede con un índice de sobreesfuerzo y un índice de flexibilidad menores que la unidad. Se permitirá este nivel de seguridad limitada siempre y cuando se acepte por parte del propietario y se incluya, dentro de

los documentos que se presentan para obtener las licencias y permisos correspondientes, un memorial firmado por el diseñador estructural y el propietario en el cual se declare que se utilizó el nivel de seguridad limitada. Este memorial se debe protocolizar mediante escritura pública en Notaría.” (NSR-10, 2010). Es decir, se realizó el espectro de diseño de seguridad limitada debido a que es anterior al decreto 1400 de 1984.

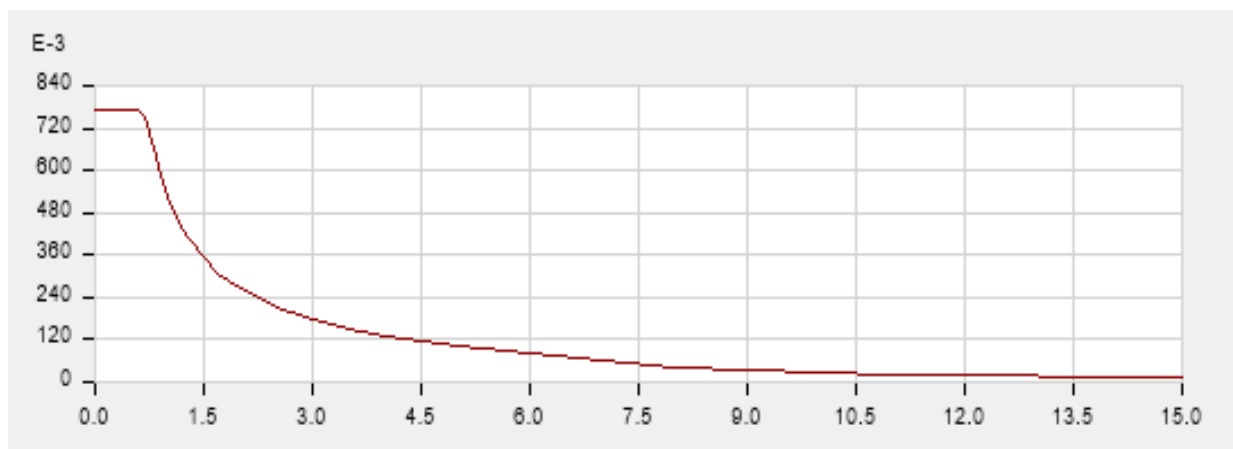
Tabla 11 Caracterización Zona de Amenaza Sísmica.

Ciudad	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica
VILLAVICENCIO	0.2	0.2	Alta

Tabla 12 Factores para espectro de diseño.

Factores	
Aa	0.2
Av	0.2
Fa	1.4
Fv	2
I	1.1
T0	0.14 seg
Tc	0.686 seg
Tl	4.80 seg
Sa	0.77

Figura 48 Espectro de diseño (Seguridad Limitada) de Villavicencio



La resistencia efectiva de la estructura según la inspección visual y los valores de diseño son acordes al Título A.10.4.3.4 – Resistencia Efectiva:

Figura 49 Tabla A.10.4-1

	Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación		
	Buena	Regular	Mala
ϕ_c o ϕ_e	1.0	0.8	0.6

Nota. Adaptado de:(Título A.10.4.3.4, NSR-10, 2010).

Según la calidad del diseño y la construcción y la realización de la visita técnica a la edificación se pudo identificar los valores de $\phi_c = 1$ y $\phi_e = 1$ por lo que edificación tiene un valor de resistencia efectiva de 1, lo que indica que el estado de la estructura es buena.

6.9.2 Combinaciones de Carga.

La estructura está sometida a diferentes tipos de carga, los cuales son la muerta, que es el propio peso de la estructura; la carga muerta no estructural que son los elementos fijos dispuestos en la estructura como el enchape, el cielo raso, el pañete, los acabados, etc.; la carga viva que son las cargas que puede presentar la estructura cuando esté en funcionamiento, como lo son las personas, el mobiliario, etc.; y la carga de sismos que se tiene en cuenta cuando la estructura está sometida a un evento sísmico. Según la NSR-10 “*El diseño debe hacerse para la combinación que produzca el efecto más desfavorable en la edificación, en su cimentación, o en el elemento estructural bajo consideración. El efecto más desfavorable puede ocurrir cuando una o varias de las cargas no actúen*” (NSR-10, 2010). En esta estructura no se tuvo en cuenta la carga de viento, por lo que en total son 18 combinaciones de carga (NSR-10, 2010) a las que la estructura está sometida. Es de importancia conocer las combinaciones de cargas presentes en la estructura, ya que, al chequear y verificarla, nos mostrara los elementos estructurales que se vean mayor afectados por la aplicación de las cargas presentes en el edificio.

Tabla 13 Combinaciones de Carga.

COMBINACIÓN	NOMBRE DE CARGA	VALOR
COMB1	Dead	1.4
	SC	1.4
COMB2	Dead	1.2
	Live	1.6
	SC	1.2
	Live Lr	0.5
COMB3	Dead	1.2
	Live	1
	SC	1.2
	Sx	1
	Sy	0.3
COMB4	Dead	1.2
	Live	1
	SC	1.2
	Sx	-1
	Sy	0.3
COMB5	Dead	1.2
	Live	1
	SC	1.2
	Sx	1
	Sy	-0.3
COMB6	Dead	1.2
	Live	1
	SC	1.2
	Sx	-1
	Sy	-0.3
COMB7	Dead	1.2
	Live	1
	SC	1.2
	Sy	1
	Sx	0.3
COMB8	Dead	1.2
	Live	1
	SC	1.2
	Sy	-1
	Sx	0.3
COMB9	Dead	1.2
	Live	1
	SC	1.2
	Sy	1
	Sx	-0.3

Tabla 13 Continuación

COMB10	Dead	1.2
	Live	1
	SC	1.2
	Sy	-1
	Sx	-0.3
COMB11	Dead	0.9
	SC	0.9
	Sx	1
	Sy	0.3
COMB12	Dead	0.9
	SC	0.9
	Sx	-1
	Sy	0.3
COMB13	Dead	0.9
	SC	0.9
	Sx	1
	Sy	-0.3
COMB14	Dead	0.9
	SC	0.9
	Sx	-1
	Sy	-0.3
COMB15	Dead	0.9
	SC	0.9
	Sy	1
	Sx	0.3
COMB16	Dead	0.9
	SC	0.9
	Sy	-1
	Sx	0.3
COMB17	Dead	0.9
	SC	0.9
	Sy	1
	Sx	-0.3
COMB18	Dead	0.9
	SC	0.9
	Sy	-1
	Sx	-0.3

6.9.3 Ajuste de Resultados.

El ajuste de resultados se realiza con el 80% del valor absoluto de la fuerza horizontal equivalente sentido “x” y “y” dividido entre la fuerza producida por el caso de carga 100% Sismo “X” y “Y”, con el fin de ajustar el cortante en la base y verificar el desplazamiento debido a las acciones sísmicas y así comprobar que no haya ninguna deformación en la estructura.

Tabla 14 Factor de Ajuste para Sismo en X y en Y.

Caso	FX (KN)	FY (KN)
FHEX	-18844.8373	0
FHEY	0	-18844.8373
100% Sismo X	13030.6246	0
100% Sismo Y	0	14268.872
80% FHEX	-15075.8698	0
80% FHEY	0	-15075.8698
Factor de ajuste	1.15696	1.05656

6.9.4 Cortante basal y Fuerza Horizontal Equivalente.

Se define el periodo de la estructura con el exponente k en función del periodo:

Figura 50 Valor “k” A.4.3.2

- (a) Para T menor o igual a 0.5 segundos, $k = 1.0$,
- (b) Para T entre 0.5 y 2.5 segundos, $k = 0.75 + 0.5T$, y
- (c) Para T mayor que 2.5 segundos, $k = 2.0$.

Nota. Adaptado de Título A (NSR-10; 2010).

Tabla 15 Cortante basal y pseudo-aceleración.

Periodo Aproximado	CuTa	2.07 seg
Periodo Natural Modelo	Tn Modelo	1.712 seg
Periodo Natural Análisis	Tn	1.712 seg
Peso total	W	54158.2 KN
Pseudo Aceleración	Sa	0.3084112 g
Cortante Basal	Vs	16703.0 KN
Factor k	k	1.606

El cálculo del cortante basal permite determinar la fuerza lateral total como consecuencia de las fuerzas inercia que se induce a un sistema de N-grados de libertad, distribuyéndolo posteriormente a lo largo de las diferentes alturas de la estructura (Tesis en red, 2019).

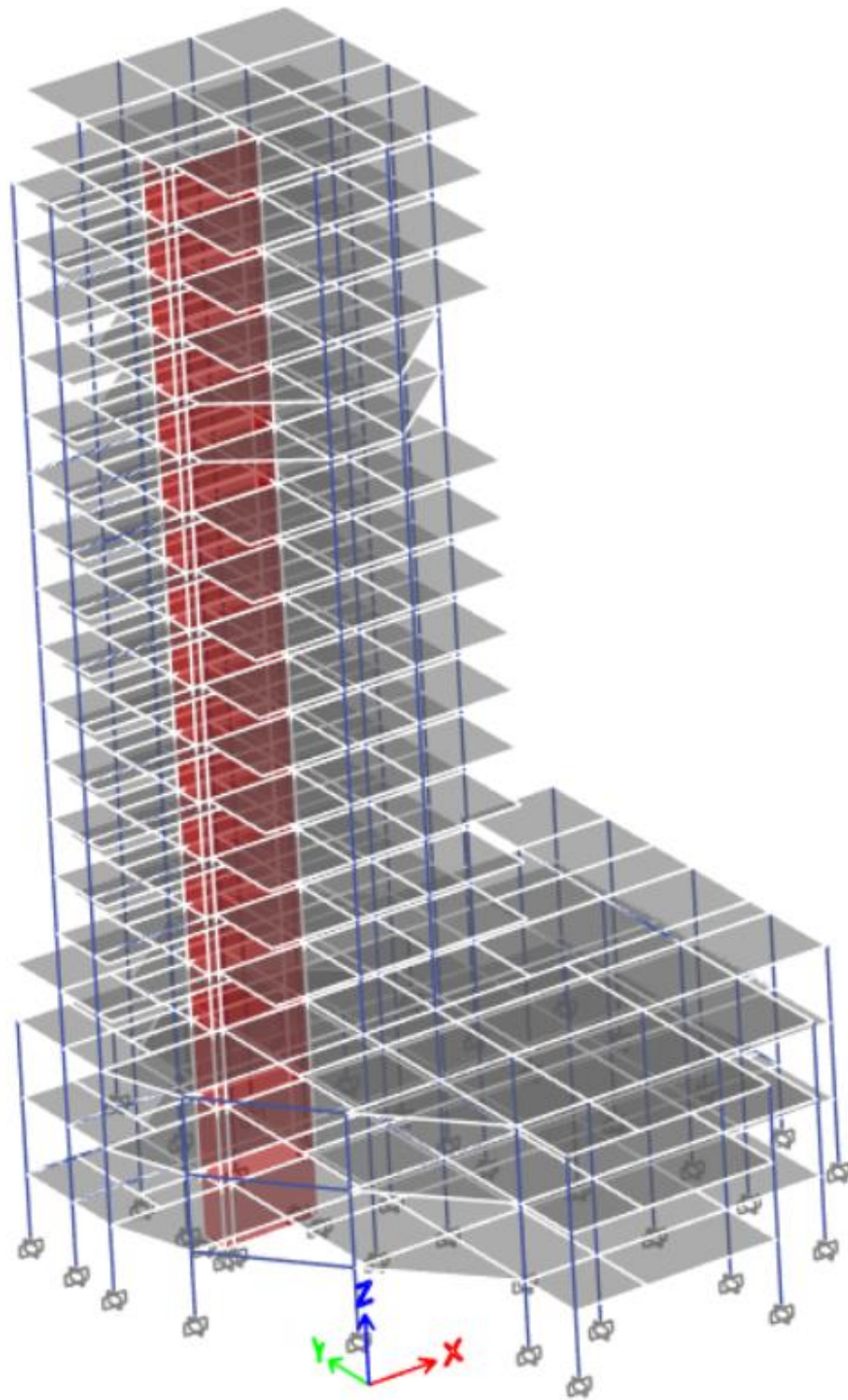
A su vez, la pseudoaceleración nos indica la aceleración en función de la gravedad a la que la estructura está sometida en un evento sísmico.

