

ANALISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA Y VALORACION DE PATOLOGIAS  
ESTRUCTURALES, CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO BALCONES DE LA 30.  
VILLAVICENCIO, META.



JUAN FELIPE PEREZ RODRIGUEZ  
CAMILO ANDRES LOPEZ PARRADO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
VILLAVICENCIO

2021

ANALISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA Y VALORACION DE PATOLOGIAS  
ESTRUCTURALES, CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO BALCONES DE LA 30.  
VILLAVICENCIO, META.

JUAN FELIPE PEREZ RODRIGUEZ  
CAMILO ANDRES LOPEZ PARRADO

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

Asesor

M. Sc. BREGY HASSLER CHOQUE JIMENEZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
VILLAVICENCIO

2021

**Autoridades Académicas**

**P. JOSE GABRIEL MEZA ANGULO, O.P.**

Rector General

**P. EDUARDO GONZALES GIL, O.P.**

Vicerrector Académico General

**P. JOSE ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O.P.**

Rector Sede Villavicencio

**P. RODRIGO GARCIA JARA, O.P.**

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

**Esp. JULIETH ANDREA SIERRA TOBON**

Secretaria de División Sede Villavicencio

**ING. MANUEL EDUARDO HERRERA PABON**

Decano Facultad de Ingeniería Civil

**Nota De Aceptación**

---

---

---

---

---

**MANUEL EDUARDO HERRERA PABON**

Decano de Facultad Ingeniería Civil

---

**BREGY HASSLER CHOQUE JIMENEZ**

Director Trabajo de Grado

---

**OSCAR FELIPE SAENZ PARDO**

jurado

Villavicencio, octubre 2021

## Contenido

	Pág.
Resumen.....	12
Introducción .....	14
Planteamiento del problema.....	15
Objetivos .....	17
Objetivo general .....	17
Objetivos específicos.....	17
Justificación .....	18
Alcance .....	19
Marco de referencia .....	20
Marco teórico .....	20
Sistemas estructurales.....	20
Procedimiento de la evaluación de la intervención .....	21
Estudios e investigaciones requeridas .....	22
Criterios de evaluación de la estructura existente .....	24
Análisis de Vulnerabilidad .....	28
Estado del arte.....	28
Marco normativo / legal .....	32
Marco geográfico .....	33
Descripción física .....	33
Zona de aplicación del proyecto.....	34
Metodología .....	36
Propósito y alcance.....	36
Estudios e investigaciones requeridas .....	37
Movimientos sísmicos de diseño con seguridad limitada .....	38
Criterios de evaluación de la estructura existente .....	39

Información preliminar .....	41
Solicitud de autorizaciones y permisos necesarios .....	42
Inspección visual.....	43
Patologías encontradas .....	43
Configuración estructural.....	46
Ensayos de laboratorio.....	49
Ensayo de esclerómetro.....	49
FerroScan .....	50
Evaluación cualitativa de la construcción.....	52
Modelación en ETABS .....	53
Análisis sísmico.....	53
Reducción del valor de r para estructuras irregulares y con ausencia de redundancia. ....	55
Irregularidad por ausencia de redundancia.....	55
Irregularidad en planta.....	55
Irregularidad en altura .....	61
Coeficiente de capacidad de disipación de energía básico .....	63
Metodología del estudio, modelación de la estructura y análisis de vulnerabilidad. ....	63
Avaluó de cargas .....	64
Carga Muerta .....	64
Carga Viva.....	70
Metodo de la fuerza horizontal equivalente .....	71
Combinaciones de carga.....	73
Chequeo de derivas .....	75
Chequeo de aceros en columnas de concreto. (ACI 318-14) .....	78
Índice de sobreesfuerzo.....	84
Índice de sobreesfuerzo e índice de vulnerabilidad.....	93
Índice de flexibilidad.....	94
Índice de flexibilidad e índice de vulnerabilidad.....	95
Análisis de resultados .....	96

Fase de preliminares..... 96

Fase de evaluación ..... 97

Fase de diagnóstico ..... 97

Conclusiones y trabajos futuros ..... 99

    Conclusiones ..... 99

    Trabajos futuros..... 99

Bibliografía ..... 101

### Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Valores de $\varphi_c$ y $\varphi_e$ .....	27
<b>Tabla 2,</b> Marco normativo / legal.....	32
<b>Tabla 3.</b> Valor de $A_e$ para las ciudades capitales de departamento .....	38
<b>Tabla 4.</b> Valores de $\varphi_c$ y $\varphi_e$ .....	40
<b>Tabla 5.</b> Patologías en la edificación .....	43 a 45
<b>Tabla 6.</b> Resultados ensayo de esclerómetro .....	49
<b>Tabla 7.</b> Resultados ensayo de FerroScan.....	50
<b>Tabla 8.</b> Calificación cualitativa de la estructura.....	52
<b>Tabla 9.</b> Parámetros sísmicos.....	53
<b>Tabla 10.</b> Irregularidades en planta.....	56
<b>Tabla 11.</b> Condiciones a evaluar irregularidad en planta.....	56
<b>Tabla 12.</b> Irregularidad torsional piso 1 .....	58
<b>Tabla 13.</b> Irregularidad torsional piso 2 .....	58 y 59
<b>Tabla 14.</b> Irregularidad torsional piso 3 .....	59
<b>Tabla 15.</b> Irregularidad torsional piso 4.....	59
<b>Tabla 16.</b> Irregularidad torsional piso 5 .....	60
<b>Tabla 17.</b> Medidas correspondientes.....	61
<b>Tabla 18.</b> Evaluación irregularidad de diafragma .....	61
<b>Tabla 19.</b> Resumen parámetros irregularidad en planta.....	61
<b>Tabla 20.</b> Irregularidades en altura .....	62
<b>Tabla 21.</b> Resumen parámetros irregularidad en altura .....	62
<b>Tabla 22.</b> Sistema estructural de pórtico resistente a momentos .....	63
<b>Tabla 23.</b> Peso elementos estructurales nivel 1.....	65
<b>Tabla 24.</b> Peso elementos estructurales nivel 2 - 3 - 4 - 5.....	66
<b>Tabla 25.</b> Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – cielo rasos ....	66

<b>Tabla 26.</b> Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – pisos .....	67
<b>Tabla 27.</b> Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – cubiertas.....	67
<b>Tabla 28.</b> Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – muros .....	68
<b>Tabla 29.</b> Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – ventanas .....	68
<b>Tabla 30.</b> Peso elementos horizontales piso 1.....	69
<b>Tabla 31.</b> Peso elementos horizontales piso 2 - 3 - 4 - 5.....	69
<b>Tabla 32.</b> Peso elementos horizontales cubierta .....	69
<b>Tabla 33.</b> Peso elementos verticales piso 1 .....	70
<b>Tabla 34.</b> Peso elementos piso 2 - 3 - 4 - 5 .....	70
<b>Tabla 35.</b> Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas .....	71
<b>Tabla 36.</b> Valor de los parámetros $C_t$ y $\alpha$ para el cálculo del periodo aproximado $T_a$ .....	72
<b>Tabla 37.</b> Valores coeficientes periodo fundamental.....	72 y 73
<b>Tabla 38.</b> Combinaciones de diseño .....	74
<b>Tabla 39.</b> Derivas máximas como porcentaje de hpi .....	75
<b>Tabla 40.</b> Calculo derivas por piso.....	75 y 76
<b>Tabla 41.</b> Porcentaje de acero por columna .....	78 a 83
<b>Tabla 42.</b> Índices de sobreesfuerzo .....	84 a 93
<b>Tabla 43.</b> Índice de sobre esfuerzo y vulnerabilidad general.....	94
<b>Tabla 44.</b> Índices de flexibilidad.....	94
<b>Tabla 45.</b> Índice de flexibilidad y vulnerabilidad general .....	95

## Lista de Figuras

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Edificio Nacional (DIAN) .....	29
<b>Figura 2.</b> Edificio La Voz Del Llano .....	30
<b>Figura 3.</b> Edificio facultad de ingeniería civil Universidad La Gran Colombia .....	31
<b>Figura 4.</b> Plano de comunas de Villavicencio.....	33
<b>Figura 5.</b> Plano comuna dos (2) de Villavicencio.....	34
<b>Figura 6.</b> Plano ubicación de la edificación.....	35
<b>Figura 7.</b> Edificio Balcones de la 30.....	42
<b>Figura 8.</b> Vista frontal (Norte) .....	46
<b>Figura 9.</b> Vista posterior (Sur) .....	47
<b>Figura 10.</b> Vista lateral izquierda (Oeste).....	48
<b>Figura 11.</b> Vista lateral derecha (Este).....	48
<b>Figura 12.</b> Toma de datos esclerómetro.....	50
<b>Figura 13.</b> Toma de datos esclerómetro.....	50
<b>Figura 14.</b> Toma de muestras FerroScan .....	51
<b>Figura 15.</b> Toma de muestras FerroScan .....	51
<b>Figura 16.</b> Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g .....	54
<b>Figura 17.</b> Espectro elástico de diseño.....	54
<b>Figura 18.</b> Ecuación coeficiente R.....	55
<b>Figura 19.</b> Puntos de evaluación de desplazamiento .....	58
<b>Figura 20.</b> Medidas de referencia cálculo de irregularidad de diafragma .....	60
<b>Figura 21.</b> Calculo coeficiente R .....	63
<b>Figura 22.</b> Esquema avaluó de cargas nivel 1.....	65
<b>Figura 23.</b> Esquema avaluó de cargas niveles 2 - 3 - 4 - 5 .....	65
<b>Figura 24.</b> Valor periodo fundamental de la edificación .....	72
<b>Figura 25.</b> Combinaciones de carga.....	73

**Figura 26.** Modelo tridimensional estructura existente ..... 77

**Figura 27.** Nomenclatura y orientación de las columnas..... 77

## Resumen

El presente documento expone los resultados obtenidos al evaluar las condiciones estructurales del edificio Balcones De La 30, con la finalidad de preservar su funcionamiento mediante un evento sísmico. Lo anterior se llevó a cabo rigiéndose bajo los procedimientos establecidos en el capítulo A-10 de la norma colombiana de construcción sismo resistente (NSR 10), en donde se establece el estado de la estructura mediante la evaluación de su comportamiento sísmico.

Para esto fue establecida una metodología que identifica mediante un proceso sistemático las causas de la problemática que posee la edificación basándose principalmente en la vulnerabilidad sísmica y sus patologías estructurales. Inicialmente, se procedió a realizar un levantamiento arquitectónico acompañado de una inspección visual de las patologías estructurales presentadas en el edificio con su respectivo registro fotográfico, lo que permitió caracterizar de manera detallada los elementos estructurales, posteriormente se llevaron a cabo ensayos de laboratorio tales como la extracción de núcleos de hormigón y el ensayo de esclerómetro, con el fin de conocer las propiedades mecánicas y el estado en el que se encuentran estos materiales, así mismo, los resultados obtenidos mediante estos ensayos contribuyeron para realizar un diagnóstico de las afectaciones estructurales encontradas en la edificación.

Finalmente, se realizó un modelo numérico mediante un software de elementos finitos (ETABS), el cual representa el comportamiento de la estructura en condiciones límites de servicio, aporta al análisis de vulnerabilidad sísmica de la misma y permite identificar los elementos que se encuentran en mal estado y que necesitan una pronta intervención.

**Palabras Clave:** Vulnerabilidad sísmica, patología estructural, resistencia estructural, Diagnostico.

### **Abstract**

This document presents the results obtained from the evaluation of the structural conditions of the Balcones De La 30 building, with the purpose of preserving its operation during a seismic event. This was carried out under the procedures established in Chapter A-10 of the Colombian Seismic Resistant Construction Standard (NSR 10), where the condition of the structure is established through the evaluation of its seismic behavior.

For this purpose, a methodology was established to identify, through a systematic process, the causes of the building's problems based mainly on seismic vulnerability and structural pathologies. Initially, an architectural survey was carried out together with a visual inspection of the structural pathologies presented in the building with their respective photographic record, which allowed a detailed characterization of the structural elements, then laboratory tests were carried out such as the extraction of concrete cores and the sclerometry test, in order to know the mechanical properties and the state in which these materials are found, likewise, the results obtained through these tests contributed to make a diagnosis of the structural affectations found in the building.

Finally, a numerical model was made using finite element software (ETABS), which represents the behavior of the structure under serviceability limit conditions, contributes to the seismic vulnerability analysis of the structure and allows identifying the elements that are in poor condition and need a prompt intervention.

**Key Words:** Seismic vulnerability, structural pathology, structural resistance, Diagnostic.

## Introducción

En el desarrollo y seguridad de los municipios es menester conocer con plena certeza las condiciones estructurales de las edificaciones presentes. Según lo establecido en el título A por el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR 10) la ciudad de Villavicencio se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta. Por consiguiente, es de suma importancia garantizar la seguridad y la operatividad de las edificaciones construidas con mayor antigüedad en la ciudad.

El reglamento Colombiano de construcción sismo resistente (NSR 10) describe en el capítulo A-10 el deber de comprobar mediante estudios de actualización a las edificaciones construidas con la normatividad anterior, dado que una edificación rehabilitada debe cumplir con diferentes requisitos establecidos, tales como dimensionamiento, solicitaciones de cargas y aceros de refuerzo, la estructura debe estar en la capacidad de oponerse y resistir a cualquier actividad sísmica que se presente en la ciudad. El edificio Balcones De La 30 se construyó en la década de los 80, así que fue construido bajo el reglamento Colombiano de construcción sismo resistente del año 1998 (NSR 98), por lo tanto, esta edificación aplica para la ya mencionada anteriormente actualización de estructuras. Es importante resaltar que, aunque esta edificación tiene más de 30 años de haberse construido, continúa brindando un servicio apto y funciona adecuadamente para resistir las solicitaciones a las que se encuentra sometidas actualmente. (El tiempo, 1995)

El edificio Balcones De La 30 evidencia diferentes patologías estructurales que arriesgan el estado de la estructura, por lo tanto, la realización de este proyecto permite conocer de primera mano las condiciones en las que se encuentra la estructura, con la finalidad de construir un diagnóstico de los elementos estructurales de los que está compuesta. Por consiguiente, fue necesario llevar a cabo un análisis de vulnerabilidad sísmica y un estudio de las patologías estructurales considerando el grado de importancia de la estructura.

## **Planteamiento del problema**

La importancia de conocer el estado estructural en el que se encuentran las diferentes edificaciones de la ciudad es una labor de vital importancia en el ámbito de la ingeniería civil, debido a esto surge la necesidad de realizar un estudio al edificio Balcones de la 30. El municipio de Villavicencio fue fundado hace 181 años en una zona descrita como amenaza de sismicidad alta, por lo tanto, es de suma importancia tener un control de las estructuras con más antigüedad, debido a que se debe corroborar que estas poseen la capacidad de soportar solicitaciones causadas por un evento sísmico. El edificio Balcones de la 30 fue construido hace 38 años, del cual no se tiene conocimiento de la calidad de los materiales utilizados, ni de los procesos constructivos que se tuvieron en cuenta en la obra, además, durante todo el tiempo que lleva esta edificación han ocurrido distintos eventos que pueden perjudicar las propiedades del mismo, como lo son los sismos, los cambios de temperatura, la humedad causada por las altas precipitaciones que se presentan en la ciudad durante los periodos de lluvia, las grietas o fisuras y modificaciones realizadas a la estructura que no estaban previstas en los diseños iniciales, todos estos factores afectan de manera concisa la integridad estructural del edificio, por lo tanto, es de suma importancia conocer si la estructura a la fecha actual puede garantizar la seguridad para las personas que lo habitan y para personas ajenas a la misma, debido a que la edificación en la planta baja es una zona comercial, en la cual todos los días existe un alto flujo de personas.

La zona comprendida por la comuna dos de la ciudad de Villavicencio se caracteriza por contar en su mayoría con edificaciones que superan más de 20 años de haberse construido, por ende, estas se diseñaron bajo criterios diferentes puesto que se regían bajo la normativa existente en la época, tales como NSR 98 o posiblemente bajo pautas aún más antiguas. En la actualidad estas edificaciones se encuentran funcionando como estructuras de ocupación normal ya sea como oficinas, hoteles o residencias de las cuales no se tiene certeza de cual sea su comportamiento antes un eventual sismo.

Con la finalidad de salvaguardar las diferentes edificaciones que representan una gran parte del establecimiento de la ciudad, además, teniendo presente la amenaza en la que se encuentra expuesta la región debido a ubicarse en una zona de altillanura que ya ha vivido tragedias como consecuencia de movimientos telúricos, es de suma importancia determinar cómo reaccionaran

ante tales eventualidades para así determinar si ¿ al llevar a cabo un análisis de vulnerabilidad y riesgo sísmico en el edificio Balcones de la 30, este cumplirá con los requerimientos estipulados por la norma sismo resistente actual (NSR 10)?, en función de preservar la la vida de las personas y la historia de la ciudad.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Evaluar por medio de un análisis de vulnerabilidad y riesgo sísmico el edificio Balcones de la 30 ubicado en la ciudad de Villavicencio, bajo el capítulo A. 10 NSR 10

### **Objetivos específicos**

- Recopilar información relacionada con el diseño estructural, así como del proceso de construcción de la edificación y sus respectivas modificaciones.
- Elaborar una calificación cualitativa y cuantitativa de la edificación, teniendo en cuenta el estado del sistema estructural y la calidad de los materiales.
- Identificar las características presentes en la edificación con relación a la vulnerabilidad y patología, por medio de una inspección visual y evidencia fotográfica
- Determinar la capacidad de resistencia de la edificación con respecto a las cargas prescritas por la normatividad actual.

## **Justificación**

Villavicencio como capital del departamento del Meta, y principal conexión con la capital del país, tiene una gran influencia en el sector económico y turístico, además representa una gran parte del valor histórico y cultural de la región, con el pasar de los años la ciudad ha tenido un gran crecimiento, extendiendo su área, en la actualidad se pueden encontrar edificaciones destinadas generalmente para un uso residencial, pero estas edificaciones se encuentran en sectores apartados a la zona céntrica, por lo que se ha perdido la costumbre de desarrollar la ciudad en torno a este sector.