Tabla 16 Fuerza Horizontal Equivalente Edificio Parque Santander.

FUERZAS POR PISO METODO DE FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE					
Piso	Altura [m]	Peso [KN]	wh^k	C_{vi}	F_i [KN]
18	2.90	1931.23	10676.92	0.03	517.07
17	2.90	2809.35	15531.64	0.05	752.18
16	2.90	2809.35	15531.64	0.05	752.18
15	2.90	2809.35	15531.64	0.05	752.18
14	2.90	2395.78	13245.18	0.04	641.45
13	2.90	2395.78	13245.18	0.04	641.45
12	2.90	2809.35	15531.64	0.05	752.18
11	2.90	2809.35	15531.64	0.05	752.18
10	2.90	2809.35	15531.64	0.05	752.18
9	2.90	2809.35	15531.64	0.05	752.18
8	2.90	2809.35	15531.64	0.05	752.18
7	2.90	2809.35	15531.64	0.05	752.18
6	2.90	2809.35	15531.64	0.05	752.18
5	2.90	2809.35	15531.64	0.05	752.18
4	2.90	3031.20	16758.14	0.05	811.58
3	3.90	6096.78	54243.79	0.16	2626.97
2	3.90	7404.55	65879.17	0.19	3190.46
Σ	51.30	54158.19	344896.47	1.00	16702.99

La fuerza horizontal equivalente es un método de análisis que nos permite verificar la rigidez de la estructura ante los desplazamientos que provoca algún evento sísmico. Hallada por piso nos permite identificar la fuerza horizontal que recibe cada piso dado un evento sísmico.

Figura 51 Modelo del Edificio Parque Santander en el software ETABS



6.9.5 Porcentaje de participación de masas (Periodo de la estructura).

Número de modos de vibración: Deben incluirse en el análisis dinámico todos los modos de vibración que contribuyan de una manera significativa a la respuesta dinámica de la estructura. Se considera que se ha cumplido este requisito cuando se demuestra que, con el número de modos empleados, p , se ha incluido en el cálculo de la respuesta, de cada una de las direcciones horizontales de análisis, j , por lo menos el 90% de la masa participante de la estructura.

Es de importancia conocer los modos de participación de la estructura, en este caso el primer periodo, asociado al primer modo de vibración, es el periodo denominado como periodo propio fundamental de la estructura, pues representa a su vez la frecuencia que presenta el valor más bajo ($f=0.57143$ Hz), esto hace referencia que necesita de una menor energía para ocurrir, y corresponde a una mayor deformabilidad de la estructura. La participación de masa disminuye a medida que el periodo baja, y se puede concluir que los 5 primeros modos, son los que más afectan a la estructura, pues tienen una sumatoria de participación de masas de más del 60% en la dirección “X” y “Y”.

Tabla 17 Modos de participación de masas en la estructura.

Modos de participación de masas en la estructura					
Modal	Periodo (S)	UX	UY	SumUX	SumUY
1	1.75	0.1255	0.4634	0.1255	0.4634
2	1.665	0.2329	0.157	0.3584	0.6204
3	1.198	0.2353	0.0128	0.5937	0.6332
4	0.59	0.0032	0.0749	0.5969	0.7081
5	0.526	0.0155	0.0959	0.6124	0.804
6	0.416	0.0769	0.0075	0.6893	0.8115
7	0.337	0.103	0.0268	0.7923	0.8383
8	0.269	0.0104	0.0407	0.8028	0.879
9	0.255	0.0037	0.006	0.8065	0.885
10	0.189	0.0325	0.0005	0.8389	0.8855
11	0.177	0.0167	0.0322	0.8556	0.9177
12	0.164	0.0368	0.0034	0.8925	0.9211
13	0.154	0.0044	0.0035	0.8968	0.9246
14	0.123	0.0015	0.0008	0.8984	0.9253
15	0.119	0.0003	0.0192	0.8987	0.9446
16	0.109	0.0044	0.0022	0.903	0.9467
17	0.106	0.0311	0.0004	0.9341	0.9471

Tabla 17 Continuación

18	0.092	0.0021	0.0014	0.9362	0.9485
19	0.089	0.0006	0.0154	0.9369	0.9639
20	0.076	0.0163	0.001	0.9532	0.9649
21	0.073	0.0064	0.001	0.9596	0.9659
22	0.07	0.0027	0.0104	0.9622	0.9763
23	0.062	0.0033	0.0001	0.9655	0.9764
24	0.059	0.0093	0.0029	0.9748	0.9794
25	0.056	0.0058	0.0045	0.9806	0.9839
26	0.052	0.0003	9.079E-06	0.981	0.9839
27	0.048	0.0051	0.003	0.9861	0.9869
28	0.047	0.0023	0.0047	0.9884	0.9916
29	0.045	0.0018	0.00003132	0.9902	0.9916
30	0.042	0.0016	0.0052	0.9919	0.9968
31	0.041	0.0016	0.0001	0.9935	0.9969
32	0.039	0.002	0.0012	0.9955	0.9981
33	0.039	0.0015	0.0006	0.9969	0.9987
34	0.037	0.0011	0.0003	0.998	0.999
35	0.035	0.0003	0.0000027	0.9983	0.999
36	0.035	0.0014	0.0007	0.9997	0.9998
37	0.033	0.00001547	0.00002228	0.9997	0.9998
38	0.032	6.154E-06	0.0001	0.9998	0.9999
39	0.031	0.0002	0.0001	0.9999	0.9999
40	0.03	0.00002564	1.342E-06	1	0.9999
41	0.029	0	1.495E-06	1	0.9999
42	0.028	5.285E-07	0.00002184	1	1
43	0.028	0.00002317	0.00001798	1	1
44	0.026	4.245E-06	6.832E-07	1	1
45	0.024	5.682E-06	0.00000538	1	1
46	0.023	0	2.945E-06	1	1
47	0.022	1.773E-06	0	1	1
48	0.021	0	5.627E-07	1	1

6.9.6 Cálculo de la deriva de la estructura.

Se entiende por deriva el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos de la edificación, la determinar la flexibilidad de la estructura es un parámetro descrito en la NSR-10.

Tabla 18 Desplazamientos de la Estructura.

Historial de Desplazamientos de la Estructura					
Planta	Caso de Carga	Dirección	Deriva	Deriva (%)	Label
18	100% Sism Y	X	0.0022280	0.223%	52
18	100% Sism Y	Y	0.0045360	0.454%	54
18	100% Sism X	X	0.0046170	0.462%	49
18	100% Sism X	Y	0.0032410	0.324%	54
17	100% Sism Y	X	0.0025530	0.255%	52
17	100% Sism Y	Y	0.0048590	0.486%	54
17	100% Sism X	X	0.0048360	0.484%	49
17	100% Sism X	Y	0.0038440	0.384%	28
16	100% Sism Y	X	0.0029370	0.294%	52
16	100% Sism Y	Y	0.0053990	0.540%	49
16	100% Sism X	X	0.0055760	0.558%	52
16	100% Sism X	Y	0.0045130	0.451%	54
15	100% Sism Y	X	0.0032390	0.324%	9
15	100% Sism Y	Y	0.0060840	0.608%	19
15	100% Sism X	X	0.0062420	0.624%	9
15	100% Sism X	Y	0.0051010	0.510%	54
14	100% Sism Y	X	0.0034380	0.344%	9
14	100% Sism Y	Y	0.0066520	0.665%	17
14	100% Sism X	X	0.0067880	0.679%	9
14	100% Sism X	Y	0.0055520	0.555%	28
13	100% Sism Y	X	0.0036230	0.362%	9
13	100% Sism Y	Y	0.0072380	0.724%	14
13	100% Sism X	X	0.0074100	0.741%	8
13	100% Sism X	Y	0.0061750	0.618%	54
12	100% Sism Y	X	0.0037480	0.375%	52
12	100% Sism Y	Y	0.0077750	0.778%	49
12	100% Sism X	X	0.0080470	0.805%	52
12	100% Sism X	Y	0.0066800	0.668%	54
11	100% Sism Y	X	0.0037730	0.377%	52
11	100% Sism Y	Y	0.0081660	0.817%	49
11	100% Sism X	X	0.0086050	0.861%	52

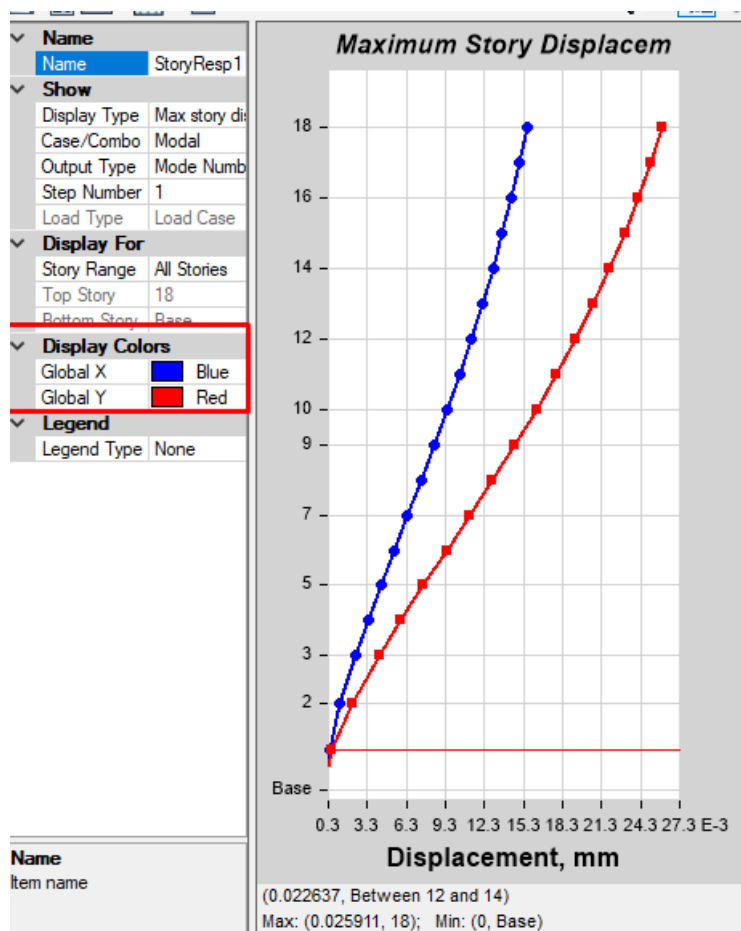
Tabla 18 Continuación

11	100% Sism X	Y	0.0071690	0.717%	54
10	100% Sism Y	X	0.0037400	0.374%	52
10	100% Sism Y	Y	0.0084670	0.847%	10
10	100% Sism X	X	0.0091390	0.914%	52
10	100% Sism X	Y	0.0076160	0.762%	54
9	100% Sism Y	X	0.0036860	0.369%	52
9	100% Sism Y	Y	0.0087020	0.870%	49
9	100% Sism X	X	0.0096420	0.964%	52
9	100% Sism X	Y	0.0080100	0.801%	28
8	100% Sism Y	X	0.0036400	0.364%	52
8	100% Sism Y	Y	0.0088830	0.888%	49
8	100% Sism X	X	0.0100750	1.008%	52
8	100% Sism X	Y	0.0083300	0.833%	54
7	100% Sism Y	X	0.0036270	0.363%	52
7	100% Sism Y	Y	0.0090050	0.901%	49
7	100% Sism X	X	0.0103770	1.038%	52
7	100% Sism X	Y	0.0085480	0.855%	54
6	100% Sism Y	X	0.0036460	0.365%	52
6	100% Sism Y	Y	0.0090330	0.903%	49
6	100% Sism X	X	0.0104580	1.046%	52
6	100% Sism X	Y	0.0086130	0.861%	54
5	100% Sism Y	X	0.0036270	0.363%	52
5	100% Sism Y	Y	0.0088540	0.885%	10
5	100% Sism X	X	0.0101290	1.013%	52
5	100% Sism X	Y	0.0084040	0.840%	28
4	100% Sism Y	X	0.0033880	0.339%	9
4	100% Sism Y	Y	0.0080800	0.808%	14
4	100% Sism X	X	0.0089890	0.899%	9
4	100% Sism X	Y	0.0076460	0.765%	29
3	100% Sism Y	X	0.0040170	0.402%	48
3	100% Sism Y	Y	0.0073980	0.740%	12
3	100% Sism X	X	0.0091610	0.916%	48
3	100% Sism X	Y	0.0074210	0.742%	12
2	100% Sism Y	X	0.0049060	0.491%	48
2	100% Sism Y	Y	0.0073510	0.735%	36
2	100% Sism X	X	0.0086000	0.860%	48
2	100% Sism X	Y	0.0072010	0.720%	36
1	100% Sism Y	X	0.0030730	0.307%	48
1	100% Sism Y	Y	0.0041320	0.413%	36
1	100% Sism X	X	0.0049960	0.500%	48
1	100% Sism X	Y	0.0041910	0.419%	36

La deriva de un elemento, debe ser igual o inferior al 1% de la relación de desplazamientos relativos sobre la altura del piso, por lo tanto, los elementos resaltados en rojo en la tabla, son los que no cumplen las derivas, aunque por muy poco, por ejemplo, la mayor deriva es 1.046%, es decir 0.046% por encima del límite, por lo que se podría decir que en la práctica cumple “in extremis” la deriva máxima permisible. Si las derivas fuesen muy altas, tendrían un efecto negativo en la estructura, ya que se tendería a inclinarse y a torsionarse, por lo que las columnas podrían recibir cargas excéntricas que no deberían soportar, y por ende puede haber fallos en la resistencia estructural de los elementos que conforman el edificio.

6.9.7 Historial de máximos desplazamientos.

Figura 52 Historial máximos desplazamientos



El gráfico y la tabla suministrada, nos muestran analítica y gráficamente como se desplaza el edificio en su periodo natural modal, que es de 1.75 segundos, los valores mostrados en azul corresponden al “eje X”, y los valores mostrados en rojo corresponden al “eje Y”, podemos observar que la estructura tiene un mayor desplazamiento a lo largo de su eje y, esto quiere decir que es más rígida en sentido “X” y más flexible en sentido “Y”, la gráfica mostrada relaciona la altura y el nivel de la planta versus el desplazamiento en milímetros.

Tabla 19 Historial máximos desplazamientos.

Historial de Desplazamientos			
PLANTA	Elevación (m)	X-Dir (mm)	Y-Dir (mm)
18	51.3	0.016	0.026
17	48.4	0.015	0.025
16	45.5	0.014	0.024
15	42.6	0.014	0.023
14	39.7	0.013	0.022
13	36.8	0.012	0.021
12	33.9	0.011	0.019
11	31	0.01	0.018
10	28.1	0.009	0.016
9	25.2	0.008	0.015
8	22.3	0.007	0.013
7	19.4	0.006	0.011
6	16.5	0.005	0.009
5	13.6	0.004	0.008
4	10.7	0.003	0.006
3	7.8	0.002	0.004
2	3.9	0.001	0.002
1	0	0.0004049	0.001
Base	-3.2	0	0

6.9.8 Índice de Flexibilidad y Vulnerabilidad en Columnas

Tabla 20 Índice Flexibilidad General É Índice de Vulnerabilidad de Columnas.

INDICE FLEXIBILIDAD GENERAL É INDICE DE VULNERABILIDAD.								
Planta	Caso de Carga	Dir	Deriva	Deriva (%)	IFL	IFL (%)	IVL (%)	Label
18	100% Sism Y	X	0.0022	0.223%	0.223	22.280%	4.49%	52
18	100% Sism Y	Y	0.0045	0.454%	0.454	45.360%	2.20%	54
18	100% Sism X	X	0.0046	0.462%	0.462	46.170%	2.17%	49
18	100% Sism X	Y	0.0032	0.324%	0.324	32.410%	3.09%	54
17	100% Sism Y	X	0.0026	0.255%	0.255	25.530%	3.92%	52
17	100% Sism Y	Y	0.0049	0.486%	0.486	48.590%	2.06%	54
17	100% Sism X	X	0.0048	0.484%	0.484	48.360%	2.07%	49
17	100% Sism X	Y	0.0038	0.384%	0.384	38.440%	2.60%	28
16	100% Sism Y	X	0.0029	0.294%	0.294	29.370%	3.40%	52
16	100% Sism Y	Y	0.0054	0.540%	0.540	53.990%	1.85%	49
16	100% Sism X	X	0.0056	0.558%	0.558	55.760%	1.79%	52
16	100% Sism X	Y	0.0045	0.451%	0.451	45.130%	2.22%	54
15	100% Sism Y	X	0.0032	0.324%	0.324	32.390%	3.09%	9
15	100% Sism Y	Y	0.0061	0.608%	0.608	60.840%	1.64%	19
15	100% Sism X	X	0.0062	0.624%	0.624	62.420%	1.60%	9
15	100% Sism X	Y	0.0051	0.510%	0.510	51.010%	1.96%	54
14	100% Sism Y	X	0.0034	0.344%	0.344	34.380%	2.91%	9
14	100% Sism Y	Y	0.0067	0.665%	0.665	66.520%	1.50%	17
14	100% Sism X	X	0.0068	0.679%	0.679	67.880%	1.47%	9
14	100% Sism X	Y	0.0056	0.555%	0.555	55.520%	1.80%	28
13	100% Sism Y	X	0.0036	0.362%	0.362	36.230%	2.76%	9
13	100% Sism Y	Y	0.0072	0.724%	0.724	72.380%	1.38%	14
13	100% Sism X	X	0.0074	0.741%	0.741	74.100%	1.35%	8
13	100% Sism X	Y	0.0062	0.618%	0.618	61.750%	1.62%	54
12	100% Sism Y	X	0.0037	0.375%	0.375	37.480%	2.67%	52
12	100% Sism Y	Y	0.0078	0.778%	0.778	77.750%	1.29%	49
12	100% Sism X	X	0.0080	0.805%	0.805	80.470%	1.24%	52
12	100% Sism X	Y	0.0067	0.668%	0.668	66.800%	1.50%	54
11	100% Sism Y	X	0.0038	0.377%	0.377	37.730%	2.65%	52
11	100% Sism Y	Y	0.0082	0.817%	0.817	81.660%	1.22%	49
11	100% Sism X	X	0.0086	0.861%	0.861	86.050%	1.16%	52
11	100% Sism X	Y	0.0072	0.717%	0.717	71.690%	1.39%	54
10	100% Sism Y	X	0.0037	0.374%	0.374	37.400%	2.67%	52
10	100% Sism Y	Y	0.0085	0.847%	0.847	84.670%	1.18%	10