El municipio de Villavicencio cuenta con 181 años de fundado y es importante cuestionarse si las edificaciones con más de 30 años de construcción son seguras, puesto que la mayoría presentan diferentes patologías a simple vista. Villavicencio se encuentra en la región de la Orinoquia, con esto se puede concluir que está ubicada en una zona de amenaza sísmica alta, por lo cual es necesario realizar un análisis de vulnerabilidad y riesgo sísmico para el edificio Balcones de la 30, es importante resaltar que la edificación a estudiar es una estructura de ocupación normal y de uso comercial en el primer piso y residencial en sus siguientes niveles, por lo tanto, esta tiene una capacidad para reunir más de 80 personas en sus instalaciones, cabe aclarar que esta estructura fue construida hace aproximadamente 38 años en la comuna 2 de la ciudad de Villavicencio. Lo anterior será desarrollado bajo los parámetros que establece la NSR-10, en el título A-10, ya que este establece los procedimientos a realizar para evaluar el comportamiento sísmico de una estructura, además, de cuál debe ser el tratamiento para estructuras que no fueron diseñadas bajo el criterio de la norma actual. (Salinas Basualdo, 2008)

La línea de investigación a usar para la elaboración de este proyecto es La modelación en problemas complejos y manejo de datos en ingeniería civil, debido a que se le va a dar una síntesis a los resultados obtenidos durante este estudio.

### **Alcance**

El propósito de este proyecto es identificar la condición actual en la que se encuentra el edificio Balcones De La 30 ubicado en la ciudad de Villavicencio, Meta, por medio de un análisis de vulnerabilidad sísmica y estudio de patologías estructurales. Para llevar a cabo este estudio fue imprescindible contar con el permiso de la administración, para así obtener el ingreso a las instalaciones de la edificación y poder realizar el levantamiento arquitectónico y poder obtener evidencias fotográficas de las afectaciones presentes en la estructura.

Seguidamente, se llevaron a cabo diferentes ensayos de laboratorio en diferentes elementos estructurales, tales como extracción de núcleos y esclerómetro, los cuales dieron como resultado el acero de refuerzo y la resistencia que posee el concreto. Igualmente, se realizó el análisis de la vulnerabilidad sísmica por medio de un modelo computarizado por el método de elementos finitos (ETABS), en el cual se ingresan los datos obtenidos en el levantamiento arquitectónico y de los ensayos de laboratorio, de manera que se evidencio el comportamiento que tendría la estructura al enfrentarse a un evento sísmico y el nivel de afectación que podrían presentarse en diferentes elementos estructurales. (Carlos & Romero Torres, 2012)

Para finalizar, se construyó un informe el cual está constituido por el diagnostico de las patologías de la edificación, así como de un análisis de las causas de dichos daños estructurales, además, la revisión de los requisitos mínimos exigidos por la norma sismo resistente (NSR 10) todo esto rigiéndose bajo los procedimientos establecidos en título A-10.

## **Marco de referencia**

### **Marco teórico**

Para llevar a cabo es proyecto es de suma importancia considerar dentro del marco teórico parámetros, procedimientos y diferentes aspectos que funcionaran como orientación para alcanzar los objetivos propuestos y cumplir con la investigación.

### ***Sistemas estructurales***

Existen cuatro tipos de sistemas estructurales de resistencia sísmica según la NSR 10, estos se seccionan según el tipo de elemento verticales utilizados para poder contrarrestar las fuerzas sísmicas y el material estructural empleado para disipar esta energía. (Asociacion colombiana de Ingenieria sismica-AIS, 2010)

### **Sistemas de muros de carga**

Se conoce como sistema de muros de carga al sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo, por consiguiente, las cargas verticales se concentran completamente en los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas directamente en pórticos con diagonales o en muros estructurales.

### **Sistema combinado**

Es un sistema estructural en el cual:

- a) Las fuerzas horizontales son resistidas directamente en pórticos con diagonales o en muros estructurales, y las cargas verticales se concentran en un pórtico no resistente a momentos, esencialmente completo.

- b) Las fuerzas verticales y horizontales son toleradas por un pórtico resistente a momento, esencialmente completo, combinándose con pórticos con diagonales o con muros estructurales, además, de que no cumpla con las especificaciones que indica un sistema dual.

### **Sistema aporticado**

Se le llama sistema aporticado a aquel que está compuesto por un pórtico espacial, sin diagonales, esencialmente completo, resistente a momentos y que es capaz de soportar las cargas verticales y horizontales de la estructura.

### ***Procedimiento de la evaluación de la intervención***

En la aplicación del presente Capítulo deben seguirse las siguientes etapas:

#### **Información preliminar**

Etapas 1: Debe verificarse que la intervención esté cubierta por el alcance dado en A.10.1.3.

Etapas 2: Debe recopilarse y estudiarse la información existente acerca del diseño geotécnico y estructural, así como del proceso de construcción de la edificación original y sus posteriores modificaciones y deben hacerse exploraciones en la edificación, todo esto de acuerdo con A.10.2.

Etapas 3: El estado del sistema estructural debe calificarse con respecto a: (a) la calidad del diseño de la estructura original y su sistema de cimentación y de la construcción de la misma y (b) el estado de mantenimiento y conservación. Esta calificación debe hacerse de acuerdo con los requisitos de A.10.2.

#### **Evaluación de la estructura existente**

Etapas 4: Deben determinarse unas sollicitaciones equivalentes de acuerdo con los requisitos de A.10.4.2.

Etapa 5: Debe llevarse a cabo un análisis elástico de la estructura y de su sistema de cimentación para las solicitaciones equivalentes definidas en la Etapa 4.

Etapa 6: La resistencia existente de la estructura debe determinarse utilizando los requisitos de A.10.4.3.3.

Etapa 7: Se debe obtener una resistencia efectiva de la estructura, a partir de la resistencia existente, afectándola por dos coeficientes de reducción de resistencia obtenidos de los resultados de la calificación llevada a cabo en la Etapa 3.

Etapa 8: Debe determinarse un índice de sobreesfuerzo como el máximo cociente obtenido para cualquier elemento o sección de éste, entre las fuerzas internas solicitadas obtenidas del análisis estructural realizado en la Etapa 5 para las solicitaciones equivalentes definidas en la Etapa 4 y la resistencia efectiva obtenida en la Etapa 7.

Etapa 9: Utilizando los desplazamientos horizontales obtenidos en el análisis de la Etapa 5 deben obtenerse las derivas de la estructura.

Etapa 10: Debe determinarse un índice de flexibilidad por efectos horizontales como el máximo cociente entre las derivas obtenidas en la Etapa 9 y las derivas permitidas por el Reglamento en el Capítulo A.6. Igualmente debe determinarse un índice de flexibilidad por efectos verticales como el máximo cociente entre las deflexiones verticales medidas en la edificación y las deflexiones permitidas por el presente Reglamento.

### ***Estudios e investigaciones requeridas***

#### **Información previa**

Es necesario realizar una investigación acerca de la edificación existente, con la finalidad de identificar los diferentes aspectos:

- a) En el caso en el que se cuente con documentos que describan el diseño y de la estructura y su sistema de cimentación, se debe comprobar in situ que corresponda con la edificación tal y como está en el momento.

- b) Se debe determinar de manera cualitativa la calidad de construcción de la edificación actual.
- c) Se debe evaluar de manera cualitativa el estado de conservación de la edificación.
- d) Se debe realizar una inspección con el fin de evidenciar distintas fallas, deflexiones, corrosión en las armaduras y diferentes tipos de daños que tenga la estructura.
- e) Se debe investigar la ocurrencia de asentamientos de la cimentación y su efecto en la estructura.
- f) Se debe determinar si en el pasado ocurrió algún hecho significativo que haya podido afectar la integridad de la estructura, debido a explosión, sismo, encendido, remodelaciones previas, colocación de acabados que hayan aumentado las cargas, y otras modificaciones.

### **Estado del sistema estructural**

Debe clasificarse el estado estructural de la edificación de una manera totalmente cualitativa con base en la calidad del diseño y construcción de la estructura original y en su estado actual. Esta calificación se debe realizar de la manera prescrita a continuación:

#### ***Calidad del diseño y la construcción de la estructura original***

Esta calificación se define en términos de la mejor tecnología existente en la época en que se construyó la edificación. Al respecto se puede utilizar información tal como: registros de interventoría de la construcción y ensayos realizados especialmente para ello. Dentro de la calificación debe tenerse en cuenta el potencial del mal comportamiento de la edificación debido a distribución irregular de la masa o la rigidez, ausencia de diafragmas, anclajes, amarres y otros elementos necesarios para garantizar su buen comportamiento ante las distintas sollicitaciones. La calidad del diseño y la construcción de la estructura original deben calificarse como buena, regular o mala.

#### ***Estado de la estructura***

Debe hacerse una calificación del estado actual de la estructura de la edificación, basada en aspectos tales como: sismos que la puedan haber afectado, fisuración por cambios de temperatura,

corrosión de las armaduras, asentamientos diferenciales, reformas, deflexiones excesivas, estado de elementos de unión y otros aspectos que permitan determinar su estado actual. El estado de la estructura existente debe calificarse como bueno, regular o malo.

### ***Criterios de evaluación de la estructura existente***

Debe determinarse si la edificación en su estado actual está en capacidad de resistir adecuadamente las cargas prescritas por el presente Reglamento.

### **Solicitaciones equivalentes**

Debe establecerse una equivalencia entre las solicitaciones que prescriben este Reglamento y las que la estructura está en capacidad de resistir en su estado actual. Al respecto se deben utilizar los siguientes criterios:

#### ***Movimientos sísmicos para un nivel de seguridad equivalente al de una edificación nueva***

Se deben utilizar los movimientos sísmicos de diseño que prescribe el Capítulo A.2 para el lugar en que se encuentre la edificación, para el Grupo de Uso que va a tener una vez se lleve a cabo la modificación, con el fin de analizar la estructura como si fuera una edificación nueva.

#### ***Movimientos sísmicos para un nivel de seguridad limitada***

Se deben utilizar los movimientos sísmicos de diseño que prescribe A.10.3 para el lugar en que se encuentre la edificación, para el Grupo de Uso que va a tener una vez se lleve a cabo la modificación, cuando de acuerdo al A.10.9 este Reglamento explícitamente permita que el análisis de la estructura se realice para un nivel de seguridad limitada.

#### ***Clasificación del sistema estructural***

El sistema estructural debe clasificarse dentro de uno de los sistemas estructurales que define el Capítulo A.3.

### ***Coefficiente de disipación de energía, $R'$***

De acuerdo con el sistema estructural a que corresponda la edificación y a los requisitos constructivos y de diseño que se hayan seguido en la ejecución de la estructura original debe asignarse un valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R$  ( $R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0$ ), el cual se denominará  $R'$  dentro del presente Capítulo. La asignación debe hacerse de acuerdo con la información disponible sobre la estructura.

- a) Cuando se disponga de buena información sobre el diseño original, tal como planos y memorias, se permite, de acuerdo con el mejor criterio del ingeniero que lleva a cabo la evaluación, determinar un valor de coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R'$ , por comparación con los requisitos que para el material y el sistema estructural fija el Reglamento.
- b) Cuando no se disponga de buena información sobre el diseño original, o ésta sea incompleta o fragmentaria, el ingeniero que lleve a cabo la evaluación debe definir un valor de  $R'$  de acuerdo con su mejor criterio.

### ***Fuerzas sísmicas***

Las fuerzas sísmicas,  $F_s$ , que el sismo de diseño impone a la edificación se deben determinar por medio del método de la fuerza horizontal equivalente, tal como lo prescribe el Capítulo A.4. Estas fuerzas sísmicas deben distribuirse en la altura de acuerdo con el mismo método de la fuerza horizontal equivalente. Se permite utilizar el método del análisis dinámico dado en el Capítulo A.5, si a juicio del diseñador hay suficiente información para permitir su uso.

### ***Análisis estructural***

Con el fin de determinar las fuerzas y esfuerzos internos de la estructura debe llevarse a cabo un análisis estructural por medio de uno de los modelos matemáticos permitidos por este Reglamento

### ***Obtención de las solicitaciones equivalentes***

Las diferentes solicitaciones que se deben tener en cuenta, se combinan para obtener las fuerzas internas equivalentes que se emplean en la evaluación de la estructura existente, Esta combinación

debe realizarse de acuerdo con los requisitos del Capítulo B.2 del Reglamento. En cada una de las combinaciones de carga requeridas, las solicitaciones se determinan por medio del producto entre el coeficiente de carga para dicha combinación en el Capítulo B.2 del Reglamento. En los efectos causados por el sismo de diseño se tiene en cuenta la capacidad de disipación de energía del sistema estructural, lo cual se logra empleando unos efectos sísmicos reducidos de revisión, **E**, obtenidos dividiendo las fuerzas sísmicas **FS**, por el coeficiente de capacidad de disipación de energía **R'** (**E** = **FS/ R'**).

### **Relación entre demanda y capacidad**

Deben determinarse unos índices de sobreesfuerzo y de flexibilidad, que permitan definir la capacidad de la estructura existente de soportar y responder adecuadamente ante las solicitaciones equivalentes definidas en A.10.4.2.

### ***Definición del índice de sobreesfuerzo***

El índice de sobreesfuerzo se expresa como el cociente entre las solicitaciones equivalentes, calculadas de acuerdo con A.10.4.2 y la resistencia efectiva. Tiene dos acepciones:

- a) Índice de sobreesfuerzo de los elementos: El cual se refiere al índice de sobreesfuerzo de cada uno de los elementos estructurales individuales.
- b) Índice de sobreesfuerzo de la estructura: Cuando se determina para toda la estructura, evaluando los elementos con un mayor índice de sobreesfuerzo individual y tomando en consideración su importancia dentro de la resistencia general de la estructura como un conjunto.

### ***Determinación del índice de sobreesfuerzo***

Para todos los elementos de la estructura y para todos los efectos tales como cortante, flexión, torsión, etc., debe dividirse la fuerza o esfuerzo que se le exige al aplicarle las solicitaciones equivalentes, mayoradas de acuerdo con el procedimiento dado en el Título B del Reglamento y para las combinaciones de carga dadas allí, 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.

### ***Resistencia existente de los elementos***

La resistencia existente de los elementos de la estructura,  $N_{ex}$ , debe ser determinada por el ingeniero que hace la evaluación con base en la información disponible y utilizando su mejor criterio y experiencia. Por resistencia se define el nivel de fuerza o esfuerzo al cual el elemento deja de responder en el rango elástico o el nivel al cual los materiales frágiles llegan a su resistencia máxima o el nivel al cual los materiales dúctiles inician su fluencia. En general la resistencia existente corresponde a los valores que se obtienen para cada material estructural al aplicar los modelos de resistencia que prescribe el Reglamento en los títulos correspondientes.

### ***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  $\phi_c$  y  $\phi_e$ , así:  $N_{ef} = \phi_c \phi_e N_{ex}$ , donde a  $\phi_c$  y  $\phi_e$  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 definidas en A.10.2.2.1 y A.10.2.2.2.

**Tabla 1.** Valores de  $\phi_c$  y  $\phi_e$

	Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación		
	Buena	Regular	Mala
$\phi_c$ o $\phi_e$	1.0	0.8	0.6

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

### ***Definición del índice de flexibilidad***

Debe determinarse un índice de flexibilidad, el cual indica la susceptibilidad de la estructura a tener deflexiones o derivas excesivas, con respecto a las permitidas por el reglamento. Tiene dos acepciones:

- a) Índice de flexibilidad del piso: El cual se define como el cociente entre la deflexión o deriva obtenida del análisis de la estructura, y la permitida por el Reglamento, para cada uno de los pisos de la edificación.

- b) **Índice de flexibilidad de la estructura:** Definido como el mayor valor de los índices de flexibilidad de piso de toda la estructura. Se debe evaluar para las deflexiones verticales y para las derivas.

### ***Análisis de Vulnerabilidad***

El análisis de vulnerabilidad sísmica de una edificación existente consiste en los siguientes aspectos:

- a) Determinación de los índices de sobreesfuerzo individual de todos los elementos estructurales de la edificación considerando las relaciones entre demanda sísmica de esfuerzos y la capacidad de resistirlos.
- b) Formulación de una hipótesis de secuencia de falla de la edificación con base en la línea de menor resistencia, identificando la incidencia de la falla progresiva de los elementos, iniciando con aquellos con un mayor índice de sobreesfuerzo.
- c) Definición de un índice de sobreesfuerzo general de la edificación, definido con base en los resultados de (b). El inverso del índice de sobreesfuerzo general expresa la vulnerabilidad de la edificación como una fracción de la resistencia que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del Reglamento.
- d) Obtención de un índice de flexibilidad general de la edificación, definido con base en el procedimiento definido en A.10.4.3.5. El inverso del índice de flexibilidad general expresa la vulnerabilidad sísmica de la edificación como una fracción de la rigidez que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del Reglamento.(Asociacion colombiana de Ingenieria sismica-AIS, 2010)

### **Estado del arte**

Cuando se requiere realizar un proyecto de investigación enfocado en el análisis, evaluación y diagnóstico de una edificación, es necesario recopilar información necesaria y que aporte con el desarrollo de la misma. para esto se puede acudir a distintos tipos de investigaciones, artículos o

textos que se encuentren directa o indirectamente relacionados con el tema de estudio o las metodologías empleadas, además de conocer y aplicar de manera correcta todo el proceso normativo que especifica la norma sismo resistente actual. En el presente proyecto se realizará un análisis de vulnerabilidad y riesgo sísmico para un edificio que cuente con ciertas especificaciones requeridas, entre ellas que haya sido construido rigiéndose bajo la norma sismo resistente de 1998 o anteriores, por lo cual se realizó una recolección de datos enfocada hacia este tipo de estudios que permitieron el cumplimiento de los objetivos del proyecto. (Páz Moreno & Hernandez Delgadillo, 2007) (Saavedra Cuenca & Mahecha Varon, 2019)

Se cuenta con un estudio realizado por (Forero Acevedo & Gómez Ruiz, 2006) en el cual se utilizan distintas metodologías para analizar la estructura en estudio, basándose principalmente en diferentes documentos técnicos, tales como, NSR-98 (Norma Colombiana Sismo Resistente), FEMA 273-274 (Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings) y ATC 40 (Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings). En el cual se realizaron análisis tanto estático no lineal como estático y dinámico linealmente elástico, con el fin de obtener el desplazamiento lateral en relación a la fuerza aplicada a la edificación. (Forero Acevedo & Gomez Ruiz, 2006)

De la misma forma, como lo establece (Sánchez García & Ospina Cárdenas, 2018) en aras de preservar las edificaciones históricas de la ciudad de Villavicencio se realizó un análisis del estado estructural en que se encuentra una de ellas, es el caso del Edificio Edificio Nacional (DIAN), en el cual en algunos sectores es evidente el deterioro en su estructura, por ello surge la necesidad de identificar la composición estructural en la que se encuentra y las medidas que se pueden tomar para evitar que continúe su deterioro. (Sanchez Garcia & Ospina Cárdenas, 2018)

**Figura 1.** Edificio Nacional (DIAN)



Nota: Adaptado de Google Maps. Por Perez J, López C 2021.