Tabla 20 Continuación

10	100% Sism X	X	0.0091	0.914%	0.914	91.390%	1.09%	52
10	100% Sism X	Y	0.0076	0.762%	0.762	76.160%	1.31%	54
9	100% Sism Y	X	0.0037	0.369%	0.369	36.860%	2.71%	52
9	100% Sism Y	Y	0.0087	0.870%	0.870	87.020%	1.15%	49
9	100% Sism X	X	0.0096	0.964%	0.964	96.420%	1.04%	52
9	100% Sism X	Y	0.0080	0.801%	0.801	80.100%	1.25%	28
8	100% Sism Y	X	0.0036	0.364%	0.364	36.400%	2.75%	52
8	100% Sism Y	Y	0.0089	0.888%	0.888	88.830%	1.13%	49
8	100% Sism X	X	0.0101	1.008%	1.008	100.750%	0.99%	52
8	100% Sism X	Y	0.0083	0.833%	0.833	83.300%	1.20%	54
7	100% Sism Y	X	0.0036	0.363%	0.363	36.270%	2.76%	52
7	100% Sism Y	Y	0.0090	0.901%	0.901	90.050%	1.11%	49
7	100% Sism X	X	0.0104	1.038%	1.038	103.770%	0.96%	52
7	100% Sism X	Y	0.0085	0.855%	0.855	85.480%	1.17%	54
6	100% Sism Y	X	0.0036	0.365%	0.365	36.460%	2.74%	52
6	100% Sism Y	Y	0.0090	0.903%	0.903	90.330%	1.11%	49
6	100% Sism X	X	0.0105	1.046%	1.046	104.580%	0.96%	52
6	100% Sism X	Y	0.0086	0.861%	0.861	86.130%	1.16%	54
5	100% Sism Y	X	0.0036	0.363%	0.363	36.270%	2.76%	52
5	100% Sism Y	Y	0.0089	0.885%	0.885	88.540%	1.13%	10
5	100% Sism X	X	0.0101	1.013%	1.013	101.290%	0.99%	52
5	100% Sism X	Y	0.0084	0.840%	0.840	84.040%	1.19%	28
4	100% Sism Y	X	0.0034	0.339%	0.339	33.880%	2.95%	9
4	100% Sism Y	Y	0.0081	0.808%	0.808	80.800%	1.24%	14
4	100% Sism X	X	0.0090	0.899%	0.899	89.890%	1.11%	9
4	100% Sism X	Y	0.0076	0.765%	0.765	76.460%	1.31%	29
3	100% Sism Y	X	0.0040	0.402%	0.402	40.170%	2.49%	48
3	100% Sism Y	Y	0.0074	0.740%	0.740	73.980%	1.35%	12
3	100% Sism X	X	0.0092	0.916%	0.916	91.610%	1.09%	48
3	100% Sism X	Y	0.0074	0.742%	0.742	74.210%	1.35%	12
2	100% Sism Y	X	0.0049	0.491%	0.491	49.060%	2.04%	48
2	100% Sism Y	Y	0.0074	0.735%	0.735	73.510%	1.36%	36
2	100% Sism X	X	0.0086	0.860%	0.860	86.000%	1.16%	48
2	100% Sism X	Y	0.0072	0.720%	0.720	72.010%	1.39%	36
1	100% Sism Y	X	0.0031	0.307%	0.307	30.730%	3.25%	48
1	100% Sism Y	Y	0.0041	0.413%	0.413	41.320%	2.42%	36
1	100% Sism X	X	0.0050	0.500%	0.500	49.960%	2.00%	48
1	100% Sism X	Y	0.0042	0.419%	0.419	41.910%	2.39%	36
INDICE DE FLEXIBILIDAD MAXIMO HORIZONTAL						104.580%	4.488%	52

Esto nos permite identificar las columnas que tengan mayor grado de flexibilidad, lo cual nos indica que son las que tienen menor rigidez, si es mayor al 100% significa que el elemento es flexible y por lo tanto no es rígido, lo que lo hace más vulnerable ante solicitaciones sísmicas.

6.9.9 Índice de Flexibilidad en Vigas

Tabla 21 Índice de Flexibilidad para vigas.

Planta	Label	Uz (m)	Luz (m)	ULim (m)	IFL VIGAS	IFL VIGAS (%)
18	95	-0.0161	5.09	-0.0212	0.7572	75.72%
18	96	-0.0139	5.09	-0.0212	0.6559	65.59%
18	147	-0.0163	5.09	-0.0212	0.7686	76.86%
18	151	-0.0137	5.09	-0.0212	0.6467	64.67%
18	182	-0.0150	5.09	-0.0212	0.7067	70.67%
18	111	-0.0100	3.83	-0.0160	0.6276	62.76%
17	95	-0.0164	5.09	-0.0212	0.7746	77.46%
17	96	-0.0141	5.09	-0.0212	0.6669	66.69%
17	151	-0.0144	5.09	-0.0212	0.6778	67.78%
17	182	-0.0156	5.09	-0.0212	0.7338	73.38%
17	111	-0.0101	3.83	-0.0160	0.6327	63.27%
16	95	-0.0163	5.09	-0.0212	0.7691	76.91%
16	96	-0.0141	5.09	-0.0212	0.6630	66.30%
16	151	-0.0143	5.09	-0.0212	0.6740	67.40%
16	182	-0.0155	5.09	-0.0212	0.7294	72.94%
16	111	-0.0100	3.83	-0.0160	0.6268	62.68%
15	95	-0.0161	5.09	-0.0212	0.7599	75.99%
15	96	-0.0139	5.09	-0.0212	0.6554	65.54%
15	147	-0.0168	5.09	-0.0212	0.7921	79.21%
15	151	-0.0142	5.09	-0.0212	0.6717	67.17%
15	182	-0.0153	5.09	-0.0212	0.7209	72.09%
15	111	-0.0098	3.83	-0.0160	0.6143	61.43%
14	93	-0.0121	3.83	-0.0160	0.7587	75.87%
14	111	-0.0098	3.83	-0.0160	0.6169	61.69%
14	95	-0.0155	5.09	-0.0212	0.7297	72.97%
14	96	-0.0134	5.09	-0.0212	0.6298	62.98%
14	182	-0.0151	5.09	-0.0212	0.7121	71.21%
13	95	-0.0151	5.09	-0.0212	0.7129	71.29%

Tabla 21 Continuación

13	96	-0.0131	5.09	-0.0212	0.6158	61.58%
13	182	-0.0148	5.09	-0.0212	0.6970	69.70%
13	93	-0.0118	3.83	-0.0160	0.7415	74.15%
13	101	-0.0125	3.83	-0.0160	0.7838	78.38%
13	111	-0.0096	3.83	-0.0160	0.6011	60.11%
12	93	-0.0115	3.83	-0.0160	0.7194	71.94%
12	101	-0.0118	3.83	-0.0160	0.7411	74.11%
12	111	-0.0091	3.83	-0.0160	0.5673	56.73%
12	95	-0.0151	5.09	-0.0212	0.7097	70.97%
12	96	-0.0130	5.09	-0.0212	0.6137	61.37%
12	147	-0.0157	5.09	-0.0212	0.7407	74.07%
12	151	-0.0134	5.09	-0.0212	0.6332	63.32%
12	182	-0.0143	5.09	-0.0212	0.6759	67.59%
11	95	-0.0145	5.09	-0.0212	0.6852	68.52%
11	96	-0.0126	5.09	-0.0212	0.5936	59.36%
11	147	-0.0151	5.09	-0.0212	0.7101	71.01%
11	151	-0.0129	5.09	-0.0212	0.6087	60.87%
11	182	-0.0139	5.09	-0.0212	0.6545	65.45%
11	93	-0.0111	3.83	-0.0160	0.6944	69.44%
11	101	-0.0114	3.83	-0.0160	0.7132	71.32%
11	111	-0.0088	3.83	-0.0160	0.5487	54.87%
10	93	-0.0106	3.83	-0.0160	0.6648	66.48%
10	101	-0.0108	3.83	-0.0160	0.6761	67.61%
10	111	-0.0083	3.83	-0.0160	0.5226	52.26%
10	95	-0.0139	5.09	-0.0212	0.6569	65.69%
10	96	-0.0121	5.09	-0.0212	0.5701	57.01%
10	147	-0.0145	5.09	-0.0212	0.6834	68.34%
10	151	-0.0125	5.09	-0.0212	0.5886	58.86%
10	182	-0.0133	5.09	-0.0212	0.6289	62.89%
9	95	-0.0132	5.09	-0.0212	0.6240	62.40%
9	96	-0.0115	5.09	-0.0212	0.5427	54.27%
9	147	-0.0138	5.09	-0.0212	0.6512	65.12%
9	151	-0.0120	5.09	-0.0212	0.5641	56.41%
9	182	-0.0127	5.09	-0.0212	0.5995	59.95%
9	93	-0.0101	3.83	-0.0160	0.6306	63.06%
9	101	-0.0101	3.83	-0.0160	0.6349	63.49%
9	111	-0.0079	3.83	-0.0160	0.4937	49.37%

Tabla 21 Continuación

8	93	-0.0094	3.83	-0.0160	0.5917	59.17%
8	101	-0.0094	3.83	-0.0160	0.5887	58.87%
8	111	-0.0074	3.83	-0.0160	0.4609	46.09%
8	95	-0.0124	5.09	-0.0212	0.5867	58.67%
8	96	-0.0108	5.09	-0.0212	0.5115	51.15%
8	147	-0.0131	5.09	-0.0212	0.6155	61.55%
8	151	-0.0114	5.09	-0.0212	0.5368	53.68%
8	182	-0.0120	5.09	-0.0212	0.5663	56.63%
7	95	-0.0116	5.09	-0.0212	0.5446	54.46%
7	96	-0.0101	5.09	-0.0212	0.4763	47.63%
7	147	-0.0122	5.09	-0.0212	0.5759	57.59%
7	151	-0.0107	5.09	-0.0212	0.5064	50.64%
7	182	-0.0112	5.09	-0.0212	0.5291	52.91%
7	93	-0.0087	3.83	-0.0160	0.5479	54.79%
7	101	-0.0086	3.83	-0.0160	0.5377	53.77%
7	111	-0.0068	3.83	-0.0160	0.4246	42.46%
7	173	-0.0119	3.83	-0.0160	0.7446	74.46%
6	93	-0.0080	3.83	-0.0160	0.4990	49.90%
6	94	-0.0121	3.83	-0.0160	0.7596	75.96%
6	101	-0.0077	3.83	-0.0160	0.4818	48.18%
6	111	-0.0061	3.83	-0.0160	0.3846	38.46%
6	173	-0.0110	3.83	-0.0160	0.6876	68.76%
6	95	-0.0106	5.09	-0.0212	0.4977	49.77%
6	96	-0.0093	5.09	-0.0212	0.4370	43.70%
6	147	-0.0113	5.09	-0.0212	0.5327	53.27%
6	151	-0.0100	5.09	-0.0212	0.4729	47.29%
6	182	-0.0103	5.09	-0.0212	0.4878	48.78%
5	95	-0.0095	5.09	-0.0212	0.4458	44.58%
5	96	-0.0083	5.09	-0.0212	0.3932	39.32%
5	147	-0.0103	5.09	-0.0212	0.4838	48.38%
5	151	-0.0092	5.09	-0.0212	0.4357	43.57%
5	182	-0.0094	5.09	-0.0212	0.4424	44.24%
5	93	-0.0071	3.83	-0.0160	0.4447	44.47%
5	94	-0.0108	3.83	-0.0160	0.6798	67.98%
5	101	-0.0067	3.83	-0.0160	0.4221	42.21%
5	111	-0.0054	3.83	-0.0160	0.3412	34.12%
5	173	-0.0100	3.83	-0.0160	0.6237	62.37%