Por otra parte, se tomó como punto de referencia la investigación de (García Socha & Rozo Avila, 2020), la cual se fundamentó bajo la idea de evaluar la capacidad estructural del edificio La Voz de Llano, basándose principalmente en identificar sus antecedentes y características. Para esto, se llevó a cabo una metodología basada en identificar de manera sistemática las causas de la problemática existente en la edificación, con respecto a las diferentes patologías estructurales y su vulnerabilidad sísmica. Todo esto permitió realizar una evaluación sísmica del edificio con la finalidad de conocer bajo que solicitaciones se encuentra la edificación con respecto a la Norma Sismo Resistente (NSR-10). (García Socha & Rozo Avila, 2020)

**Figura 2.** Edificio La Voz Del Llano



Nota: Adaptado de Google Maps. Por Pérez J, López C 2021.

Así mismo, se han realizado investigaciones a edificaciones que cuentan con más de 50 años de construidas, así lo enuncian (Cadena Alarcón, Hernández Lurán & Parra Meneses, 2017) exponiendo en su documento el caso del edificio de la facultad de ingeniería civil de la universidad La Gran Colombia, el cual tiene una demanda alta de estudiantes, los cuales realizan diferentes actividades académicas, culturales y recreativas entre otras. Por lo tanto, fue necesario evaluar la estructura del edificio de ingeniería civil, debido a que tiene 76 años de construida y la demanda de uso en la actualidad es alta. (Alarcon et al., 2016)

**Figura 3.** Edificio facultad de ingeniería civil Universidad La Gran Colombia



Nota: Adaptado de Google Maps. Por Perez J, López C 2021.

Igualmente, el aporte realizado por (Herrera González, Saba Rodríguez, Mendoza Cordero & Ugel Garrido, 2016) en el que se realizó una evaluación de la capacidad de resistencia y vulnerabilidad sísmica de una estructura aporricada de concreto armado con irregularidades en planta. En principio, se realizó un análisis lineal para verificar los requerimientos normativos. Luego, se diseñaron diferentes modelos matemáticos del edificio para llevar a cabo una simulación con diafragma rígido y otra con diafragma flexible.(González Herrera et al., 2016)

Por último, es importante resaltar el trabajo de (Buitrago Álzate, Osorio Gaviria, & Osorio Ramírez, 2017) el cual tiene como base fundamental evaluar la capacidad estructural con la que cuentan diferentes edificaciones indispensables en Viterbo, caldas. Ya que en este municipio se cuentan con limitadas capacidades financieras y técnicas para dar respuesta a todos los requerimientos implantados por la Norma sismo resistente (NSR-10).(Buitrago Álzate et al., 2017)

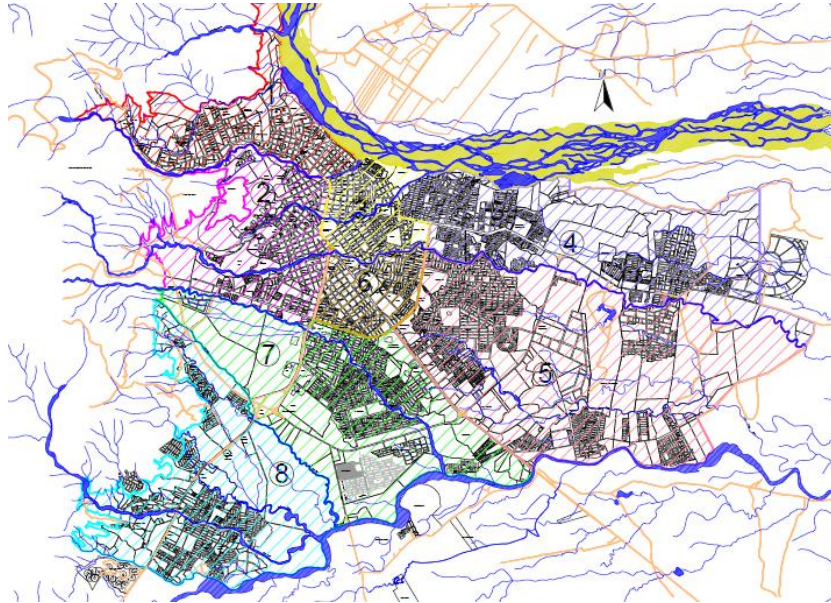
**Marco normativo / legal****Tabla 2, Marco normativo / legal**

<b>Marco Normativo / Legal</b>			
<b>Título de la Norma</b>	<b>Entidad</b>	<b>Numeral, Artículo o Título</b>	<b>Descripción</b>
Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR 10	Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial	Título A-10, H-10	Presenta requisitos mínimos, que garantizan el cumplimiento de salvaguardar vidas humanas ante la presencia de actividad sísmica
ACI 318 - 11	Instituto Americano del Concreto	General	El Reglamento que cubre la evaluación de resistencia de estructuras existentes de concreto reforzado
ACI 364.1R- 011	Instituto Americano del Concreto	General	Guía para la evaluación de estructuras de concreto antes de su rehabilitación
ACI 224.1R – 93	Instituto Americano del Concreto	General	Expone las causas, evaluación y reparación de las fisuras que se presentan en estructuras de hormigón
ASTM - C 805/02	Sociedad Americana de Ensayos y Materiales	General	Procedimiento para determinar el índice de rebote con esclerómetro, cálculo y análisis de resultados.
ASTM - E 632/82	Sociedad Americana de Ensayos y Materiales	General	Práctica estándar para el desarrollo de ensayos acelerados que ayuden a predecir la vida útil de los componentes y materiales de construcción

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

## Marco geográfico

*Figura 4. Plano de comunas de Villavicencio*



Nota: Adaptado de base cartográfica IGAC 1:10.000, complementada con planos urbanísticos secretaria de planeación municipal, Por Perez J, López C, 2021.

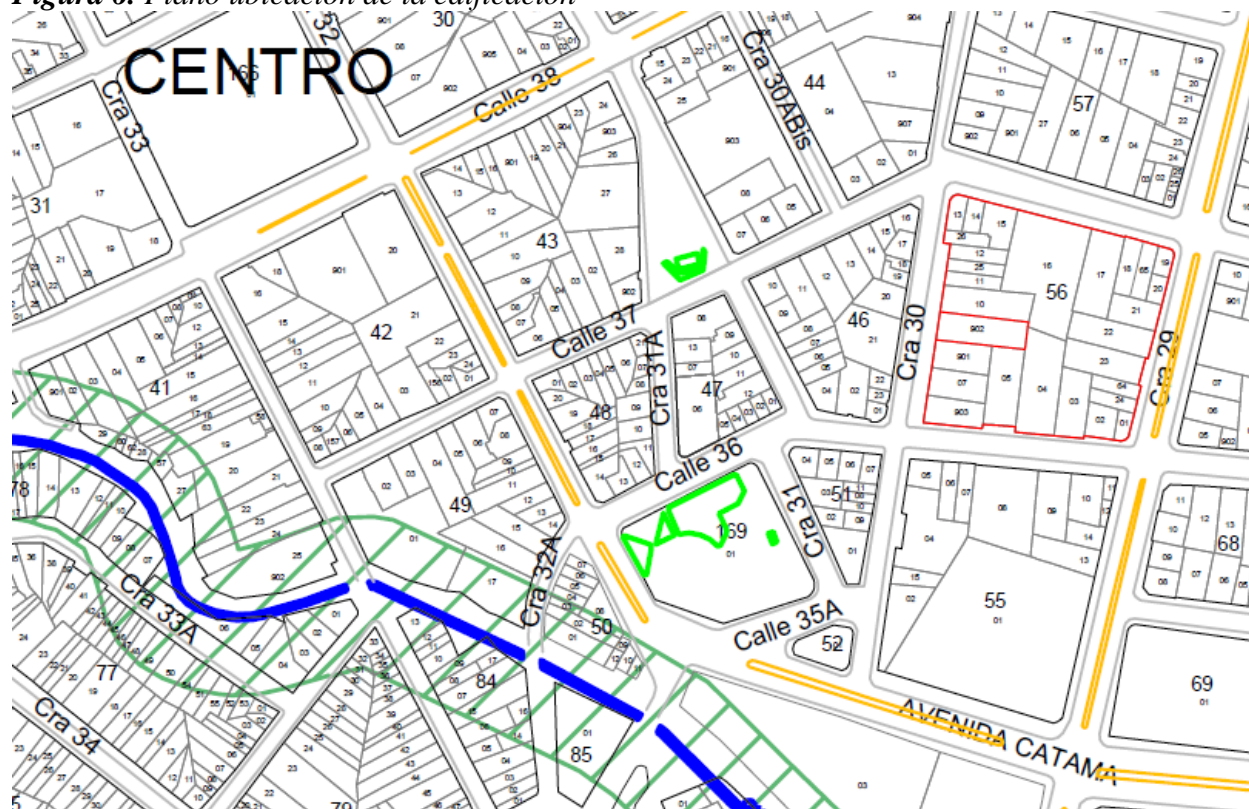
## *Descripción física*

El municipio de Villavicencio, capital del departamento del Meta, es el mayor núcleo poblacional, económico, administrativo y cultural de los llanos orientales de allí que se le llame "Puerta del Llano", está situada al noroccidente del departamento del Meta, en el pie del monte de la cordillera oriental en la margen izquierda del río Guatiquía, localizado a los  $04^{\circ} 09' 12''$  de latitud norte y  $73^{\circ} 38' 06''$  de longitud oeste y a una altura de 467 más sobre el nivel del mar, es la ciudad más grande de los llanos orientales y la primera fuente comercial y de abastecimiento para la región, está ubicada en el centro del país.

En el territorio municipal se distinguen dos regiones: una montañosa, ubicada al occidente y nororiente del municipio, conformada por el costado de la cordillera oriental; la otra región una planicie ligeramente inclinada hacia el oriente y nororiente, correspondiente al pie de monte. Bordeada al norte por el río Guatiquía, al sur por el río Guayuriba; por la parte central de esta planicie cruzan los ríos Ocoa y Negro, numerosos caños y corrientes menores.



Figura 6. Plano ubicación de la edificación



Nota: Adaptado de base cartográfica IGAC 1:10.000, complementada con planos urbanísticos secretaria de planeación municipal, Por Perez J, López C, 2021.

## **Metodología**

Para el desarrollo de este proyecto se debe tener en cuenta que la investigación que se realiza es de tipo mixta, debido a que en primera instancia se recopila información existente de la edificación, para posteriormente elaborar una calificación cualitativa de la misma en base a el registro de patologías encontrada en la inspección visual y el sistema estructural. de la cual obtienen valores numéricos precisos que permiten generar un diagnóstico del estado actual de la estructura y verificar que esta cumple con los criterios establecidos por la norma sismo resistente de 2010.

Para poder desarrollar esta investigación se deben seguir los lineamientos establecidos por la norma en el capítulo A10, En el cual establece cual es procedimiento a seguir comenzando a partir de:

### **Propósito y alcance**

En el cual se debe especificar con certeza que cual es el principal objetivo al realizar esta investigación debido a que cuando se realiza un estudio de vulnerabilidad sísmica de una edificación es para realizar modificaciones a la estructura, modificaciones tales como una ampliación de pisos o alguna intervención del sistema estructural, o que también se le quiera hacer un cambio de uso, o en algunos casos que sea necesario un reforzamiento estructural.

Dependiendo del tipo del alcance que va a tener la investigación se debe como primera medida hacer una recopilación preliminar de información existente a cerca del diseño geotécnico y estructural, así como los procedimientos ejecutados que se tuvieron en cuenta a la hora de la ejecución de la construcción de la edificación original, en dado caso que se hayan realizado intervenciones también se debe recopilar dicha información, además de esto es necesario realizar exploraciones a la edificación, para determinar si se encuentran irregularidades a los datos obtenidos en la información original.

Además de esto también se debe calificar de manera preliminar el sistema estructural y las patologías estructurales existentes, esto se realizará mediante una rigurosa inspección visual, en la

cual por medio de la observación se dará una perspectiva a cerca de la calidad de la estructura original y el estado actual en cuanto a mantenimiento y conservación de la misma.

Luego de haber recopilado dicha información se procederá a realizar la evaluación a la estructura, para esto se debe determinar las solicitantes que están indicadas en el capítulo A.10.4.2 de la NSR-10, en el cual da las instrucciones para realizar un análisis elástico de una edificación y el sistema de cimientos, luego se determina cual es la resistencia estructural existente recurriendo a lo especificado en el capítulo A.10.4.3.3, para con estos valores determinar cuál es la resistencia efectiva.

Una vez determinado los valores de resistencia existente y resistencia efectiva, se debe determinar el índice de sobreesfuerzo que se determina por medio del máximo cociente entre los elementos, se debe deben calcular cuales son los desplazamientos y las derivas para la estructura, con esto se logra determinar cuál va a ser el índice de flexibilidad, por medio la selección del máximo cociente entre las derivas encontradas y las derivas permitidas establecidas en el capítulo A.6.

### **Estudios e investigaciones requeridas**

En esta fase se debe indagar sobre información sobre la construcción existente, para de esta manera determinar los siguientes aspectos de la misma:

- Cuando se cuente con los documentos del diseño de la estructura y sobre el sistema de cimentación se debe realizar una exploración a la edificación donde se realice una comparación de la estructura con lo encontrado en los documentos de diseño, se debe dejar constancia de las exploraciones y de posibles fallas o incoherencias encontradas.
- se debe revisar la calidad de la construcción de la estructura original, esto se realizará de manera cualitativa mediante una inspección visual.
- Se debe determinar de manera cualitativa el estado actual de la estructura en estudio.
- Cuando se realice la exploración es necesario determinar si existen evidencias de fracturas o fallas, deflexiones que evidencien daño estructural, si existe corrosión en las armaduras u otros indicios de su comportamiento o alteraciones que pudieron haber acontecido con el pasar del tiempo.

- Por último, se debe indagar antecedentes de la zona a cerca de eventos extraordinarios que pudieron afectar la integridad de la estructura, eventos como explosiones, incendios, sismos, remodelaciones, colocación de elementos que representen un aumento en la carga y otras remodelaciones.

Luego de recopilar los estudios antes mencionados se procede a realizar una clasificación del sistema estructural, de una manera cualitativa teniendo como base la información recolectada en la cual se especifica la calidad del diseño y construcción de la estructura en su estado original y su estado actual.

### Movimientos sísmicos de diseño con seguridad limitada

Para cuando se realiza una evaluación o intervención de alguna edificación existentes, se considera que los movimientos sísmicos de seguridad limitada están definidas para una probabilidad del veinte por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años, esto se realiza en función de la aceleración pico efectiva reducida, representado por el parámetro  $A_e$ , para determinar el valor representativo del coeficiente se debe dirigir a la tabla A.10.3-2 en la NSR-10 debido a que la zona de estudio corresponde a una ciudad capital.

**Tabla 3.** Valor de  $A_e$  para las ciudades capitales de departamento

Ciudad	$A_e$	Ciudad	$A_e$
Arauca	0.10	Neiva	0.20
Armenia	0.15	Pasto	0.15
Barranquilla	0.05	Pereira	0.20
Bogotá	0.13	Popayán	0.15
Bucaramanga	0.15	Puerto Carreño	0.04
Cali	0.15	Puerto Inírida	0.04
Cartagena	0.05	Quibdó	0.25
Cúcuta	0.25	Riohacha	0.07
Florencia	0.10	San Andrés, Isla	0.05
Ibagué	0.15	San José del Guaviare	0.04
Leticia	0.04	Santa Marta	0.10
Manizales	0.20	Sincelejo	0.07
Medellín	0.13	Tunja	0.15
Mitú	0.04	Valledupar	0.05
Mocoa	0.20	Villavicencio	0.20
Montería	0.07	Yopal	0.15

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

Una vez determinado el valor de este coeficiente se realiza el espectro de diseño, para la evaluación y la intervención de edificaciones existentes con seguridad limitada se obtienen en la sección A.2.6 sustituyendo allí los valores de  $A_a$  y  $A_v$  por el valor de  $A_e$  dado en A.10.3.2 Y A.10.3.3

### **Criterios de evaluación de la estructura existente**

Se determina si la edificación en su estado actual está en capacidad de resistir las cargas definidas en el Reglamento, se debe establecer la equivalencia entre las solicitantes prescritas y las que la estructura en su estado actual es capaz de resistir en su estado actual, para determinar las solicitantes equivalentes se deben emplear los movimientos sísmicos de diseño descritos en A.10.3 para el lugar donde se encuentra la edificación, se determina que la estructura en estudio es y seguirá siendo de uso residencial.