Tabla 21 Continuación

4	93	-0.0061	3.83	-0.0160	0.3851	38.51%
4	94	-0.0094	3.83	-0.0160	0.5900	59.00%
4	101	-0.0056	3.83	-0.0160	0.3533	35.33%
4	111	-0.0047	3.83	-0.0160	0.2939	29.39%
4	173	-0.0088	3.83	-0.0160	0.5532	55.32%
4	95	-0.0083	5.09	-0.0212	0.3897	38.97%
4	96	-0.0073	5.09	-0.0212	0.3457	34.57%
4	147	-0.0094	5.09	-0.0212	0.4416	44.16%
4	151	-0.0085	5.09	-0.0212	0.4022	40.22%
4	182	-0.0083	5.09	-0.0212	0.3936	39.36%
3	95	-0.0066	5.09	-0.0212	0.3135	31.35%
3	96	-0.0062	5.09	-0.0212	0.2906	29.06%
3	182	-0.0073	5.09	-0.0212	0.3423	34.23%
3	93	-0.0051	3.83	-0.0160	0.3185	31.85%
3	94	-0.0079	3.83	-0.0160	0.4943	49.43%
3	101	-0.0048	3.83	-0.0160	0.3018	30.18%
3	111	-0.0039	3.83	-0.0160	0.2463	24.63%
3	173	-0.0076	3.83	-0.0160	0.4767	47.67%
2	93	-0.0035	3.83	-0.0160	0.2201	22.01%
2	94	-0.0055	3.83	-0.0160	0.3416	34.16%
2	101	-0.0032	3.83	-0.0160	0.1990	19.90%
2	111	-0.0026	3.83	-0.0160	0.1652	16.52%
2	95	-0.0047	5.09	-0.0212	0.2199	21.99%
2	96	-0.0044	5.09	-0.0212	0.2073	20.73%
2	182	-0.0054	5.09	-0.0212	0.2546	25.46%
2	173	-0.0056	3.83	-0.0160	0.3537	35.37%
1	90	-0.0004	3.83	-0.0160	0.0279	2.79%
1	93	-0.0018	3.83	-0.0160	0.1110	11.10%
1	94	-0.0027	3.83	-0.0160	0.1688	16.88%
1	101	-0.0017	3.83	-0.0160	0.1066	10.66%
1	111	-0.0012	3.83	-0.0160	0.0756	7.56%
1	173	-0.0036	3.83	-0.0160	0.2263	22.63%
1	95	-0.0026	5.09	-0.0212	0.1237	12.37%
1	96	-0.0025	5.09	-0.0212	0.1167	11.67%
1	182	-0.0034	5.09	-0.0212	0.1621	16.21%
INDICE DE FLEXIBILIDAD MAXIMO VERTICAL					0.79214145	79.21%

Según los resultados obtenidos, los elementos que poseen un mayor índice de flexibilidad son los que presentan mayor riesgo ya que tienen una menor rigidez, y por lo tanto son más vulnerables a un evento sísmico que se pueda generar con el paso del tiempo, adicional a ello podemos observar que el valor máximo del índice de flexibilidad para vigas es de 0.7921, lo cual no supera el valor máximo que tiene como límite 1, y permite que los elementos sean considerados rígidos.

6.9.10 Índice de Sobre esfuerzo en Vigas y Columnas

A continuación, se muestran los resultados de índices de sobre esfuerzo en elementos estructurales y si cumplen o no, en el “ANEXO C” podemos detallar el índice de flexibilidad en vigas, en el “ANEXO D” el índice de flexibilidad en columnas y en el “ANEXO E” el chequeo por columna fuerte viga débil; allí se podrá encontrar toda la información detallada de índices de sobre esfuerzo y el chequeo de los elementos estructurales. Los elementos que indiquen que se deben reforzar son los que tienen un índice de sobre esfuerzo mayor a 1, lo que nos muestra que soportan mayor sollicitación de las que pueden resistir. A continuación, se muestran los elementos a reforzar según el índice de sobre esfuerzo en columnas.

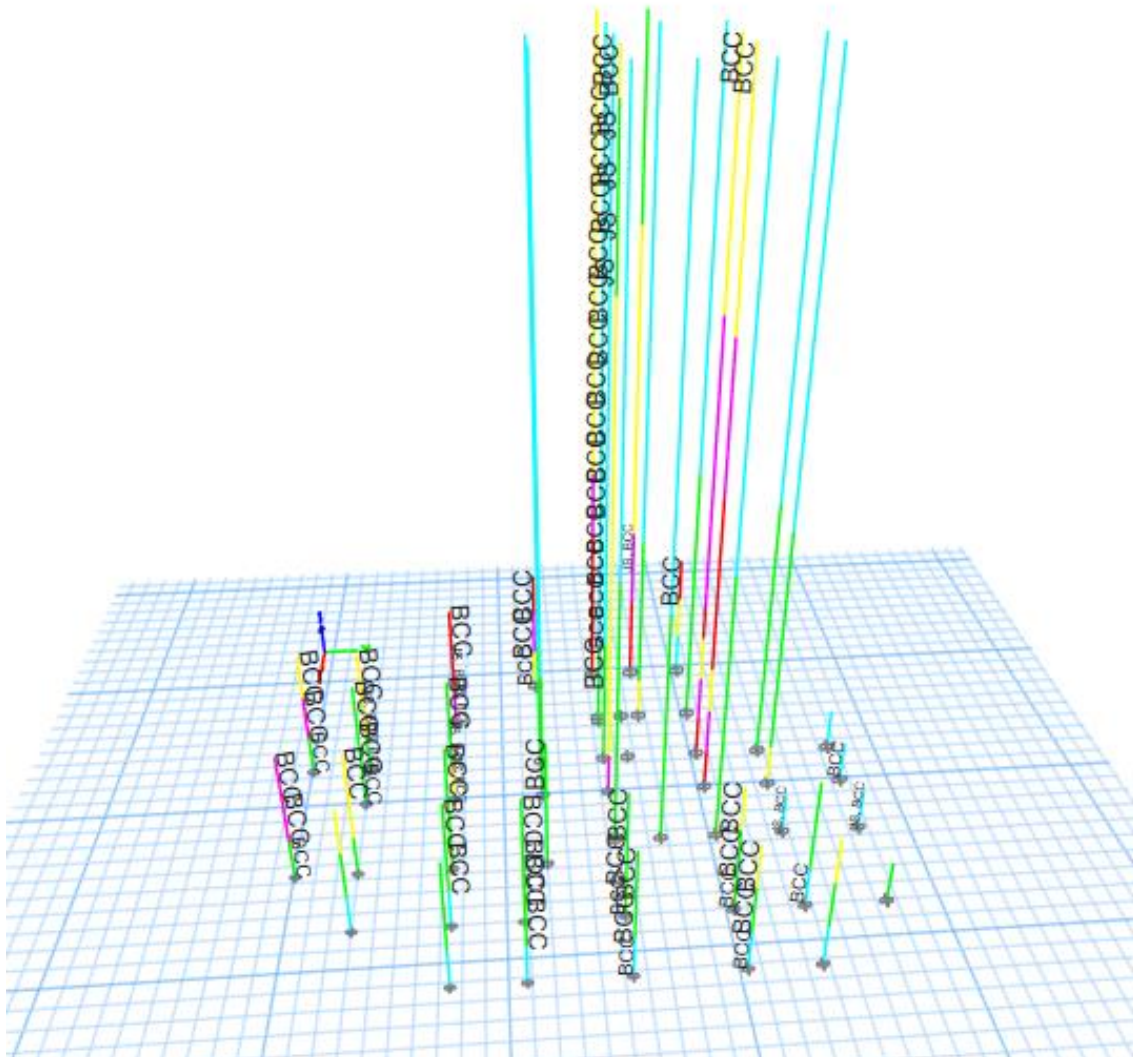
Tabla 22 Índice de Sobre esfuerzo en Columnas (Refuerzo)

#PISO	Label	SECCION	Station	DesignOpt	Status	ISE
8	C13	COL 50X30	0	Check	REFORZAR	1.014
7	C13	COL 50X30	0	Check	REFORZAR	1.021
6	C13	COL 50X30	0	Check	REFORZAR	1.019
5	C13	COL 50X30	0	Check	REFORZAR	1.002
4	C5	COL 50X30	0	Check	REFORZAR	1.003
4	C13	COL 50X30	0	Check	REFORZAR	1.022
4	C25	COL 30X30	0	Check	REFORZAR	1.008
3	C24	COL 30X30	0	Check	REFORZAR	1.091
3	C25	COL 30X30	0	Check	REFORZAR	1.047
3	C25	COL 30X30	3300	Check	REFORZAR	1.003
3	C27	COL 30X30	0	Check	REFORZAR	1.01
3	C38	COL 30X30	0	Check	REFORZAR	1.249
2	C25	COL 30X30	0	Check	REFORZAR	1.091

Tabla 22 Continuación

2	C25	COL 30X30	1650	Check	REFORZAR	1.06
2	C25	COL 30X30	3300	Check	REFORZAR	1.053
2	C26	COL 30X30	0	Check	REFORZAR	1.042
2	C26	COL 30X30	3300	Check	REFORZAR	1.007
2	C38	COL 30X30	0	Check	REFORZAR	1.309
1	C5	COL 50X30	0	Check	REFORZAR	1.012
1	C5	COL 50X30	1300	Check	REFORZAR	1.01
1	C5	COL 50X30	2600	Check	REFORZAR	1.013
1	C13	COL 50X30	0	Check	REFORZAR	1.093
1	C13	COL 50X30	1300	Check	REFORZAR	1.091
1	C13	COL 50X30	2600	Check	REFORZAR	1.089
1	C25	COL 30X30	0	Check	REFORZAR	1.132
1	C25	COL 30X30	1300	Check	REFORZAR	1.136
1	C25	COL 30X30	2600	Check	REFORZAR	1.136
1	C26	COL 30X30	0	Check	REFORZAR	1.05
1	C26	COL 30X30	1300	Check	REFORZAR	1.056
1	C26	COL 30X30	2600	Check	REFORZAR	1.056
MAX		COL 30X30			REFORZAR	1.309

Según los resultados podemos analizar que las columnas de 30x30 son más susceptibles a las cargas que están aplicadas en la estructura, y por lo tanto no cumplen con el refuerzo mínimo solicitado para resistir el esfuerzo que debe resistir el elemento para cumplir su sollicitación.

Figura 53 Falla de columnas

Nota. Adaptado de software de elementos finitos ETABS.

Los colores verdes, indican un buen estado según el índice de sobreesfuerzo, los rojos nos indican los elementos que necesitan reforzamiento.

Tabla 23 Índice de Sobreesfuerzo en Vigas (Refuerzo)

ÍNDICE DE SOBRESFUERZO EN VIGAS													
Piso	Sección	AsTop	AsTop	ISE	CHEQ	AsBot	AsBot	ISE	CHEQ	VRebar	VRebar	ISE	CHEQ
		mm ²				mm ²				cm ² /cm			
18	VG60X40	1545	1530	1.010	REF	747	1530	0.488	OK	0.085	0.071	1.191	REF
18	VG60X40	1766	1530	1.154	REF	74	1530	0.048	OK	0.068	0.071	0.959	OK
17	VG60X40	1629	1530	1.065	REF	786	1530	0.514	OK	0.156	0.071	2.187	REF
17	VG60X40	1829	1530	1.195	REF	878	1530	0.574	OK	0.125	0.071	1.757	REF
17	VG60X40	2269	1530	1.483	REF	119	1530	0.078	OK	0.119	0.071	1.672	REF
17	VG60X40	1680	1530	1.098	REF	119	1530	0.078	OK	0.117	0.071	1.646	REF
16	VG60X40	1656	1530	1.082	REF	798	1530	0.522	OK	0.158	0.071	2.213	REF
16	VG60X40	1833	1530	1.198	REF	880	1530	0.575	OK	0.125	0.071	1.752	REF
16	VG60X40	2357	1530	1.541	REF	127	1530	0.083	OK	0.124	0.071	1.738	REF
16	VG60X40	1749	1530	1.143	REF	127	1530	0.083	OK	0.122	0.071	1.712	REF
15	VG60X40	1695	1530	1.108	REF	817	1530	0.534	OK	0.160	0.071	2.251	REF
15	VG60X40	1846	1530	1.207	REF	886	1530	0.579	OK	0.125	0.071	1.759	REF
15	VG60X40	2451	1530	1.602	REF	136	1530	0.089	OK	0.129	0.071	1.808	REF
15	VG60X40	1824	1530	1.192	REF	136	1530	0.089	OK	0.127	0.071	1.782	REF
14	VG60X40	1742	1530	1.139	REF	838	1530	0.548	OK	0.164	0.071	2.300	REF
14	VG60X40	1762	1530	1.152	REF	848	1530	0.554	OK	0.116	0.071	1.623	REF
14	VG60X40	2534	1530	1.656	REF	141	1530	0.092	OK	0.132	0.071	1.855	REF
14	VG60X40	1893	1530	1.237	REF	141	1530	0.092	OK	0.130	0.071	1.829	REF
13	VG60X40	1760	1530	1.150	REF	838	1530	0.548	OK	0.166	0.071	2.325	REF
13	VG60X40	1744	1530	1.140	REF	828	1530	0.541	OK	0.115	0.071	1.613	REF
13	VG60X40	2620	1530	1.712	REF	161	1530	0.105	OK	0.136	0.071	1.911	REF
13	VG60X40	1962	1530	1.282	REF	161	1530	0.105	OK	0.134	0.071	1.885	REF
12	VG60X40	1798	1530	1.175	REF	864	1530	0.565	OK	0.168	0.071	2.354	REF
12	VG60X40	1851	1530	1.210	REF	888	1530	0.580	OK	0.125	0.071	1.751	REF
12	VG60X40	2687	1530	1.756	REF	160	1530	0.105	OK	0.141	0.071	1.978	REF
12	VG60X40	2011	1530	1.314	REF	160	1530	0.105	OK	0.139	0.071	1.952	REF
11	VG60X40	1831	1530	1.197	REF	879	1530	0.575	OK	0.170	0.071	2.389	REF
11	VG60X40	1846	1530	1.207	REF	886	1530	0.579	OK	0.124	0.071	1.742	REF
11	VG60X40	2747	1530	1.795	REF	168	1530	0.110	OK	0.126	0.071	1.769	REF
11	VG60X40	2058	1530	1.345	REF	168	1530	0.110	OK	0.124	0.071	1.743	REF
10	VG60X40	1842	1530	1.204	REF	884	1530	0.578	OK	0.171	0.071	2.399	REF
10	VG60X40	1828	1530	1.195	REF	878	1530	0.574	OK	0.123	0.071	1.727	REF
10	VG60X40	2787	1530	1.822	REF	175	1530	0.114	OK	0.126	0.071	1.770	REF
10	VG60X40	2091	1530	1.367	REF	228	1530	0.149	OK	0.124	0.071	1.744	REF
9	VG60X40	1842	1530	1.204	REF	884	1530	0.578	OK	0.171	0.071	2.398	REF
9	VG60X40	1802	1530	1.178	REF	866	1530	0.566	OK	0.122	0.071	1.706	REF
9	VG60X40	2811	1530	1.837	REF	181	1530	0.118	OK	0.126	0.071	1.762	REF
9	VG60X40	2110	1530	1.379	REF	291	1530	0.190	OK	0.124	0.071	1.736	REF

Tabla 23 Continuación

8	VG60X40	1826	1530	1.193	REF	877	1530	0.573	OK	0.170	0.071	2.381	REF
8	VG60X40	1765	1530	1.154	REF	849	1530	0.555	OK	0.120	0.071	1.678	REF
8	VG60X40	2817	1530	1.841	REF	252	1530	0.165	OK	0.124	0.071	1.742	REF
8	VG60X40	2116	1530	1.383	REF	350	1530	0.229	OK	0.122	0.071	1.716	REF
7	VG60X40	1792	1530	1.171	REF	861	1530	0.563	OK	0.167	0.071	2.345	REF
7	VG60X40	1714	1530	1.120	REF	825	1530	0.539	OK	0.095	0.071	1.331	REF
7	VG60X40	2801	1530	1.831	REF	318	1530	0.208	OK	0.122	0.071	1.707	REF
7	VG60X40	2106	1530	1.376	REF	404	1530	0.264	OK	0.120	0.071	1.681	REF
6	VG60X40	1736	1530	1.135	REF	836	1530	0.546	OK	0.163	0.071	2.287	REF
6	VG60X40	1648	1530	1.077	REF	795	1530	0.520	OK	0.092	0.071	1.288	REF
6	VG60X40	2761	1530	1.805	REF	374	1530	0.244	OK	0.118	0.071	1.650	REF
6	VG60X40	2076	1530	1.357	REF	450	1530	0.294	OK	0.116	0.071	1.624	REF
5	VG60X40	1654	1530	1.081	REF	797	1530	0.521	OK	0.157	0.071	2.199	REF
5	VG60X40	1564	1530	1.022	REF	756	1530	0.494	OK	0.088	0.071	1.233	REF
5	VG60X40	1624	1530	1.061	REF	1356	1530	0.886	OK	0.246	0.071	3.451	REF
5	VG60X40	2687	1530	1.756	REF	413	1530	0.270	OK	0.138	0.071	1.930	REF
5	VG60X40	2021	1530	1.321	REF	481	1530	0.314	OK	0.136	0.071	1.904	REF
4	VG60X40	1536	1530	1.004	REF	743	1530	0.486	OK	0.148	0.071	2.080	REF
4	VG60X40	1850	1530	1.209	REF	1501	1530	0.981	OK	0.277	0.071	3.893	REF
4	VG60X40	2581	1530	1.687	REF	406	1530	0.265	OK	0.131	0.071	1.842	REF
4	VG60X40	1940	1530	1.268	REF	474	1530	0.310	OK	0.129	0.071	1.816	REF
3	VG60X40	1574	1530	1.029	REF	761	1530	0.497	OK	0.090	0.071	1.260	REF
3	VG60X40	2227	1530	1.456	REF	1806	1530	1.180	REF	0.324	0.071	4.546	REF
3	VG60X40	2466	1530	1.612	REF	331	1530	0.216	OK	0.124	0.071	1.742	REF
3	VG60X40	1852	1530	1.210	REF	414	1530	0.271	OK	0.122	0.071	1.716	REF
2	VG60X40	1566	1530	1.024	REF	757	1530	0.495	OK	0.063	0.071	0.886	OK
2	VG60X40	659	1530	0.431	OK	1578	1530	1.031	REF	0.033	0.071	0.468	OK
2	VG60X40	1542	1530	1.008	REF	659	1530	0.431	OK	0.088	0.071	1.229	REF
2	VG60X40	2119	1530	1.385	REF	1010	1530	0.660	OK	0.089	0.071	1.254	REF
2	VG60X40	2456	1530	1.605	REF	2053	1530	1.342	REF	0.272	0.071	3.818	REF
2	VG60X40	2125	1530	1.389	REF	281	1530	0.184	OK	0.101	0.071	1.421	REF
2	VG60X40	1593	1530	1.041	REF	362	1530	0.237	OK	0.099	0.071	1.394	REF
1	VG60X40	1577	1530	1.031	REF	762	1530	0.498	OK	0.058	0.071	0.821	OK
1	VG60X40	657	1530	0.429	OK	1531	1530	1.001	REF	0.000	0.071	0.000	OK
1	VG60X40	657	1530	0.429	OK	1535	1530	1.003	REF	0.000	0.071	0.000	OK
1	VG60X40	657	1530	0.429	OK	1530	1530	1.000	REF	0.000	0.071	0.000	OK
1	VG60X40	657	1530	0.429	OK	1585	1530	1.036	REF	0.033	0.071	0.468	OK
1	VG60X40	1534	1530	1.003	REF	657	1530	0.429	OK	0.084	0.071	1.184	REF
1	VG60X40	2110	1530	1.379	REF	1006	1530	0.658	OK	0.086	0.071	1.209	REF
1	VG60X40	1736	1530	1.135	REF	1466	1530	0.958	OK	0.263	0.071	3.691	REF
1	VG60X40	1537	1530	1.005	REF	151	1530	0.099	OK	0.066	0.071	0.924	OK

Según los resultados obtenidos mediante el software ETABS, podemos observar que ciertos elementos vigas necesitan reforzamiento, debido a que tienen un índice de sobreesfuerzo mayor a 1, lo que quiere decir que estos elementos soportan más capacidad de la que originalmente se diseñó.

6.9.11 Índice de Vulnerabilidad General

Hallados los índices de flexibilidad general para horizontal y para vertical, procedemos a ordenarlos y resaltar los valores máximos. Esto se hace debido a que los valores máximos nos muestran el mayor grado de flexibilidad del edificio, entre más alto sea el valor de flexibilidad, menor rigidez tendrá, por lo que se relaciona inversamente con el índice de vulnerabilidad que es el inverso del índice de flexibilidad.