Posterior a esto se realiza la clasificación del sistema estructural para el caso de la edificación en estudio es un sistema de pórtico en concreto reforzado, resistente a momentos, esencialmente completo, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales, a continuación, se determina el coeficiente de capacidad de disipación de energía ( $R'$ ), esto se realiza por medio de la evaluación de las condiciones y la información que se encuentra disponible de la estructura.

Con los valores obtenidos anteriormente se determina la fuerza sísmica  $F_s$ , que el espectro de diseño impone a la edificación, de debe realizar por medio del método de la fuerza horizontal equivalente, como está prescrito en el capítulo A.4, se determinan las cargas diferentes a las solicitaciones sísmicas, estas cargas son las que aparecen en prescritas en el título B.2.

Cuando se obtengan los valores de la fuerza sísmica se procede a determinar la relación entre la demanda y la capacidad, en el cual se deben determinar los índices de sobreesfuerzo y de flexibilidad, el cual permite definir cuál es la capacidad de la estructura existente y permite establecer si responde adecuadamente a las solicitaciones equivalentes definidas en A.10.4.2., durante este procedimiento se realiza la definición del índice de sobreesfuerzo, la resistencia existente de los elementos, la resistencia efectiva  $N_{ef}$  de los mismos o de la estructura, el cual se evalúa como el producto de la resistencia existente  $N_{ex}$ , multiplicada por los coeficientes de reducción  $\Phi_c$  y  $\Phi_e$ , así como se presenta en la siguiente ecuación:  $N_{ef} = \Phi_c \times \Phi_e \times N_{ex}$ , Donde a  $\Phi_c$  y  $\Phi_e$  se le asigna el valor dado en la tabla A.10.4-1 de la NSR-10, dependiendo de la calidad y estado de la estructura definidas anteriormente.

**Tabla 4.** Valores de  $\phi_c$  y  $\phi_e$ 

	Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación		
	Buena	Regular	Mala
$\phi_c$ o $\phi_e$	1.0	0.8	0.6

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

Con los valores obtenidos se define el índice de flexibilidad, el cual es el que indica la vulnerabilidad de la estructura a sufrir deflexiones o derivas exageradas, con respecto a lo que establece en la norma, se establecen los índices de flexibilidad del piso y de la estructura.(Asociación colombiana de Ingeniería sísmica-AIS, 2010)

### **Información preliminar**

El edificio Balcones de la 30 se encuentra ubicado en el centro de la ciudad de Villavicencio, esta edificación consta de 5 niveles, en los cuales el primero se utiliza como una zona comercial y los niveles restantes están destinados para uso residencial, estando estos distribuidos con 4 apartamentos por nivel. Además, esta edificación cuenta con una azotea en la cual se encuentran los tanques de almacenamiento de agua. De acuerdo a los datos obtenidos en la recopilación de información sobre la edificación, se obtuvo lo siguiente:

- Nombre de la construcción: Edificio Balcones de la 30
- Fecha aproximada de construcción: marzo de 1983
- Administrador del edificio: Luisa maría rojas
- Dirección del proyecto: Cra 30 # 36 - 29
- Tipo de uso de la edificación: Comercial / Residencial
- Estrato de la edificación: 3
- Años promedios de construcción de la edificación: 38 años

Así mismo, gracias al apoyo de la administradora del edificio se obtuvieron diferentes planos arquitectónicos de la edificación, en donde databa la fecha de construcción del mismo, el cual fue en el año 1983. Con la información obtenida en los planos se logró identificar los diferentes elementos estructurales presentes en la edificación y se procedió a realizar una nomenclatura a cada uno de los mismos.

**Figura 7.** Edificio Balcones de la 30



Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

### **Solicitud de autorizaciones y permisos necesarios**


Puesto que en el desarrollo del estudio era necesario ingresar a las instalaciones de la edificación, se optó por hablar con la administradora del mismo, la cual de manera muy colaborativa permitió la entrada al sitio y autorizó la realización de los ensayos de laboratorio requeridos en donde fuera necesario.

## Inspección visual


Al obtener la autorización de la administradora, se procedió a realizar diferentes visitas a la edificación en las cuales se inició principalmente por localizar las patologías presentes en la misma, realizando un análisis cualitativo de las mismas y compilándolas en una ficha de caracterización de patologías, se pudo observar que estas patologías no representan un riesgo de mayor importancia para el sistema de la estructura, por otra parte, se inició un levantamiento arquitectónico del edificio, tomando así las dimensiones reales de cada una de las plantas de la edificación y de los elementos estructurales, al mismo tiempo, se identificó que el sistema constructivo que posee la edificación es el sistema aporticado, es decir un sistema resistente a momentos y que es capaz de soportar las cargas verticales y horizontales de la estructura. (Cortes Henao & Perilla Morales, 2017), (Broto, 2005; Rosero et al., 2019), (Lopez Rodriguez et al., 2004)

### Patologías encontradas

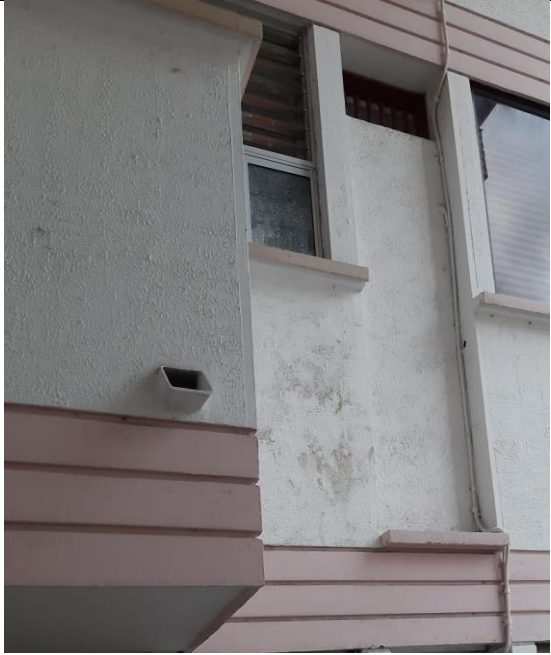

**Tabla 5. Patologías en la edificación**

<b>Ficha De Caracterización De Patologías</b>	
<b>Patología 1</b>	
<b>Descripción</b>	
En la columna G3 ubicada en el exterior de la estructura, se presenta una patología de carácter físico, en la cual se evidencia la presencia de humedad a lo largo del elemento, calificándose con una severidad media.	
<b>Causas</b>	
La humedad generada en el elemento es causada principalmente por la filtración de agua producto de la ruptura del bajante de aguas lluvia, además, las altas temperaturas y	

Tablas 5. Continuación

<b>Ficha De Caracterización De Patologías</b>	
condiciones climáticas generan impacto en el daño superficial que se genera en la columna.	
<b>Recomendaciones</b>	
Se recomienda como primera medida rehabilitar el elemento, con la finalidad de impermeabilizar las zonas afectadas, además, se debe reemplazar el bajante existente.	
<b>Patología 2</b>	
<b>Descripción</b>	
En el muro exterior ubicado en el respaldo de la edificación, se presenta una patología de carácter físico, en la cual se evidencia la presencia de fisuras en el elemento, calificándose estas con una severidad baja.	
<b>Causas</b>	
Estas patologías son causadas debido a eventos sísmicos presentados anteriormente, así mismo, por distintos efectos climáticos y exposición a altas temperaturas.	
<b>Recomendaciones</b>	
Rehabilitar la zona afectadas por las distintas fisuraciones por medio de la aplicación de estuco y pintura.	
<b>Patología 3</b>	
<b>Descripción</b>	
En un muro ubicado en el nivel 4 de la estructura, se presenta una patología de carácter físico, en la cual se evidencia la presencia de humedad en la pared exterior de un	

Tablas 5. Continuación

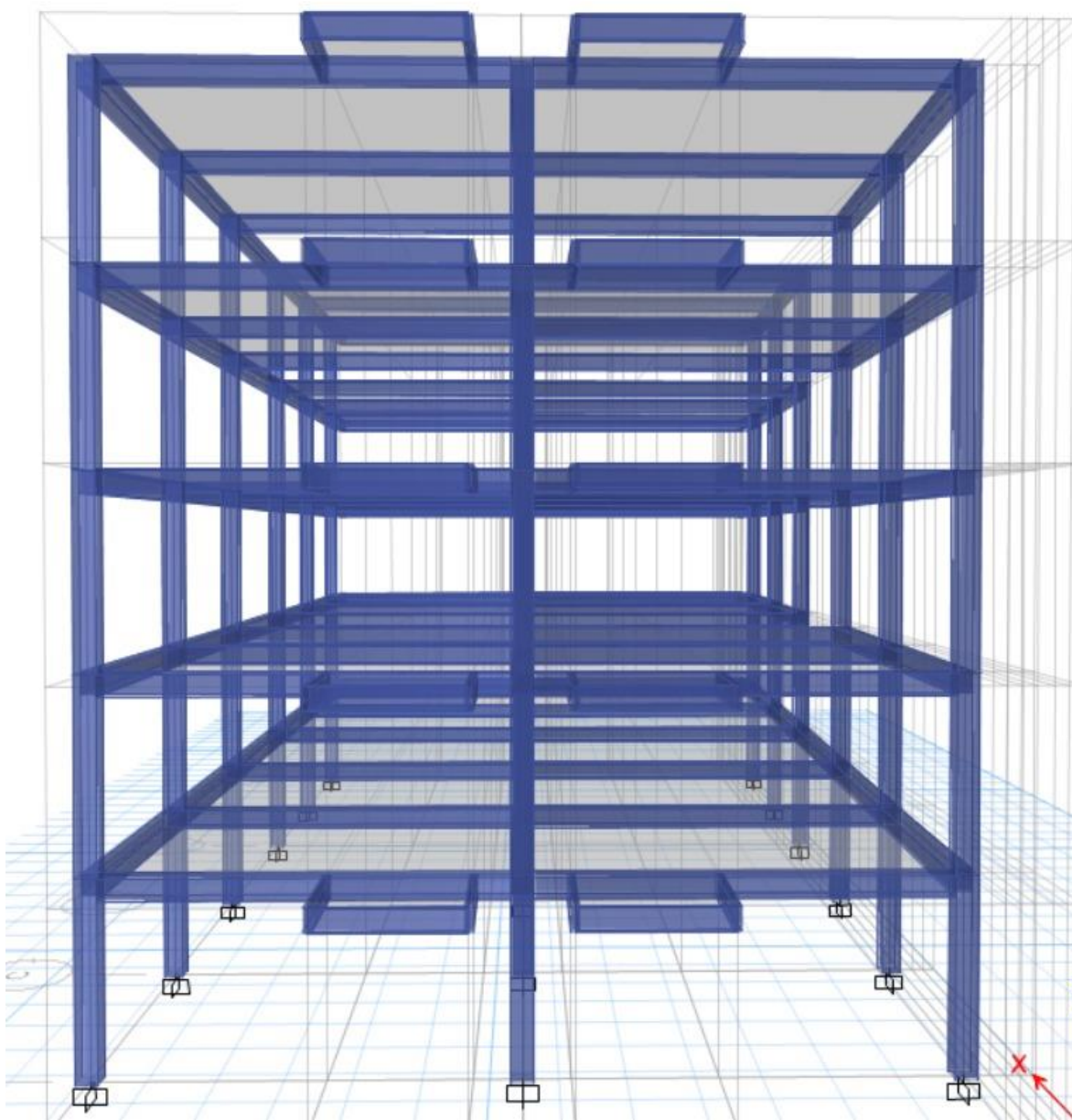
<b>Ficha De Caracterización De Patologías</b>	
apartamento, calificándose con una severidad baja..	
<b>Causas</b>	
La humedad presentada en este muro, es causada por la remodelación del tanque de lavado del apartamento, el cual se encuentra sellado incorrectamente y presenta pequeñas fugas de agua.	
<b>Recomendaciones</b>	
Se recomienda realizar la correcta instalación del tanque de lavado, verificando que en este no se presenten nuevamente filtraciones de agua.	
<b>Patología 4</b>	
<b>Descripción</b>	
En un muro ubicada en el primer nivel de la estructura, se presentan patologías de carácter físico, tales como fisuraciones y humedad a lo largo del elemento, calificándose ambas con una severidad baja.	
<b>Causas</b>	
Estas patologías se presentan debido a distintas remodelaciones realizadas en una edificación aledaña, la cual ocasiono filtraciones de agua y asentamientos mínimos del suelo que generaron la presencia de estas patologías.	
<b>Recomendaciones</b>	
Se recomienda rehabilitar el elemento, con la finalidad de impermeabilizar las zonas afectadas.	

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

## Configuración estructural

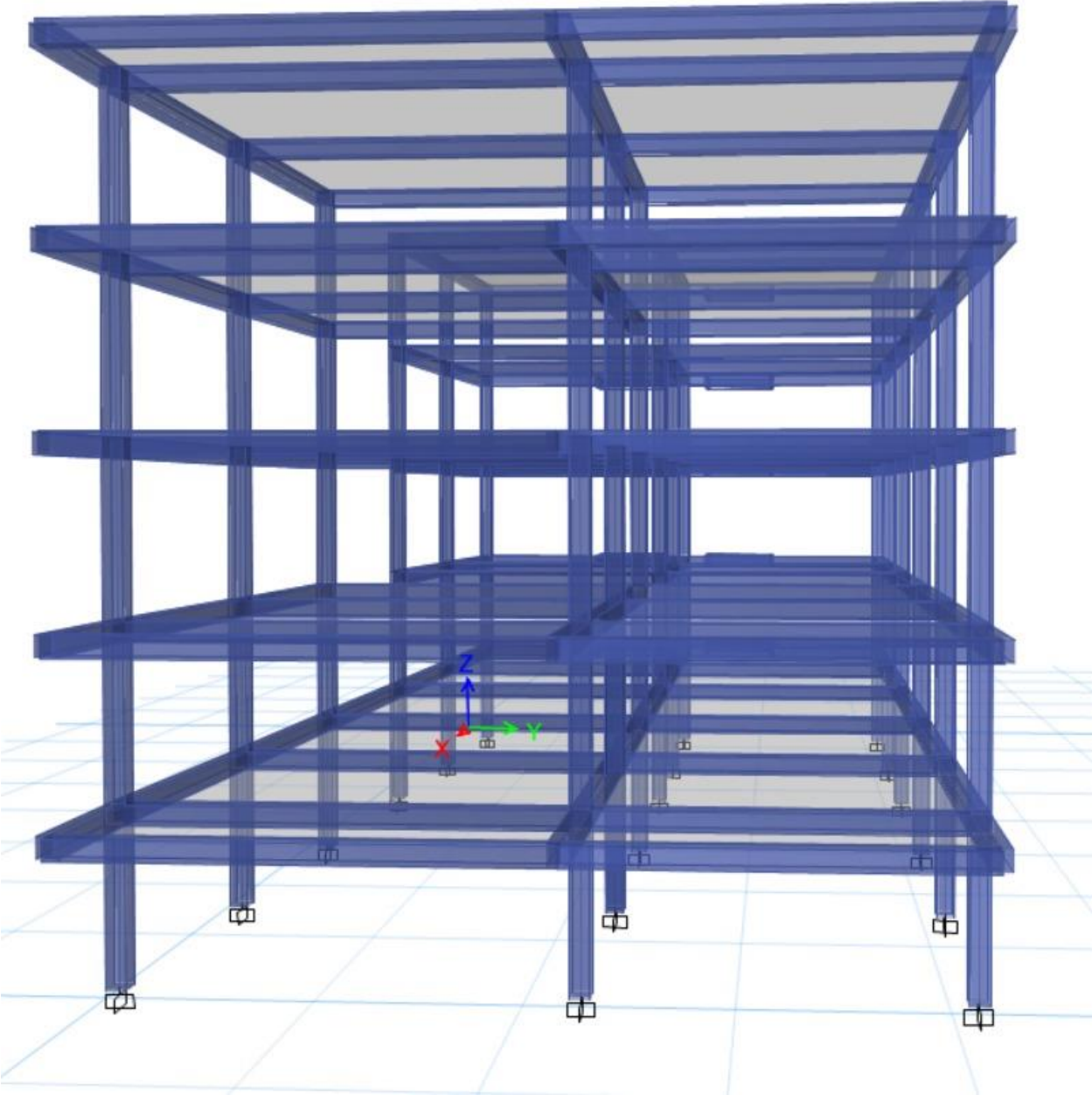
Con ayuda de la información recolectada mediante los procesos del levantamiento arquitectónico y con los planos suministrados por la administración se pudo obtener un esquema en el que se evidencian las diferentes vistas de la estructura.

*Figura 8. Vista frontal (Norte)*



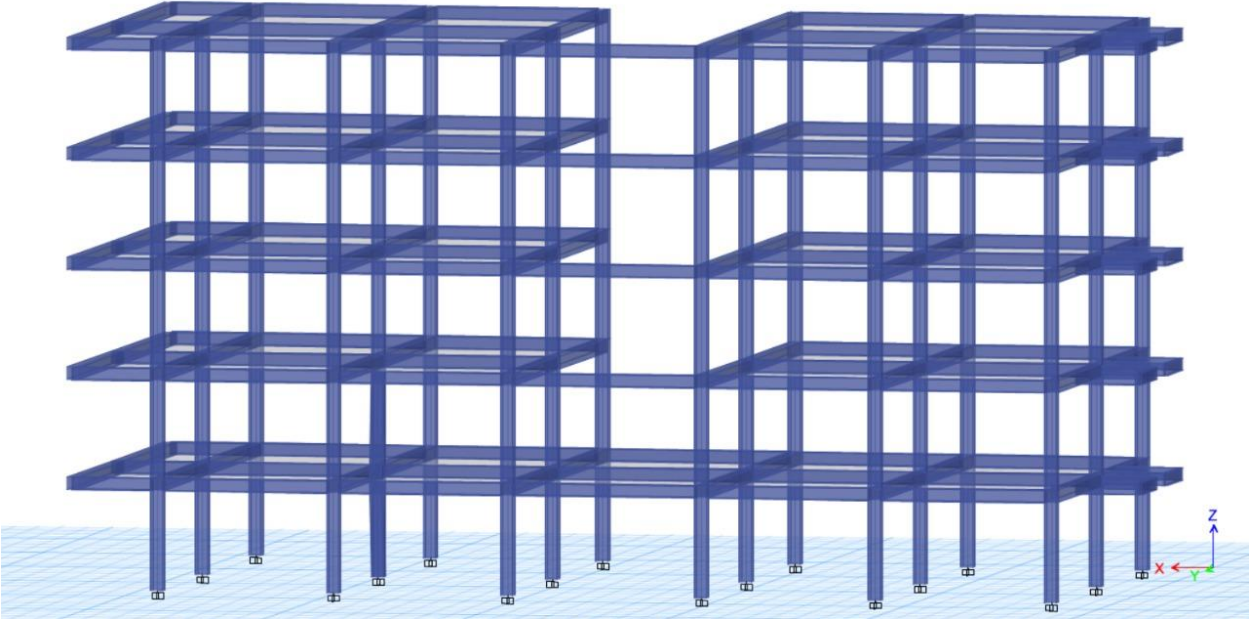
Nota: Adaptado de ETABS por Perez J, López C 2021.

*Figura 9. Vista posterior (Sur)*



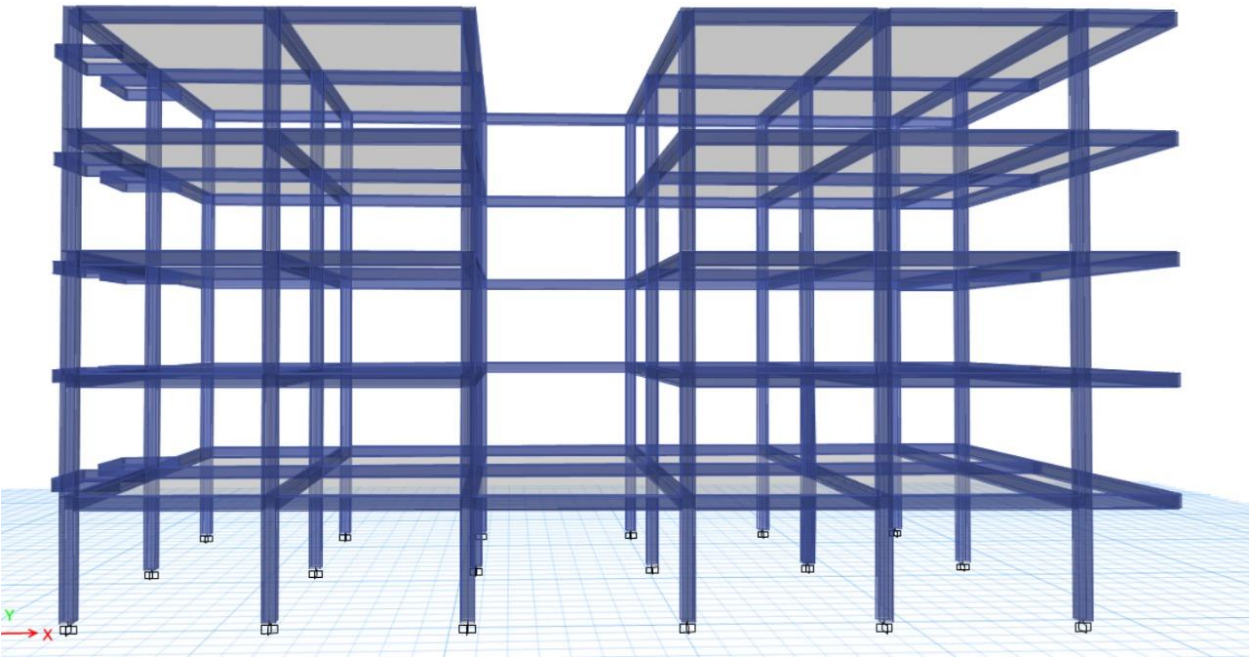
Nota: Adaptado de ETABS por Perez J, López C 2021.

**Figura 10.** Vista lateral izquierda (Oeste)



Nota: Adaptado de ETABS por Perez J, López C 2021.

**Figura 11.** Vista lateral derecha (Este)



Nota: Adaptado de ETABS por Perez J, López C 2021.

## Ensayos de laboratorio

### Ensayo de esclerómetro

Teniendo en cuenta la norma ASTM C805, en la cual enuncia que las lecturas que no se encuentren en el rango de más o menos 6 unidades de la media de 10 muestras deberán ser descartadas y se determinara el promedio con las lecturas restantes, por otra parte, si más de 2 lecturas difieren del promedio de 6 unidades se deberá descartar el conjunto total de las muestras y determinar los números de rebote en nuevas ubicaciones en la zona de prueba. (Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, 2002)

En primer lugar, se seleccionaron los elementos de la edificación en los cuales se iba a realizar el ensayo, seguidamente se procede a preparar la zona quedando está limpia y sin ningún tipo de fisuras, cabe aclarar que si durante la toma de la muestra alguna región donde se estaba practicando el ensayo se fisuraba este sería automáticamente descartado, además, los datos ubicados en un rango menor o mayor a 6 unidades del promedio de cada muestra también serían descartados. (Heredia Carrero et al., 2018)

**Tabla 6.** Resultados ensayo de esclerómetro

Elemento de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	X
Columna H3 Piso 2	35	34	35	34	32	35	33	32	33	34	34
Columna G3 Piso 2	40	44	39	44	37	41	43	44	42	44	42
Columna G4 Piso 2	43	45	45	47	45	41	44	39	43	45	44
Columna G3 Piso 4	37	34	-	34	37	39	41	41	37	36	37
Columna G4-1 Piso 5	36	41	-	-	35	35	36	37	31	31	35
Columna G4-2 Piso 5	38	33	31	32	35	33	33	38	37	37	35
Columna G3 Piso 5	32	32	33	34	30	33	33	-	34	34	33
<b>Promedio (Mpa o N/mm<sup>2</sup>)</b>											<b>37</b>

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

**Figura 12. Toma de datos esclerómetro**



Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021

**Figura 13. Toma de datos esclerómetro**



Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

## FerroScan

Por otra parte, al finalizar el proceso de toma de muestras con el esclerómetro, se identificaron los elementos a los cuales se les llevaría a cabo el ensayo del FerroScan, estos se ven representados en la siguiente tabla: (Heredia Carrero et al., 2018)

**Tabla 7. Resultados ensayo de FerroScan**

Tipo De Elemento	Datos Del Elemento	a(m)	a(m)	Acero Longitudinal	Acero Transversal	Recubrimiento
Columna	H3 Piso 2	0,3	0,3	4 - 2"	#3 @ 22. 5 Cm	40 mm
				8 - 3/2"		
				4 - 9/8"		
Columna	G3 Piso 2	0,3	0,3	4 - 9/8"	#2 @ 22,5 Cm	40 mm
				4#5		
Columna	G4 Piso 5	0,3	0,3	4#6	#3 @ 22,5 Cm	21 mm
Columna	G3 Piso 4	0,3	0,3	4#6	#3 @ 22,5 Cm	40 mm

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021

**Figura 14. Toma de muestras FerroScan**



Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

**Figura 15. Toma de muestras FerroScan**



Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

### Evaluación cualitativa de la construcción

Para llevar a cabo la calificación del estado actual de la edificación, se realizaron diferentes visitas de campo en donde se obtuvo información de las condiciones reales de la estructura, dicha información fue compilada en fichas de caracterización patológica en las cuales se evidencian los elementos en los que se observaron algún tipo de daño o deterioro. Por otra parte, en cuanto a la calificación de la calidad del diseño y la construcción de la estructura original se llevaron a cabo distintos ensayos que permitieron determinar las propiedades mecánicas del concreto y estimar el diámetro de las varillas de refuerzo de los elementos estructurales, por tanto, se inició con el ensayo de esclerómetro del cual se obtuvo un valor de resistencia a la compresión del concreto  $f'c$  de 37 Mpa, seguidamente se realizó el ensayo con el FerroScan se encontró que la mayoría de los elementos estructurales verticales no contaban con un refuerzo suficiente para lo que exige la edificación. (Cortes Henao & Perilla Morales, 2017)

**Tabla 8.** Calificación cualitativa de la estructura

<b>Coefficiente de Estado <math>\Phi_e</math></b>	1	Bueno
<b>Coefficiente de Calidad <math>\Phi_c</math></b>	0,8	Regular

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

Por consiguiente, de las calificaciones realizadas anteriormente se obtienen los valores de los coeficientes  $\Phi_c = 0.8$  y  $\Phi_e = 1$ , los cuales serán necesarios para realizar los cálculos correspondientes para determinar el índice de sobre esfuerzo.

## Modelación en ETABS

### Análisis sísmico

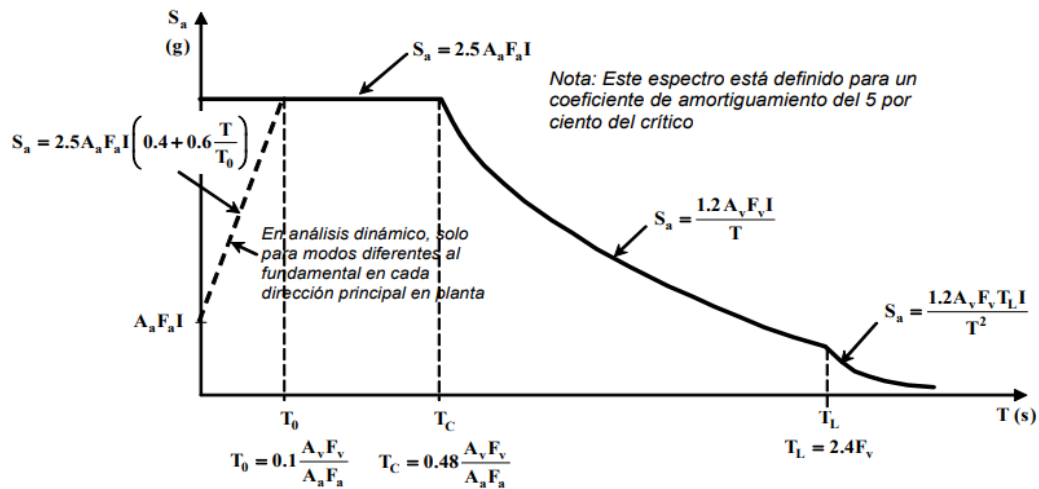
El reglamento utilizado para realizar el análisis sísmico de una estructura, es la Norma de Sismo Resistencia Colombiana del año 2010 (NSR10), la cual establece que la amenaza sísmica para el municipio de Villavicencio, Meta, es Alta. En concordancia con la Microzonificación sísmica de Villavicencio (NSR10), se establecen los valores para la elaboración del espectro de diseño, los cuales se evidencian en la siguiente tabla:

**Tabla 9. Parámetros sísmicos**

<b>Municipio</b>	Villavicencio
<b>Código departamento</b>	50001
<b>Tipo de perfil de suelo</b>	D
<b>Zona de amenaza sísmica</b>	alta
<b>Aa</b>	0,25
<b>Av</b>	0,3
<b>Ae</b>	0,2
<b>Ad</b>	0,07
<b>Fa</b>	1,6
<b>Fv</b>	1,8
<b>Coefficiente de importancia</b>	1
<b>Disipación de energía</b>	DES

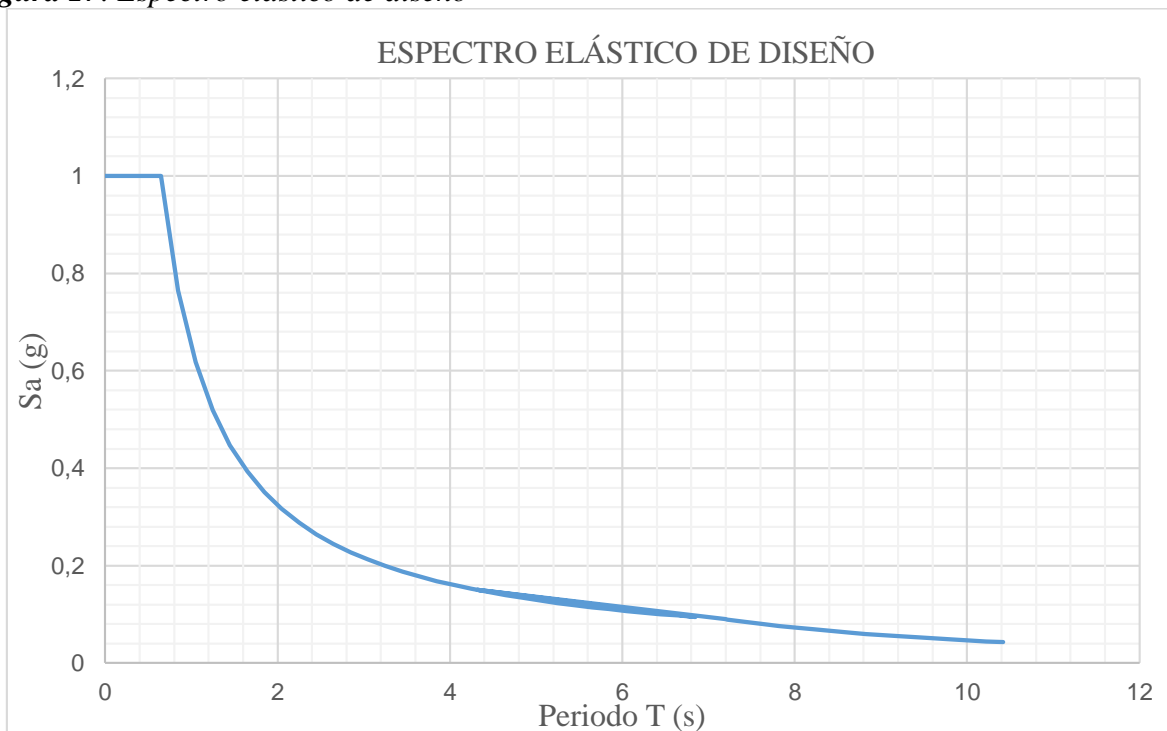
Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

Con estos valores se puede elaborar el espectro de diseño usando como base la figura A.2.6.1- Espectro Elástico de Aceleraciones de diseño como fracción de  $g$ , establecida en la NSR-10, en el cual se encuentran las ecuaciones necesarias para elaborar dicho espectro, así como lo muestra la siguiente imagen:

**Figura 16.** Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de  $g$ 

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

Una vez se rempazan los valores obtenidos de la norma en la figura anterior, se obtiene el espectro de diseño para el lugar de estudio, en este caso corresponde al espectro de diseño para el municipio de Villavicencio, Meta, con esto se demuestra que el espectro es el siguiente:

**Figura 17.** Espectro elástico de diseño

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

De esta manera queda determinado cual es el espectro de diseño que se usó para realizar la evaluación estructural al edificio en estudio.

### **Reducción del valor de $r$ para estructuras irregulares y con ausencia de redundancia.**

El coeficiente de capacidad de disipación de energía  $R$ , se determina por medio del producto de los valores obtenidos que están relacionados con las características de la misma estructura, teniendo en cuenta la irregularidad en planta ( $\phi_p$ ), la irregularidad en altura ( $\phi_a$ ) y la ausencia de redundancia ( $\phi_r$ ), como se indica en la siguiente ecuación:

**Figura 18. Ecuación coeficiente  $R$**

$$R = \phi_a \cdot \phi_p \cdot \phi_r \cdot R_o$$

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

Para definir el valor de cada coeficiente se remite a la NSR-10, Capítulo A.3, en donde se describe cuáles son las condiciones para establecer el valor respectivo.

#### ***Irregularidad por ausencia de redundancia***

Para edificaciones con capacidad estructural con capacidad de disipación de energía mínima, moderada o especial, el valor del factor de reducción de resistencia por ausencia de redundancia en el sistema estructural, es una unidad ( $\phi_r=1$ ).

#### ***Irregularidad en planta***

Para determinar el valor del factor de irregularidad de planta ( $\phi_p$ ) se remite a la NSR-10, en la tabla A.3-6, donde para el caso de la edificación en estudio, se interpreta que la misma presenta una discontinuidad en el diafragma, lo cual permite determinar el valor del mismo, obteniendo como resultado el factor de 0.9, de acuerdo como lo muestra la siguiente tabla.

**Tabla 10. Irregularidades en planta**

Tipo	Descripción de la irregularidad en planta	$\phi_p$	Referencias
1aP	<b>Irregularidad torsional</b> — La irregularidad torsional existe cuando en una edificación con diafragma rígido, la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura, calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es más de 1.2 y menor o igual a 1.4 veces la deriva promedio de los dos extremos de la estructura, con respecto al mismo eje de referencia.	0.9	A.3.3.6, A.3.4.2, A.3.6.3.1, A.3.6.7.1, A.3.6.8.4, A.5.2.1.
1bP	<b>Irregularidad torsional extrema</b> — La irregularidad torsional extrema existe cuando en una edificación con diafragma rígido, la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura, calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es más de 1.4 veces la deriva promedio de los dos extremos de la estructura, con respecto al mismo eje de referencia.	0.8	A.3.3.6, A.3.4.2, A.3.6.3.1, A.3.6.7.1, A.3.6.8.4, A.5.2.1.
2P	<b>Retrocesos excesivos en las esquinas</b> — La configuración de una estructura se considera irregular cuando ésta tiene retrocesos excesivos en sus esquinas. Un retroceso en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del retroceso, son mayores que el 15 por ciento de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del retroceso.	0.9	A.3.4.2, A.3.6.8.4, A.3.6.8.5, A.5.2.1,
3P	<b>Discontinuidades en el diafragma</b> — Cuando el diafragma tiene discontinuidades apreciables o variaciones en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entradas, retrocesos o huecos con áreas mayores al 50 por ciento del área bruta del diafragma o existen cambios en la rigidez efectiva del diafragma de más del 50 por ciento, entre niveles consecutivos, la estructura se considera irregular.	0.9	A.3.3.7, A.3.4.2, A.3.6.8.4, A.5.2.1.
4P	<b>Desplazamientos del plano de acción de elementos verticales</b> — La estructura se considera irregular cuando existen discontinuidades en las trayectorias de las fuerzas inducidas por los efectos sísmicos, tales como cuando se traslada el plano que contiene a un grupo de elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, en una dirección perpendicular a él, generando un nuevo plano. Los altillos o manzardas de un solo piso se eximen de este requisito en la consideración de irregularidad.	0.8	A.3.3.7, A.3.4.2, A.3.6.8.4, A.3.6.12, A.5.2.1.
5P	<b>Sistemas no paralelos</b> — Cuando las direcciones de acción horizontal de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica no son paralelas o simétricas con respecto a los ejes ortogonales horizontales principales del sistema de resistencia sísmica, la estructura se considera irregular.	0.9	A.3.4.2, A.3.6.3.1, A.5.2.1.