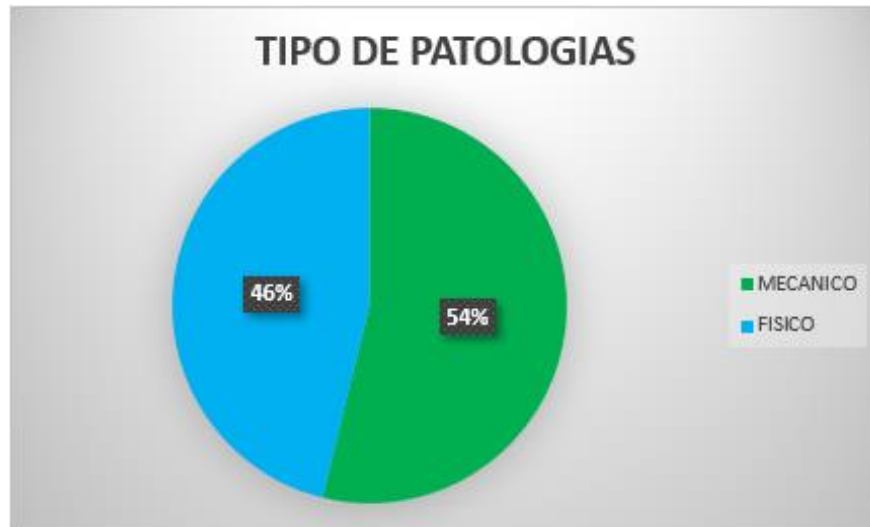
Tabla 24 Índice de Vulnerabilidad.

IFL MAX	VALOR	Índice de Vulnerabilidad
VERTICAL	0.7921	1.2624
HORIZONTAL	1.0458	0.9562

6.10. Análisis de Resultados y Recomendaciones.

6.10.1 Tipos de Patologías Encontradas

Figura 54 Tipos de Patologías Encontradas



Nota: Porcentaje de presencia de tipos de fallas.

En la edificación se encontraron patologías de dos tipos, mecánicas y físicas, repartidas en un 54% y 46% respectivamente.

Figura 55 Patologías Encontradas



El agrietamiento y la humedad son las patologías que más se encuentran presentes en el edificio. Es normal que se presenten este tipo de patologías pues la zona de estudio es afectada por la lluvia, el sol, porque se encuentra expuesta al clima de la ciudad, donde la humedad es alta; el 46% de las patologías son de tipo humedad, el otro 46% es de tipo agrietamiento, y el 8% restante corresponde a descascaramiento; adicional, gracias a la prueba de fenolftaleína, no se encontró un frente de carbonatación por lo que no hay carbonatación presente en los elementos estructurales.

Se encontraron pocas patologías considerando la envergadura de la estructura, lo que indica que el edificio se encuentra en un buen estado de conservación, en donde la administración del edificio Parque Santander se encarga de realizar mantenimientos preventivos y rutinarios donde mitigan este tipo de problemas. Las patologías encontradas no afectan la resistencia de la estructura, pues son superficiales y no generan un riesgo para los elementos estructurales.

6.10.2 Vulnerabilidad Sísmica

Los ensayos de resistencia de materiales, del concreto de la estructura, nos arroja un valor de $f'c = 30.518 \text{ MPa}$, siendo un valor muy alto, del cual sorprende, pues este tipo de edificaciones se construyen con un $f'c = 28 \text{ MPa}$, lo cual es grato encontrar una resistencia tan alta en esta edificación que tiene más de 45 años de construcción.

Según el análisis dinámico modelado en el software de elementos finitos ETABS, la estructura nos muestra que cumple los requerimientos mínimos acordes a la NSR-10, sus derivas cumplen, el parámetro que tienen que ser menor o iguales al 1%, a excepción de 3 que no cumplen por un porcentaje de 0.01%, pero que en la práctica no tienen un nivel de significancia tan alto como para afectar la estructura, es fundamental que cumpla para que la estructura no se desplace en sus ejes “X” y “Y” y no colapse debido a la inclinación que puede generarse debido a esto, a su vez, esto puede originar patologías de tipo estructural a los elementos vigas y columnas tales como fisuras y grietas que puedan conllevar una pérdida de resistencia notable para la estructura.

El periodo de la estructura es de 1.712 segundos, y según la NSR-10 el periodo aproximado dado el número de pisos que es de 18, sería de 1.8 s, dice que es de 0.1 segundos por piso, lo cual no cumple, pero se aproxima bastante al valor teórico esperado.

El índice de flexibilidad de los elementos estructurales, nos muestra que tan flexible es la edificación, con valores iguales o superiores a 1, los elementos se consideran muy flexibles y por lo tanto son más susceptibles a deformaciones, adicionalmente, con los valores del índice de flexibilidad podemos hallar el índice de vulnerabilidad general, que es la inversa del índice de flexibilidad general, esto debido a que entre más flexible sea el elemento, menos rígido va a ser, por lo que se relaciona de manera inversamente proporcional al índice anteriormente mencionado. En el presente estudio, hallado el índice de vulnerabilidad nos dice que en el sentido vertical (vigas) la estructura es un 26.24% más rígida que una estructura construida con el reglamento vigente, y un 4.438% en sentido horizontal (columnas) menos rígida que una estructura construida con el reglamento vigente.

El índice de sobreesfuerzo de los elementos estructurales nos indica si la estructura está lo suficientemente reforzada como para aguantar las solicitaciones que están presentes en el edificio, si el índice es mayor a 1, el elemento se encuentra sobre esforzado y por lo tanto no cumple, debido a que soporta cargas mayores a las de diseño y tiene mayor riesgo de presentar fallas, si el índice es menor a 1, el elemento en cuestión soporta a cabalidad las cargas que actúan sobre él.

6.10.3 Recomendaciones

Se sugieren a continuación dos tipos de recomendaciones de tipo estructural para reforzar la estructura, para los elementos viga se sugiere reforzar con láminas o con perfiles metálicos los elementos vigas que tengan mayor índice de flexibilidad o que presenten mayores esfuerzos.

Figura 56 Refuerzo con Laminas

Nota. Adaptado de: (Epachon, 2014).

También los elementos columnas, que presenten daños según la secuencia de falla, se pueden realizar encamisados, pues es la forma de reforzar un elemento que ha sufrido cambios en su capacidad resistente, envolviendo el elemento estructural actual con una sección adicional de concreto convenientemente armado (aumentando la sección del elemento), reforzándolos frente a compresión, flexión, cortante y torsión garantizando el trabajo simultáneo entre diferentes elementos. (Giraldo, 2018). Se deben aplicar a los elementos columna que presenten un índice de sobreesfuerzo mayor a 1, pues nos indica que la columna está recibiendo mayor esfuerzo del que puede soportar.

Figura 57 Columna durante proceso de recrecido



Nota. Adaptado de: (Epachon, 2014).

Para las patologías encontradas, como la humedad, se recomienda limpiar la superficie e impermeabilizar la zona además de realizar inspecciones técnicas antes de la época de lluvias, adicional es de suma importancia que en los espacios no ventilados tales como el sótano, o las escaleras, se instalen rejillas que permitan el flujo del aire para que el agua no se condense en las paredes y pueda formar humedad, en dado case, es pertinente disponer de extractores de aire para que permitan el movimiento del fluido en el medio y así mitigar la humedad en el área circundante; para los agrietamientos se recomienda sellarlos con mortero, concreto o resinas epóxicas, que permitan sellar las juntas y porosidades que puedan presentar los elementos no estructurales tales como las paredes; mientras que, para los descascaramientos, se recomienda limpiar la superficie y aplicar pañete para posteriormente impermeabilizar la superficie afectada.

7. Resultados Esperados e Impactos

7.1. Resultados Esperados

Tabla 25 Resultados Esperados.

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Levantamiento Arquitectónico de la edificación	Modelado en software AutoCAD	Identificar el estado del inmueble mediante un proceso de desarrollo de estudio patológico y de vulnerabilidad estructural.
Identificación y diagnóstico de patologías presentes en la estructura	Registro fotográfico, descripción de cada patología y antecedentes de la edificación.	Identificar el estado del inmueble mediante un proceso de desarrollo de estudio patológico y de vulnerabilidad estructural.
Propiedades de los elementos estructurales, viga, columna y placa entrepiso	Resistencia obtenida con base en los ensayos destructivos y no destructivos realizados	Determinar las propiedades mecánicas de la edificación mediante los ensayos de esclerometría, ferrosacan y extracción de núcleos.
Derivas, desplazamientos, índice de flexibilidad y vulnerabilidad de la estructura	Modelado en software ETABS, datos arrojados	Representar una aproximación del comportamiento real de la estructura, mediante un modelo numérico en un software de elementos finitos con el fin de comprobar la vulnerabilidad del edificio.
Recomendación para solución de lesiones	Propuestas y alternativas que permitan mitigar las patologías y problemas existentes	Proponer soluciones económicamente viables para la corrección de falencias y patologías encontradas en la edificación.

7.2. Impactos

- **Impacto Social:** Los propietarios, arrendatarios y personas que laboran en el Edificio Parque Santander, así mismo como la comunidad adyacente a la zona, tendrán seguridad de que la edificación en cuestión cumple los parámetros del reglamento colombiano de construcción sismorresistente, y podrán llevar a cabo sus actividades diarias sin temor a que el edificio pueda sufrir bastante en caso de un evento sísmico, y también debido a que es antiguo, refleja un estado de conservación excelente.

- **Impacto Ambiental:** No se presenta un impacto ambiental.

- **Impacto Político:** Se brinda información a las entidades públicas encargadas del orden público y la infraestructura del municipio, para que puedan registrar y tener control del estado de las edificaciones, y poder llevar a cabo manejo en problemáticas de planeación e infraestructura en la ciudad.

- **Impacto Académico:** El presente proyecto es parte de un macroproyecto de la Universidad Santo Tomas, Sede Villavicencio, el cual está analizando edificaciones de más de 5 niveles construidas antes de la NSR-98, con el fin de catalogar el riesgo que significa estar en una zona de amenaza sísmica alta y poder tener registros y datos sobre las edificaciones vulnerables de la región, a su vez que fortalece el campo de la investigación en la universidad.

8. Conclusiones

Acorde al estudio practicado en el edificio *Parque Santander*, teniendo en cuenta los parámetros y requisitos mínimos estipulados en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente del 2010 (NSR-10) para determinar las condiciones de los elementos estructurales se concluye que:

Los ensayos de caracterización mecánica de los materiales realizados a los elementos estructurales, arrojaron un valor promedio de $f'_c=30.528$ MPa, a su vez la resistencia mínima especificada en el Reglamento NSR-10 dice que el concreto debe tener una resistencia mínima $f'_c=17$ MPa (NSR-10, 2010). Por lo que la estructura tiene una resistencia optima según los ensayos realizados.