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

Se analiza e interpreta que puede existir una irregularidad torsional, o una discontinuidad de diafragma, para revisar cuál de las dos irregularidades mencionadas anteriormente se cumplen se realiza el cálculo haciendo uso de las siguientes ecuaciones:

**Tabla 11. Condiciones a evaluar irregularidad en planta**

Tipo 1aP – Irregularidad Torsional

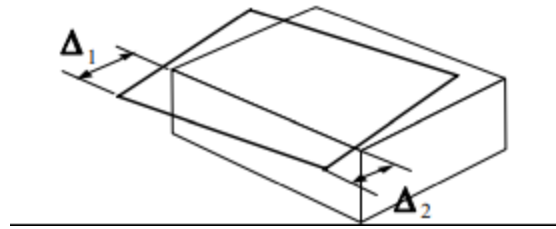
$$\phi_p = 0.9$$

$$1.4\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right) \geq \Delta_1 \geq 1.2\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right)$$

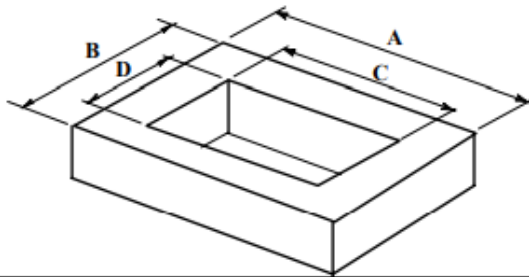
Tipo 1bP – Irregularidad Torsional

$$\phi_p = 0.8$$

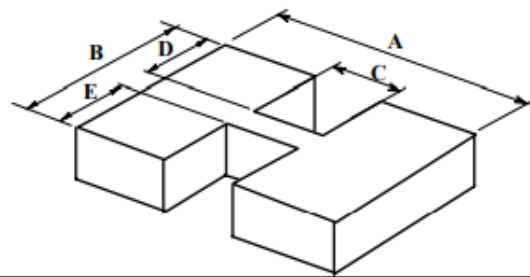
$$\Delta_1 \geq 1.4\left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right)$$

Tipo 3P – Irregularidad de diafragma --  $\phi_p = 0.9$ 

$$1) C \times D > 0.5 A \times B$$



$$2) (C \times D + C \times E) > 0.5 A \times B$$

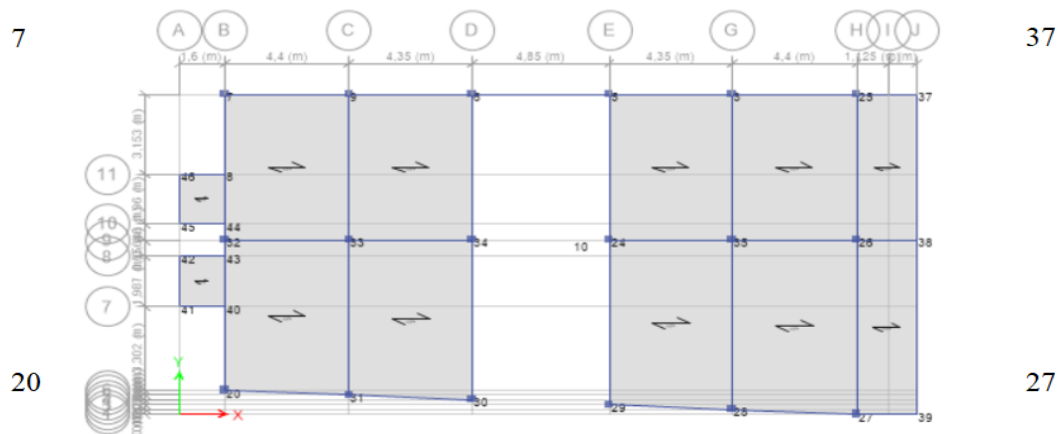


Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

Seguidamente, se debe revisar si existe una irregularidad torsional analizando los desplazamientos causados por la aplicación de la Fuerza horizontal equivalente en sentido X y sentido Y, esta evaluación se hace piso por piso, comparando el desplazamiento de cada nodo con respecto a otro que le sigue, se verifica si cumple algunas de las condiciones que permiten establecer el valor de este coeficiente, si no se cumple ninguna se asume que en la edificación no hay ninguna irregularidad torsional, por lo tanto el valor respectivo será igual a 1. A continuación, se muestran puntos de desplazamientos tomados para el estudio de la irregularidad y posteriormente se encuentran los resultados:

### Tipo 1ap y 1bp

Figura 19. Puntos de evaluación de desplazamiento



Nota: Adaptado de ETABS por Perez J, López C 2021.

Tabla 12. Irregularidad torsional piso 1

Fuerza Horizontal Equivalente Sentido X							
Puntos	$\Delta 1$	$\Delta 2$	Tipo 1ap	Tipo 1bp	$\Phi_p$	Irregularidad	
						Si	No
20-27	21,275	21,286	29,7927	25,5366	1		X
27-37	21,286	21,327	29,8291	25,5678	1		X
37-7	21,327	21,323	29,855	25,59	1		X
7-20	21,323	21,275	29,8186	25,5588	1		X
Fuerza Horizontal Equivalente Sentido Y							
Puntos	$\Delta 1$	$\Delta 2$	Tipo 1ap	Tipo 1bp	$\Phi_p$	Irregularidad	
						Si	No
20-27	23,095	28,829	36,3468	31,1544	1		X
27-37	28,898	28,841	40,4173	34,6434	1		X
37-7	28,841	23,096	36,3559	31,1622	1		X
7-20	23,096	23,095	32,3337	27,7146	1		X

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021

Tabla 13. Irregularidad torsional piso 2

Fuerza Horizontal Equivalente Sentido X							
Puntos	$\Delta 1$	$\Delta 2$	Tipo 1ap	Tipo 1bp	$\Phi_p$	Irregularidad	
						Si	No
20-27	52,075	52,115	72,933	62,514	1		X
27-37	52,115	51,572	72,5809	62,2122	1		X
37-7	21,572	51,572	51,2008	43,8864	1		X
7-20	51,572	52,075	72,5529	62,1882	1		X

Tablas 13. Continuación

Fuerza Horizontal Equivalente Sentido Y							
Puntos	$\Delta 1$	$\Delta 2$	Tipo 1ap	Tipo 1bp	$\Phi_p$	Irregularidad	
						Si	No
20-27	58,024	72,552	91,4032	78,3456	1		X
27-37	72,552	72,552	101,5728	87,0624	1		X
37-7	72,552	58,024	91,4032	78,3456	1		X
7-20	58,024	58,024	81,2336	69,6288	1		X

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021

Tabla 14. Irregularidad torsional piso 3

Fuerza Horizontal Equivalente Sentido X							
Puntos	$\Delta 1$	$\Delta 2$	Tipo 1ap	Tipo 1bp	$\Phi_p$	Irregularidad	
						Si	No
20-27	81,337	81,458	113,9565	97,677	1		X
27-37	81,458	79,838	112,9072	96,7776	1		X
37-7	79,838	79,838	111,7732	95,8056	1		X
7-20	79,838	81,337	112,8225	96,705	1		X
Fuerza Horizontal Equivalente Sentido Y							
Puntos	$\Delta 1$	$\Delta 2$	Tipo 1ap	Tipo 1bp	$\Phi_p$	Irregularidad	
						Si	No
20-27	90,012	113,679	142,5837	122,2146	1		X
27-37	113,679	113,679	159,1506	136,4148	1		X
37-7	113,679	90,012	142,5837	122,2146	1		X
7-20	90,012	90,012	126,0168	108,0144	1		X

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021

Tabla 15. Irregularidad torsional piso 4

Fuerza Horizontal Equivalente Sentido X							
Puntos	$\Delta 1$	$\Delta 2$	Tipo 1ap	Tipo 1bp	$\Phi_p$	Irregularidad	
						Si	No
20-27	103,357	103,547	144,8328	124,1424	1		X
27-37	103,547	100,997	143,1808	122,7264	1		X
37-7	100,997	100,997	141,3958	121,1964	1		X
7-20	100,997	103,357	143,0478	122,6124	1		X
Fuerza Horizontal Equivalente Sentido Y							
Puntos	$\Delta 1$	$\Delta 2$	Tipo 1ap	Tipo 1bp	$\Phi_p$	Irregularidad	
						Si	No
20-27	114,044	144,669	181,0991	155,2278	1		X
27-37	144,669	144,669	202,5366	173,6028	1		X
37-7	144,669	114,044	181,0991	155,2278	1		X
7-20	114,044	114,044	159,6616	136,8528	1		X

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021

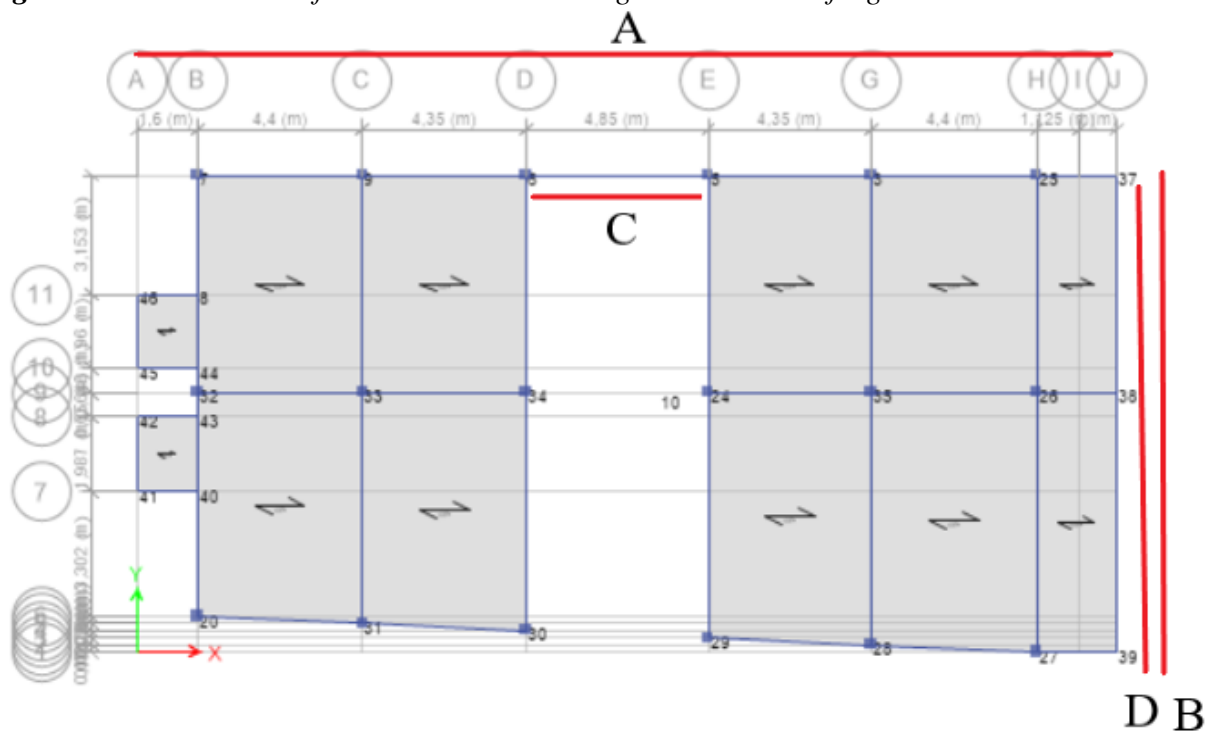
Tabla 16. Irregularidad torsional piso 5

Fuerza Horizontal Equivalente Sentido X							
Puntos	$\Delta 1$	$\Delta 2$	Tipo 1ap	Tipo 1bp	$\Phi_p$	Irregularidad	
						Si	No
20-27	116,046	116,248	162,6058	139,3764	1		X
27-37	116,248	113,048	160,5072	137,5776	1		X
37-7	113,048	113,048	158,2672	135,6576	1		X
7-20	113,048	116,046	160,3658	137,4564	1		X
Fuerza Horizontal Equivalente Sentido Y							
Puntos	$\Delta 1$	$\Delta 2$	Tipo 1ap	Tipo 1bp	$\Phi_p$	Irregularidad	
						Si	No
20-27	128,157	162,863	203,714	174,612	1		X
27-37	162,863	162,863	228,0082	195,4356	1		X
37-7	162,863	128,157	203,714	174,612	1		X
7-20	128,157	128,157	179,4198	153,7884	1		X

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021

### Tipo 3P

Figura 20. Medidas de referencia cálculo de irregularidad de diafragma



Nota: Adaptado de ETABS por Perez J, López C 2021

**Tabla 17. Medidas correspondientes**

Valores	
A	24,475
B	13
C	4,85
D	12,9

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021

**Tabla 18. Evaluación irregularidad de diafragma**

Revisión		
62,565	≥	159,0875
Sin Irregularidad		

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021

A continuación, se presenta una tabla en la que se evidencia un resumen tanto de los parámetros que no aplicaban a la edificación como de los que, si aplicaban, pero no cumplieron con los requisitos para presentar irregularidad.

**Tabla 19. Resumen parámetros irregularidad en planta**

Parámetro	Tipo	Si	No	Factor De Reducción
Irregularidad Torsional	1aP		X	0,9
Irregularidad Torsional Externa	2bP		X	0,8
Retrocesos excesivos en las Esquinas	2P		X	0,9
Discontinuidades en el diafragma	3P		X	0,9
Desplazamiento del plano en Acción	4P		X	0,8
Sistemas no paralelos	5P		X	0,9

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021

Una vez revisadas las condiciones de irregularidad en planta, por medio de los resultados obtenidos, se determina que la estructura no presenta alguna alteración que pueda perjudicar su comportamiento sísmico, por lo tanto, se determina que el valor para  $\phi_p$  es igual a una unidad.

### **Irregularidad en altura**

Para el caso del calcular el factor de irregularidad en altura, se remite a la tabla A.3-7, de la NSR-10, en la cual se establecen varias condiciones que se pueden presentar en un edificio, condiciones que pueden afectar el comportamiento sismo resistente del mismo.

**Tabla 20. Irregularidades en altura**

Tipo	Descripción de la irregularidad en altura	$\phi_a$	Referencias
1aA	<b>Piso flexible (Irregularidad en rigidez)</b> — Cuando la rigidez ante fuerzas horizontales de un piso es menor del 70 por ciento pero superior o igual al 60 por ciento de la rigidez del piso superior o menor del 80 por ciento pero superior o igual al 70 por ciento del promedio de la rigidez de los tres pisos superiores, la estructura se considera irregular.	0.9	A.3.3.5.1, A.3.4.2,
1bA	<b>Piso flexible (Irregularidad extrema en rigidez)</b> — Cuando la rigidez ante fuerzas horizontales de un piso es menor del 60 por ciento de la rigidez del piso superior o menor del 70 por ciento del promedio de la rigidez de los tres pisos superiores, la estructura se considera irregular.	0.8	A.3.3.5.1, A.3.4.2,
2A	<b>Irregularidad en la distribución de las masas</b> — Cuando la masa, $m_i$ , de cualquier piso es mayor que 1.5 veces la masa de uno de los pisos contiguos, la estructura se considera irregular. Se exceptúa el caso de cubiertas que sean más livianas que el piso de abajo.	0.9	A.3.3.5.1, A.3.4.2.
3A	<b>Irregularidad geométrica</b> — Cuando la dimensión horizontal del sistema de resistencia sísmica en cualquier piso es mayor que 1.3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, la estructura se considera irregular. Se exceptúa el caso de los altillos de un solo piso.	0.9	A.3.4.2.
4A	<b>Desplazamientos dentro del plano de acción</b> — La estructura se considera irregular cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, dentro del mismo plano que los contiene, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento. Cuando los elementos desplazados solo sostienen la cubierta de la edificación sin otras cargas adicionales de tanques o equipos, se eximen de esta consideración de irregularidad.	0.8	A.3.3.7, A.3.4.2, A.3.6.12.
5aA	<b>Piso débil — Discontinuidad en la resistencia</b> — Cuando la resistencia del piso es menor del 80 por ciento de la del piso inmediatamente superior pero superior o igual al 65 por ciento, entendiendo la resistencia del piso como la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada, la estructura se considera irregular.	0.9	A.3.2.4.1, A.3.3.6, A.3.3.7, A.3.4.2.
5bA	<b>Piso débil — Discontinuidad extrema en la resistencia</b> — Cuando la resistencia del piso es menor del 65 por ciento de la del piso inmediatamente superior, entendiendo la resistencia del piso como la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada, la estructura se considera irregular.	0.8	A.3.2.4.1, A.3.3.6, A.3.3.7, A.3.4.2.

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

**Tabla 21. Resumen parámetros irregularidad en altura**

Parámetro	Tipo	Si	No	Factor De Reducción
Piso Flexible (Irregularidad en Rigidez)	1aA		X	0,9
Piso Flexible (Irregularidad extrema en Rigidez)	2bA		X	0,8
Distribución de Masas	2A		X	0,9
Geométrica	3A		X	0,9
Desplazamiento del Plano de Acción	4A		X	0,8
Piso Débil (Discontinuidad en la resistencia)	5aA		X	0,9
Piso Débil (Discontinuidad extrema en la resistencia)	5aA		X	0,8

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021

con lo anterior mencionado, se evalúan todas las condiciones, y se determina que la estructura en estudio no presenta ninguna de las irregularidades antes mencionadas, por lo que se asume que el

valor de este factor es de una unidad ( $\phi_a=1$ ), a continuación, se presenta la tabla de con la que se realizó la evaluación de las irregularidades en altura.

### *Coefficiente de capacidad de disipación de energía básico*

Posteriormente se calcula el valor  $R_0$ , para el cual se usa la tabla A-3-3, de la NSR-10, se realiza la selección conociendo que la estructura en estudio está constituida por un sistema estructural de pórtico resistente a momento, por lo cual se hace uso de dicha tabla mencionada, con esto se determina que el valor de  $R_0=7$ , como lo muestra la siguiente tabla:

**Tabla 22. Sistema estructural de pórtico resistente a momentos**

C. SISTEMA DE PÓRTICO RESISTENTE A MOMENTOS		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			Alta		Intermedia		baja	
		uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.		
<b>1. Pórticos resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)</b>									
a. De concreto (DES)	el mismo	7.0	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. De acero (DES)	el mismo	7.0 (Nota-3)	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
c. Mixtos	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	7.0	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
d. De acero con cerchas dúctiles (DES)	Pórticos de acero resistentes o no a momentos	6.0	3.0	si	30 m	si	45 m	si	sin límite

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

Con los valores obtenidos, se puede determinar valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía  $R$ , para el cual se hace uso de la ecuación mencionada anteriormente (ver figura 17) y reemplazando los valores se obtiene el siguiente resultado:

### *Figura 21. Calculo coeficiente R*

$$R = 1 * 1 * 1 * 7 = 7$$

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

### **Metodología del estudio, modelación de la estructura y análisis de vulnerabilidad.**

Para la evaluación de la vulnerabilidad de una estructura existente, se debe revisar que se cumplan todos los lineamientos establecidos en la NSR-10, especialmente en el capítulo A.10, en el cual se

especifican cuáles son las condiciones para realizar una evaluación e intervención de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del reglamento.

Se elabora un modelo para la estructura existente, para realizar el chequeo de derivas se utiliza el método de fuerza horizontal equivalente, el cual permite determinar cuáles son los desplazamientos piso por piso, esto se realiza imponiéndole a la estructura todas las combinaciones de cargas como se establece en el Título B de la NSR-10.

Para llevar a cabo la evaluación se realizó la modelación en el programa ETABS, en el cual se determina cuáles son las cuantías requeridas de la estructura, con el fin de determinar cuáles son las arreas de acero necesarias, estos valores obtenidos se comparan con el acero obtenido en el estudio del edificio por medio del FerroScan, esta comparación se evalúa por medio del cálculo de los índices de sobre esfuerzo.

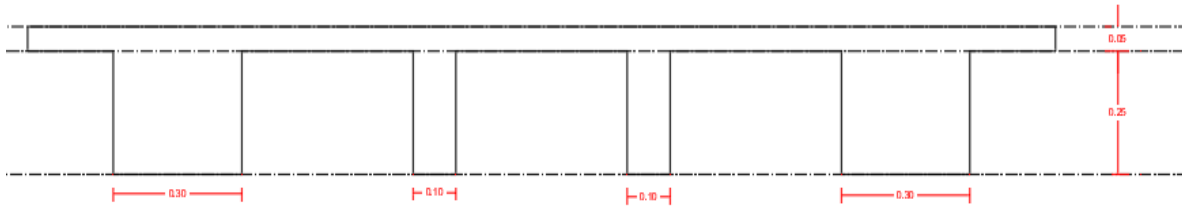
Además de esto, se determinan los índices de flexibilidad de cada uno de los pisos, conociendo que estos índices se calcularon con un espectro de derivas no superior al 1%, lo cual es lo permitido en la NSR-10, en su numeral A.6.2.1.2, por último, con la información obtenida se calculan los índices de vulnerabilidad que tiene la edificación en estudio.

## **Avaluó de cargas**

### ***Carga Muerta***

Para realizar el análisis estructural del edificio, se realiza una visita a la zona de estudio, en el cual se detallan las propiedades de las mismas, se detalla el sistema estructural, y se corrobora que las medidas, diseños sean como están demostradas en el plano, una vez se comprueba que la información obtenida es correcta se realiza el avaluó de cargas de la edificación, conociendo que el sistema estructural de la edificación es de pórtico resistente a momento, primero se calcula el peso propio del sistema estructural, de aquellas partes que están construidas en concreto reforzado, sabiendo que la densidad del concreto es de 24 KN/m<sup>3</sup>, se realiza el avaluó del peso propio de la estructura.

Teniendo en cuenta que el piso uno tiene una mayor altura, se realizan dos cálculos, con el fin de determinar el peso por cada piso.

**Figura 22.** Esquema avaluó de cargas nivel 1

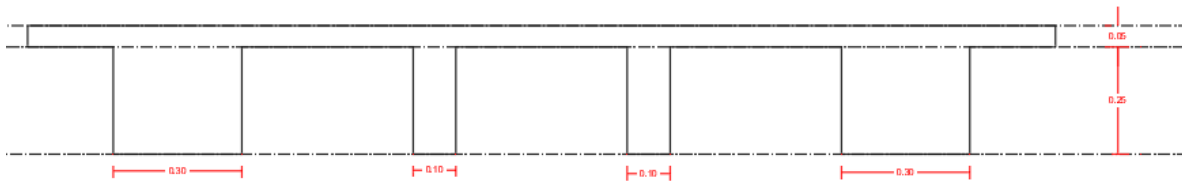
Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

Se determina el peso de los elementos estructurales del piso 1, donde se encuentran los siguientes valores:

**Tabla 23.** Peso elementos estructurales nivel 1

Elementos	Peso
Peso De Columna Por Piso	106,92 KN
Peso De Vigas Por Piso	291,4488 KN
Peso De Loseta Por Piso	385,4856 KN
Peso De Viguetas Por Piso	228,75 KN

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

**Figura 23.** Esquema avaluó de cargas niveles 2 - 3 - 4 - 5

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

En este caso la altura libre de las columnas disminuye, así mismo, se debe considerar el voladizo de los balcones, se obtiene los siguientes resultados de los elementos estructurales:

**Tabla 24.** *Peso elementos estructurales nivel 2 - 3 - 4 - 5*

<b>Elementos</b>	<b>Peso</b>
Peso De Columna Por Piso	104,976 KN
Peso De Vigas Por Piso	271,0368 KN
Peso De Loseta Por Piso	277,032 KN
Peso De Viguetas Por Piso	175,14 KN
Peso De Vigas De Balcón Por Piso	3,6 KN

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

Estos pesos se repiten en los pisos 3, 4 y 5 debido que la estructura es homogénea y no se presenta ningún cambio que pueda afectar las condiciones de carga de la misma.

Para realizar el avalúo de carga de los elementos no estructurales, se remitió a la NSR-10 en el capítulo B.3.4, en el cual se especifican los valores de las cargas por metro cuadrado de varios materiales con los que puede estar constituido un edificio, haciendo uso de la norma, se hace la selección de materiales de los elementos horizontales:

**Tabla 25.** *Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – cielo rasos*

<b>Componente</b>	<b>Carga (kN/m<sup>2</sup>) m<sup>2</sup> de área en planta</b>	<b>Carga (kgf/m<sup>2</sup>) m<sup>2</sup> de área en planta</b>
<b>Cielo raso</b>		
Canales suspendidas de acero	0.10	10
Ductos mecánicos	0.20	20
Entramado metálico suspendido afinado en cemento.	0.70	70
Entramado metálico suspendido afinado en yeso.	0.50	50
Fibras acústicas	0.10	10
Pañete en yeso o concreto	0.25	25
Pañete en entramado de madera	0.80	80
Tableros de yeso	0.0080 (por mm de espesor)	8 (por cm de espesor)
Sistema de suspensión de madera.	0.15	15

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

**Tabla 26.** Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – pisos

Componente	Carga (kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Carga (kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta
<b>Pisos y acabados</b>		
Acabado de piso en concreto	0.0200 (por mm de espesor)	20 (por cm de espesor)
Afinado (25 mm) sobre concreto de agregado pétreo	1.50	150
Baldosa cerámica (20 mm) sobre 12 mm de mortero.	0.80	80
Baldosa cerámica (20 mm) sobre 25 mm de mortero.	1.10	110
Baldosa sobre 25 mm de mortero	1.10	110
Bloque de asfalto (50 mm), sobre 12 mm de mortero	1.50	150
Bloque de madera (75 mm) sin relleno	0.50	50
Bloque de madera (75 mm) sobre 12 mm de mortero	0.80	80
Durmientes de madera, 20 mm	0.15	15
Madera densa, 25 mm	0.20	20
Mármol y mortero sobre concreto de agregado pétreo	1.60	160
Piso asfáltico o linóleo, 6 mm	0.05	5
Pizarra	0.030 (por mm de espesor)	30 (por cm de espesor)
Terrazzo (25 mm), concreto 50 mm	1.50	150
Terrazzo (40 mm) directamente sobre la losa	0.90	90
Terrazzo (25 mm) sobre afinado en concreto	1.50	150

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

**Tabla 27.** Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – cubiertas

Componente	Carga (kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Carga (kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta
<b>Cubierta</b>		
Cobre o latón	0.05	5
Cubiertas aislantes		
Fibra de vidrio	0.0020 (por mm de espesor)	2.0 (por cm de espesor)
Tableros de fibra	0.0030 (por mm de espesor)	3.0 (por cm de espesor)
Perlita	0.0015 (por mm de espesor)	1.5 (por cm de espesor)
Espuma de poliestireno	0.0005 (por mm de espesor)	0.5 (por cm de espesor)
Espuma de poliuretano	0.0010 (por mm de espesor)	1.0 (por cm de espesor)
Cubiertas corrugadas de asbesto-cemento	0.20	20
Entablado de madera	0.0060 (por mm de espesor)	6.0 (por cm de espesor)
Láminas de yeso, 12 mm	0.10	10
Madera laminada (según el espesor)	0.0100 (por mm de espesor)	10.0 (por cm de espesor)
Membranas impermeables:		
Bituminosa, cubierta de grava	0.25	25
Bituminosa, superficie lisa	0.10	10
Líquido aplicado	0.05	5
Tela asfáltica de una capa	0.03	3
Marquesinas, marco metálico, vidrio de 10 mm	0.40	40
Tableros de fibra, 12 mm	0.05	5
Tableros de madera, 50 mm	0.25	25
Tableros de madera, 75 mm	0.40	40
Tablero metálico, calibre 20 (0.9 mm de espesor nominal)	0.08	8
Tablero metálico, calibre 18 (1.2 mm de espesor nominal)	0.08	8
Tablillas (shingles) de asbesto – cemento	0.20	20
Tablillas (shingles) de asfalto	0.10	10
Tablillas (shingles) de madera	0.15	15
Teja de arcilla, incluyendo el mortero	0.80	80

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

Una vez seleccionados los materiales de los elementos horizontales, se realiza el mismo procedimiento con los elementos verticales, obteniendo la siguiente selección:

**Tabla 28.** Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – muros

Componente	Carga (kN/m <sup>2</sup> ) por m <sup>2</sup> de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kN/m)	Carga (kgf/m <sup>2</sup> ) por m <sup>2</sup> de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kgf/m)
<b>Muros</b>		
Exteriores de paneles (postes de acero o madera):		
Yeso de 15 mm, aislado, entablado de 10 mm	1.00	100
Exteriores con enchape en ladrillo	2.50	250
Mampostería de bloque de arcilla:	Espesor del muro (en mm)	
	100 150 200 250 300	10 15 20 25 30
Pañetado en ambas caras	1.80 2.50 3.10 3.80 4.40	180 250 310 380 440
Sin pañetar	1.30 2.00 2.60 3.30 3.90	130 200 260 330 390
Mampostería de bloque de concreto:	Espesor del muro (en mm)	
	100 150 200 250 300	10 15 20 25 30
Sin relleno	1.40 1.45 1.90 2.25 2.60	140 145 190 225 260
Relleno cada 1.2 m	1.70 2.25 2.70 3.15	170 225 270 315
Relleno cada 1.0 m	1.80 2.30 2.80 3.30	180 230 280 330
Relleno cada 0.8 m	1.80 2.40 3.00 3.45	180 240 300 345
Relleno cada 0.6 m	2.00 2.60 3.20 3.75	200 260 320 375
Relleno cada 0.4 m	2.20 2.90 3.60 4.30	220 290 360 430
Todas las celdas llenas	3.00 4.00 5.00 6.10	300 400 500 610
Mampostería maciza de arcilla:	Espesor del muro (en mm)	
	100 150 200 250 300	10 15 20 25 30
Sin pañetar	1.90 2.90 3.80 4.70 5.50	190 290 380 470 550
Mampostería maciza de concreto:	Espesor del muro (en mm)	
	100 150 200 250 300	10 15 20 25 30
Sin pañetar	2.00 3.10 4.20 5.30 6.40	200 310 420 530 640

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

**Tabla 29.** Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – ventanas

**Tabla B.3.4.2-5**  
Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales verticales – ventanas

Componente	Carga (kN/m <sup>2</sup> ) por m <sup>2</sup> de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kN/m)	Carga (kgf/m <sup>2</sup> ) por m <sup>2</sup> de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kgf/m)
<b>Ventanas</b>		
Muros cortina de vidrio, entramado y marco	0.50	50
Ventanas. vidrio. entramado y marco	0.45	45

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

Una vez detallados cuales son los materiales usados, se realizan las mediciones para determinar las cantidades y pesos, para de esta manera obtener cuáles son las cargas actuantes en la edificación.

A continuación, se detallan los cálculos obtenidos de los elementos horizontales, conociendo que el piso uno, presenta características distintas a las de los demás pisos, también se considera que en el último piso se le aplica una carga extra debido a que en este sector se debe aplicar una capa impermeabilizante, se presentan las siguientes tablas de pesos:

**Tabla 30.** *Peso elementos horizontales piso 1*

<b>Elementos</b>	<b>Peso</b>	<b>Unidad</b>
Pañete En Yeso O Concreto	0,25	kN/m <sup>2</sup>
Piso En Baldosa Sobre 12mm	0,8	kN/m <sup>2</sup>
Área De Planta	321,238	m <sup>2</sup>
<b>Peso Por Piso</b>	<b>64,2476</b>	<b>kN</b>

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

**Tabla 31.** *Peso elementos horizontales piso 2 - 3 - 4 - 5*

<b>Elementos</b>	<b>Peso</b>	<b>Unidad</b>
Pañete En Yeso O Concreto	0,25	kN/m <sup>2</sup>
Piso En Baldosa Sobre 12 mm	0,8	kN/m <sup>2</sup>
Área De Planta	225,66	m <sup>2</sup>
<b>Peso Por Piso</b>	<b>45,132</b>	<b>kN</b>

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

**Tabla 32.** *Peso elementos horizontales cubierta*

Área De Planta	321,238	m <sup>2</sup>
Membrana Impermeable Superficie Lisa	0,1	kN/m <sup>2</sup>
<b>Peso Por Piso</b>	<b>32,1238</b>	<b>kN</b>

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

Por otra parte, se realiza la estimación del peso de los elementos no estructurales verticales, de esta manera de determinan las cargas lineales actuantes en la estructura, conociendo que el piso uno

tiene una distribución de muros distinta a la de los demás pisos, se realiza el cálculo independiente en el cual se valora el primer piso, y posteriormente los demás pisos, de esta manera se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 33.** *Peso elementos verticales piso 1*

<b>Elementos</b>	<b>Peso</b>	<b>Unidad</b>
Mampostería De Bloque De Arcilla Recubierto En Ambas Caras De 200mm	3,1	kN/m <sup>2</sup>
Longitud Muros	110,36	m
Peso Por Piso Muro	342,116	kN/m
Ventanas	0,45	kN/m <sup>2</sup>
Longitud Ventanas	19	m
Peso Por Piso Ventana	8,55	kN/m
<b>Peso Total Piso</b>	<b>350,666</b>	<b>kN</b>

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

**Tabla 34.** *Peso elementos piso 2 - 3 - 4 - 5*

<b>Elementos</b>	<b>Peso</b>	<b>Unidad</b>
Mampostería De Bloque De Arcilla Recubierto En Ambas Caras De 200mm	3,1	kN/m <sup>2</sup>
Longitud Muros	290	m
Peso Por Piso	899	kN/m
Ventanas	0,45	kN/m <sup>2</sup>
Longitud Muros	17,96	m
Peso Por Piso	8,082	kN/m
<b>Peso Total Piso</b>	<b>907,082</b>	<b>kN</b>

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

### **Carga Viva**

Para determinar el valor de las cargas vivas de una estructura, se remite a la sección B.4.2 de la NSR-10, en la tabla B.4.2.1-1, en la cual se muestran varias opciones de uso que puede tener una estructura, para el caso del edificio en estudio, se conoce que es de uso residencial, además se sabe

que existen distintos balcones y escaleras, por lo cual se asume un valor de carga viva de 5 KN.m<sup>2</sup>, así como se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 35. Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas**

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Carga uniforme (kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta
<b>Reunión</b>	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
<b>Oficinas</b>	Corredores y escaleras	3.0	300
	Oficinas	2.0	200
	Restaurantes	5.0	500
<b>Educativos</b>	Salones de clase	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Bibliotecas		
	Salones de lectura	2.0	200
<b>Fábricas</b>	Esteras	7.0	700
	Industrias livianas	5.0	500
<b>Institucional</b>	Industrias pesadas	10.0	1000
	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0	400
<b>Comercio</b>	Cuartos privados	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Minorista	5.0	500
<b>Residencial</b>	Mayorista	6.0	600
	Balcones	5.0	500
	Cuartos privados y sus corredores	1.8	180
<b>Almacenamiento</b>	Escaleras	3.0	300
	Liviano	6.0	600
<b>Garajes</b>	Pesado	12.0	1200
	Garajes para automóviles de pasajeros	2.5	250
<b>Coliseos y Estadios</b>	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 (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

### Metodo de la fuerza horizontal equivalente

Para realizar el chequeo de derivas, es necesario aplicar el método de la fuerza horizontal equivalente para determinar cuáles son los desplazamientos y derivas de la estructura, por lo que se debe hacer el uso del espectro de diseño, este es el que indica cuales son las aceleraciones y periodos de diseño para las estructuras ubicadas en cierto lugar específico, para determinar cuáles son los desplazamientos se debe ingresar al programa ETABS el valor de la aceleración y el exponente relacionado con el periodo fundamental.