Se lograron identificar patologías existentes en el edificio, como lo son la humedad, fisuras y descascaramiento, las cuales no suponen un riesgo importante en la estructura y son fáciles de mitigar con un respectivo mantenimiento por lo que se recomienda realizar las respectivas obras de mantenimiento y visitas técnicas periódicas en la edificación como lo es impermeabilizar las paredes y rellenar las zonas donde se presenten descascaramientos y fisuramientos con el fin de aumentar la vida útil de los elementos no estructurales en la estructura.

Según el ensayo de carbonatación realizado a un núcleo extraído de un elemento estructural columna, nos muestra que no presenta frente de carbonatación y no permite la corrosión al acero de refuerzo de la estructura.

Se elaboro el modelado en un software de elementos finitos como lo es ETABS, que permite construir digitalmente la estructura con el fin de simular un evento sisimico y ver si sus elementos estructurales cumplen o no las solicitaciones que se presenten en el momento.

Para realizar el modelado de la estructura se requerían los planos de diseño estructural, pero debido a que el edificio Parque Santander, tiene más de 45 años desde su construcción, estos datos

se perdieron, y solo estaban disponibles los planos arquitectónicos del edificio, con los cuales se diseñaron las grillas de cada piso, y se utilizaron para realizar el modelo final de la edificación.

La edificación, pese a su fecha de construcción, de hace más de 45 años, presenta un estado general muy bueno, en el cual las patologías presentes son normales en este tipo de estructuras debido a la climatología de la zona de estudio, como lo es la ciudad de Villavicencio, Meta,; mientras que el análisis sísmico nos muestra que hay algunos elementos estructurales que se encuentran en un estado de sobreesfuerzo, lo que quiere decir, que en caso de un evento sísmico serán los primeros que fallen, el elemento estructural que mostro falencia en este aspecto es la Columna 30X30 cm, lo que quiere decir que no cumple con el acero requerido y es necesario el reforzamiento, el resto de los elementos columna, muestran un resultado positivo debido a la configuración de acero que tienen.

Los índices de flexibilidad de las vigas presentan deflexiones menores del límite, mientras que los desplazamientos horizontales de las columnas están en el límite estipulado en la NSR-10 el cual corresponde al 1,0.

El índice de flexibilidad máximo en columnas tiene un valor de 1.0458, siendo el límite 1, nos indica que la mayoría de sus elementos son rígidos y que muy pocos son flexibles, esto se debe a que las columnas predominantes en la estructura tienen una dimensión condenable de 45x125 cm.

El índice de flexibilidad máximo en vigas tiene un valor de 0.7921, siendo el valor limite 1, nos indica que todas las vigas presentes en el edificio son rígidas, y que soportan cargas que permiten la flexión en ellas, esto debido a la configuración de las vigas que es de 60X40 cm.

El índice de sobreesfuerzo en columnas nos muestra que tan esforzado se encuentra un elemento debido a las solicitaciones que actúan en la estructura, el análisis nos indica que las columnas que más sobreesfuerzo poseen son las de dimensiones menores, es decir, las columnas de 30X30 cm, esto se debe en general a que la configuración del acero colocado es menor a la del acero requerido, por lo que es necesario un reforzamiento en estos elementos.

El índice de sobreesfuerzo en vigas nos muestra la relación entre las solicitaciones reales del elemento entre las que puede resistir, por ende, el análisis presentado, nos indica que hay elementos vigas que se encuentran sobre esforzados, esto es debido a que los estribos de diseño, no cumplen con las solicitaciones de la estructura, a que la carga viva de diseño es menor a la que en la actualidad satisface la demanda de la edificación, o a que hacen falta vigas de refuerzo, por lo que es necesario reforzar las vigas para que soporten cargas de cortante, flexión y torsión, y resistan las solicitaciones de la estructura.

Los índices de sobreesfuerzo de las vigas presentan valores muy excesivos del límite, mientras que los índices de sobreesfuerzo de las columnas están levemente sobre el límite estipulado en la NSR-10 el cual corresponde al 1,0. Las vigas y columnas que no cumplen con este requerimiento se debe a que son los elementos que conectan la zona inferior de la edificación con la zona superior, las cuales presentan una tipología irregular y por esta razón se presenta una concentración de esfuerzos en algunos puntos. Se recomienda realizar un reforzamiento de estos elementos, a menos que exista una dilatación entre estructuras, información que no se pudo verificar debido a que la edificación se encontraba en funcionamiento durante las visitas técnicas.

Los elementos estructurales vigas y columnas presentan desplazamientos y derivas dentro del rango estipulado en la NSR-10, además los índices de flexibilidad de la estructura nos muestran que es rígida, y soporta las cargas generadas en un sismo, además el periodo natural de la estructura es de 1.72 segundos, lo cual se ajusta a la realidad del edificio y se rige a la NSR-10 que dice que el periodo de una estructura debe ser de 0.1 segundos por piso.

La metodología que se usó en la práctica del presente estudio de patología y vulnerabilidad estructural cumple las necesidades de información, objetividad y resultados esperados sujetos al Título A.10 de la NSR-10 para brindar el análisis de resultados y sus respectivas recomendaciones.

9. Bibliografía

- Alcaldía de Villavicencio. (2021). *Informacion del municipio*. Obtenido de <http://historico.villavicencio.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Alonso G., J. L. (2014). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones*. Caracas, Venezuela: Marketing Soluciones C.A. Obtenido de <https://pe56d.s3.amazonaws.com/p194bfb12n1obn1gab14591p7d1q42b.pdf>
- Astorga, A., & Rivero, P. (2009). *Patologías en las Edificaciones*. (CIGIR). Bogotá. Obtenido de <https://docplayer.es/8329985-Patologias-en-las-edificaciones-modulo-iii-seccion-iv-ariana-astorga-pedro-rivero-cigir.html>
- Barreiro, P. D. (2014). *Protocolo para los estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado en Colombia*. [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/12694>
- Cánovas, M. F. (1994). *Capítulo 1.1, Importancia de la Patología del Hormigón Armado* (3 ed.). Madrid: ETS DE INGENIEROS DE CAMINO.
- Chicangana Montón, G., & Vargas Jiménez, C. (2010). La Sociedad Frente a la Gestión del Riesgo: Caso sobre la Amenaza Sísmica en la Ciudad de Villavicencio. *Boletín de Geología*, vol. 32, núm. 1, 125-141. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=349632021008>
- Colombiamania. (2021). *Infociedades / Villavicencio*. Obtenido de <http://www.colombiamania.com/ciudades/villavicencio.html>
- Epachon. (Enero de 2014). *Refuerzo con láminas de acero para vigas*. Obtenido de <https://epachon.wordpress.com>
- Epachon. (Enero de 2014). *Refuerzo de pilares de hormigón armado mediante encamisado o recrecido de su sección*. Obtenido de <https://epachon.wordpress.com/2014/01/16/e-4-refuerzo-de-pilares-de-hormigon-armado-mediante-encamisado-o-recrecido-de-su-seccion/>
- Espejo, Y. M. (Mayo de 2018). *Estudio patológico edificio de oficinas Corporación Minuto de Dios, calle 81a no. 73a-22 Bogotá*. [Tesis de Pregrado, USTA]. Repositorio. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/12812>

- García Socha, J. D. (Junio de 2020). *Evaluación de vulnerabilidad sísmica y diagnóstico de patología estructural en el municipio de Villavicencio, caso de estudio: Edificio La Voz del Llano*. [Tesis de Pregrado, USTA]. Repositorio. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/21864>
- Giraldo, M. A. (2018). *Encamisado en concreto armado para el refuerzo de vigas y columnas de una edificación*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [Tesis de Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13328/GiraldoVargasMiguelAngel2018Anexos.pdf;jsessionid=5C17AC1A960133E3320BB76C2DB4BAD8?sequence=2>
- Henao, B. C. (2017). *Identificación de patologías estructurales en edificaciones indispensables del municipio de Santa Rosa de Cabal (sector educativo)*. [Tesis de Pregrado, Universidad Libre]. Repositorio. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/16981>
- Instituto de Turismo de Villavicencio. (2021). *Colombia turismo web*. (Colombia turismo web) Recuperado el 8 de 11 de 2019, de <http://www.colombiaturismoweb.com/DEPARTAMENTOS/META/MUNICIPIOS/VILLAVICENCIO/VILLAVICENCIO.htm>
- Lopez, F., Rodriguez, V., Cruz, J., & Ubeda, P. (2004). *Manual de Patología de la Edificación* (Vol. 1). (D. D. EDIFICACIÓN, Ed.) Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de http://www.asturcons.org/docsnormativa/5891_1522.pdf
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Título A.2.3-1 Zonas de Amenaza Sísmica*. Bogotá: NSR-10.
- Páez Moreno, D. F. (2005). Metodología para el estudio de la vulnerabilidad estructural de edificaciones. *Revista Facultad de Ingeniería, UPTC 14(19)*, 78-87. Obtenido de UPTC.
- SAI. (02 de Noviembre de 2020). *Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos*. Obtenido de <https://sai.org.co/lo-que-se-debe-saber-de-la-norma-nsr-10/>
- Salamanca Nonzoque, L. (Abril de 2016). *Metodología para estudios de vulnerabilidad sísmica y patología estructural para edificaciones con carácter patrimonial. Caso de estudio: Edificio 21 Complejo Hospitalario San Juan de Dios*. [Tesis de Pregrado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/15128>

- Salazar Jiménez, J. A. (2015). Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales. *Tecnología en Marcha*, 127-136. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v28n3/0379-3982-tem-28-03-00127.pdf>
- Treviño, E. L. (Octubre de 1998). *Patología de las Estructuras de Concreto Reforzado*. Obtenido de Universidad Autónoma de Nuevo León: <http://eprints.uanl.mx/6017/1/1080087103.PDF>
- Uff.travel. (2021). *Destinos - Villavicencio*. Obtenido de <http://www.uff.travel/informacion-local/villavicencio/informacion-general>

Anexos

A continuación, encontrará la lista de anexos en formato .pdf que tiene información relevante para el presente proyecto de investigación:

- Anexo A: Formato Solicitud de Permisos al Edificio Parque Santander
- Anexo B: Carta de Autorización de Permisos y Estudio Patológico del Edificio Parque Santander.
- Anexo C: Indices de Sobre esfuerzo en Vigas.
- Anexo D: Indices de Sobre esfuerzo en Columnas.
- Anexo E: Chequeo Columna Fuerte Viga Debil.