Para determinar el valor del periodo fundamental de la edificación se hace uso de la siguiente ecuación en la que se hace uso de dos coeficientes que serán detallados más adelante:

**Figura 24.** Valor periodo fundamental de la edificación

$$T_a = C_t \cdot h^\alpha$$

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

Conociendo que la edificación en estudio posee un sistema estructural definido como un pórtico de concreto reforzado resistente a momentos, se extraen de la tabla los valores de los coeficientes de  $C_t$  y  $\alpha$ , los cuales serán utilizados para determinar el periodo fundamental de la estructura.

**Tabla 36.** Valor de los parámetros  $C_t$  y  $\alpha$  para el cálculo del periodo aproximado  $T_a$

Sistema estructural de resistencia sísmica	$C_t$	$\alpha$
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería	0.049	0.75
Alternativamente, para estructuras que tengan muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural, pueden emplearse los siguientes parámetros $C_t$ y $\alpha$ , donde $C_w$ se calcula utilizando la ecuación A.4.2-4.	$\frac{0.0062}{\sqrt{C_w}}$	1.00

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

Se aplica la fórmula y se obtienen los siguientes resultados.

**Tabla 37.** Valores coeficientes periodo fundamental

Periodo Fundamental	
$C_t$	0,047
$\alpha$	0,9

<b>Periodo Fundamental</b>	
h	13,55
<b>Ta</b>	<b>0,491</b>

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

El valor obtenido del periodo de diseño para la estructura sirve para determinar cuál es el valor de la aceleración del mismo, por lo que se hace uso del espectro, en el cual se lleva el valor obtenido del periodo y se halla el valor respectivo de la aceleración para posteriormente determinar el valor del cortante sísmico en la base, que para el caso arroja un valor de una unidad.

Para hallar el valor del exponente se hace uso del mismo periodo, en el cual se evalúan tres condiciones que limitan los resultados, estas condiciones son las siguientes:

- a) Para T menor o igual a 0.5 segundos,  $k=1$
- b) Para T entre 0.5 y 2.5 segundos,  $k=0.75+0.5T$
- c) Para T mayor que 2.5 segundos,  $k=2$

En el caso en estudio se determinó que el valor del periodo es de 0.49 segundos, lo cual indica que está cumpliendo la primera condición, por lo tanto, el valor de  $K=1$ .

Estos valores son los que determinan las condiciones de desplazamiento por fuerza sísmica aplicándose en sentido X y Y de la estructura, con lo cuales se determinan las derivas respectivas para cada piso

### **Combinaciones de carga**

Para realizar la mayoración de las cargas que están siendo aplicadas a la estructura en estudio, se realizan combinaciones de carga en las cuales se multiplican por un coeficiente, estas combinaciones de cargas se encuentran en la sección B.2.4.2 de la NSR-10, en la cual se presentan 7 combinaciones.

#### **Figura 25. Combinaciones de carga**

- **1.4(D+F)**
- **1.2(D+F+T) +1.6(L+H) +0.5(L<sub>r</sub> ó G ó L<sub>e</sub>)**
- **1.2D+1.6(L<sub>r</sub> ó G ó L<sub>e</sub>) +(L ó 0.8W)**

- **1.2D+1.6W+1.0L+0.5(L<sub>r</sub> ó G ó L<sub>e</sub>)**
- **1.2D+1.0E+1.0L**
- **0.9D+1.6W+1.6H**
- **0.9D+1.0E+1.6H**

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

teniendo en cuenta que se está desarrollando el Método de Fuerza Horizontal Equivalente, se asumen otras condiciones de carga producidas al desarrollar este método, por lo tanto, se incrementan las combinaciones, las cuales servirán para determinar los esfuerzos actuantes en la estructura, estas combinaciones son las siguientes:

**Tabla 38. Combinaciones de diseño**

Coeficientes						
<b>B.2.4-1</b>	<b>D</b>	<b>SD</b>	<b>L</b>	<b>G</b>		
Comb.dis1	1,4	1,4				
<b>B.2.4-2</b>	<b>D</b>	<b>SD</b>	<b>L</b>	<b>G</b>		
Comb.dis2	1,2	1,2	1,6	0,5		
<b>B.2.4-3</b>	<b>D</b>	<b>SD</b>	<b>L</b>	<b>G</b>		
Comb.dis3	1,2	1,2	1	1,6		
<b>B.2.4-5</b>	<b>D</b>	<b>SD</b>	<b>L</b>	<b>G</b>	<b>SX</b>	<b>SY</b>
Comb.dis4	1,2	1,2	1		0,1429	0,0429
Comb.dis5	1,2	1,2	1		0,1429	-0,0429
Comb.dis6	1,2	1,2	1		-0,1429	0,0429
Comb.dis7	1,2	1,2	1		-0,1429	-0,0429
Comb.dis8	1,2	1,2	1		0,0429	0,1429
Comb.dis9	1,2	1,2	1		-0,0429	0,1429
Comb.dis10	1,2	1,2	1		0,0429	-0,1429
Comb.dis11	1,2	1,2	1		-0,0429	-0,1429
<b>B.2.4-6</b>	<b>D</b>	<b>SD</b>	<b>L</b>	<b>G</b>	<b>SX</b>	<b>SY</b>
Comb.dis12	0,9	0,9			0,1429	0,0429
Comb.dis13	0,9	0,9			0,1429	-0,0429
Comb.dis14	0,9	0,9			-0,1429	0,0429
Comb.dis15	0,9	0,9			-0,1429	-0,0429
Comb.dis16	0,9	0,9			0,0429	0,1429
Comb.dis17	0,9	0,9			-0,0429	0,1429
Comb.dis18	0,9	0,9			0,0429	-0,1429
Comb.dis19	0,9	0,9			-0,0429	-0,1429

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

### Chequeo de derivas

Para determinar la vulnerabilidad de una edificación, es necesario analizar como es el comportamiento estructural de la misma ante un sismo, para esto se realiza un estudio de los desplazamientos máximos que se pueden presentar, para lo cual se remite al programa ETABS con los datos obtenidos del espectro de diseño, en el cual se especifican los coeficientes de aceleración. Ya con los valores ingresados se determina los valores de las derivas, que se entiende como el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, sabiendo esto, en la Norma de Sismo Resistencia del 2010 se establecen los límites de las derivas, por lo cual, la deriva máxima de cualquier piso, no puede exceder los límites establecidos en la Tabla A.6.4-1, estos valores se toman como porcentajes de desplazamiento.

**Tabla 39.** Derivas máximas como porcentaje de  $h_{pi}$

Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.2	1.0% $(\Delta_{max}^i \leq 0.010 h_{pi})$
de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3	0.5% $(\Delta_{max}^i \leq 0.005 h_{pi})$

Nota: Adaptado de (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

Para determinar el valor de las derivas de la estructura en estudio, se extraen los valores del programa ETABS, como producto de la aplicación de la fuerza horizontal equivalente en los sentidos X y Y.

**Tabla 40.** Calculo derivas por piso

Nivel	Caso de carga	Dirección	Deriva	Deriva (%)
Nivel5	FHX	X	5,E-05	0,47%
Nivel5	FHY	Y	7,E-05	0,69%
Nivel4	FHX	X	8,E-05	0,82%
Nivel4	FHY	Y	1,E-04	1,17%

Tablas 40. Continuación

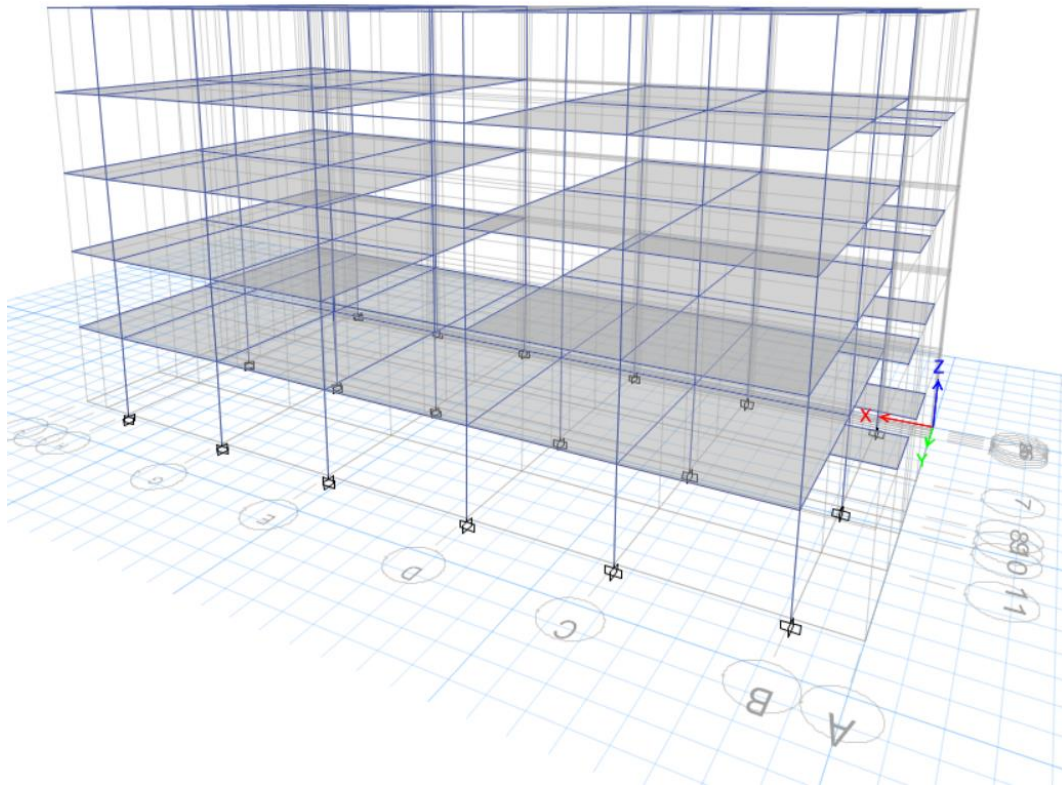
Nivel3	FHX	X	1,E-04	1,09%
Nivel3	FHY	Y	2,E-04	1,56%
Nivel2	FHX	X	1,E-04	1,14%
Nivel2	FHY	Y	2,E-04	1,65%
Nivel1	FHX	X	8,E-05	0,78%
Nivel1	FHY	Y	1,E-04	1,05%

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021.

Se realiza el análisis de los resultados obtenidos, con las cargas que se establecieron como cargas vivas y muertas, se observa que en el primer piso la estructura tiene un desplazamiento controlado en el sentido X, pero en el sentido Y, esta sobre pasando el límite de deriva del 1%, en el segundo piso las derivas en sentido X y Y tienen un valor superior a la unidad, lo que significa que la estructura en ese piso está teniendo un mayor desplazamiento al permitido por la NSR-10, en el tercer piso se presenta la misma situación, en el cuarto piso se detalla que en sentido Y la deriva es superior a 1%, lo que significa que no cumple con la normativa, cuando se analiza el sentido X, se detalla que la deriva no supera el 1%, para el caso del piso último, no se presentan desplazamientos superiores al 1% en ninguno de los dos casos, esto significa que en esta zona los desplazamientos son menores a la de los demás pisos.

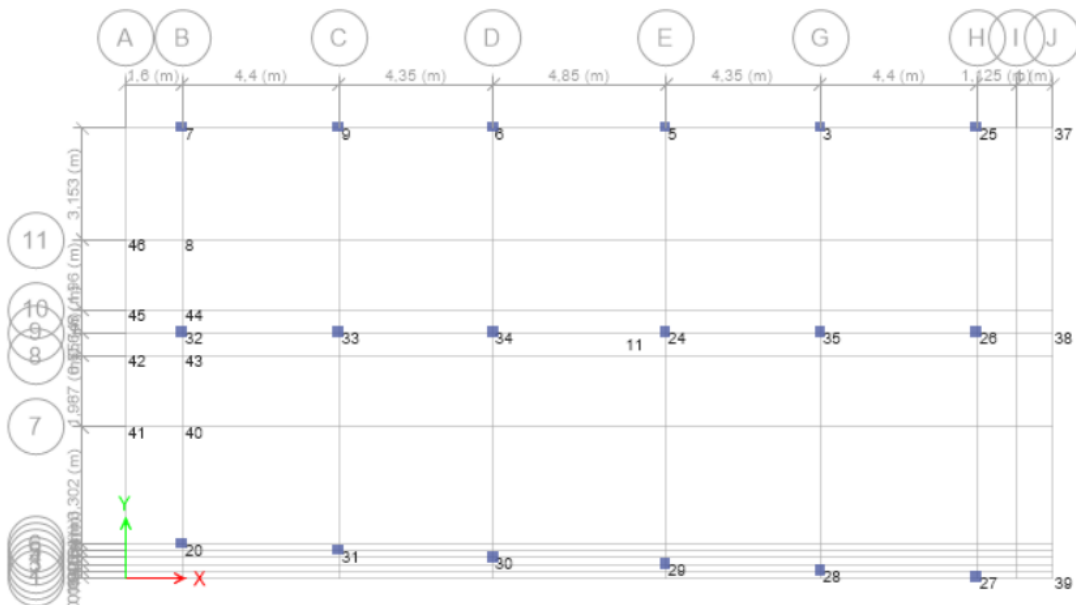
Para el caso en donde no se está cumpliendo con la deriva establecida en la NSR-10, es necesario modificarle las propiedades a las columnas para lograr que todos los pisos tengan unos desplazamientos más controlados, con el fin de cumplir con lo que está establecido en la norma. (Uribe, 2019)

**Figura 26.** Modelo tridimensional estructura existente



Nota: Adaptado de ETABS por Perez J, López C 2021

**Figura 27.** Nomenclatura y orientación de las columnas



Nota: Adaptado de ETABS por Perez J, López C 2021

**Chequeo de aceros en columnas de concreto. (ACI 318-14)**

Por medio del programa ETABS, se realiza una evaluación del diseño de la estructura en el cual por medio de la envolvente se diseñan los aceros requeridos para soportar todas las combinaciones de carga a las que se somete la estructura, con el software se realiza un estudio de columna por columna en el que analiza cual es la cuantía o cantidad de área de acero mínimo por área de concreto de las columnas, así mismo, proporciona valores en porcentaje que representan el área de acero necesaria para soportar las cargas aplicadas, a continuación se encuentra la tabla obtenida de los porcentajes de acero de cada columna por piso.

**Tabla 41.** *Porcentaje de acero por columna*

Nombre	Nivel	Sección	Ubicación	P (kN)	M Max kN-m	M Min kN-m	Comb Carga	Cuantía req %
C3	Nivel5	Columna30x30	Superior	173,2	-27,595	-108,14	ENV	5,91%
C3	Nivel5	Columna30x30	Inferior	179,3	23,8461	101,048	ENV	5,12%
C5	Nivel5	Columna30x30	Superior	41,27	-18,79	-61,876	ENV	2,03%
C5	Nivel5	Columna30x30	Inferior	45,85	18,1399	56,2097	ENV	1,75%
C6	Nivel5	Columna30x30	Superior	41,61	-24,082	-62,085	ENV	2,32%
C6	Nivel5	Columna30x30	Inferior	46,19	22,4613	55,8816	ENV	1,83%
C7	Nivel5	Columna30x30	Superior	38,68	-14,463	-73,036	ENV	2,54%
C7	Nivel5	Columna30x30	Inferior	43,26	10,6766	65,5016	ENV	1,86%
C12	Nivel5	Columna30x30	Superior	75,8	-29,252	151,905	ENV	O/S
C12	Nivel5	Columna30x30	Inferior	80,38	26,3691	-134,36	ENV	O/S
C15	Nivel5	Columna30x30	Superior	187,5	-22,84	-110,23	ENV	5,79%
C15	Nivel5	Columna30x30	Inferior	193,6	21,9054	101,807	ENV	5,07%
C16	Nivel5	Columna30x30	Superior	78,39	58,9353	-100,39	ENV	O/S
C16	Nivel5	Columna30x30	Inferior	82,97	-52,332	94,9123	ENV	O/S
C17	Nivel5	Columna30x30	Superior	113,1	-34,807	-14,247	ENV	1%
C17	Nivel5	Columna30x30	Inferior	117,7	33,8477	10,8384	ENV	1%
C18	Nivel5	Columna30x30	Superior	153,3	-24,147	-22,61	ENV	1%
C18	Nivel5	Columna30x30	Inferior	157,9	24,2889	18,8387	ENV	1%
C19	Nivel5	Columna30x30	Superior	87,29	-24,342	-22,494	ENV	1%
C19	Nivel5	Columna30x30	Inferior	91,87	20,4219	18,584	ENV	1%
C20	Nivel5	Columna30x30	Superior	83,66	-9,546	-28,205	ENV	1%
C20	Nivel5	Columna30x30	Inferior	88,24	7,7389	23,4479	ENV	1%

Tablas 41. Continuacion

Nombre	Nivel	Sección	Ubicación	P (kN)	M Max kN-m	M Min kN-m	Comb Carga	Cuántía req %
C21	Nivel5	Columna30x30	Superior	431	-33,498	-47,549	ENV	1,62%
C21	Nivel5	Columna30x30	Inferior	162	26,6024	40,0433	ENV	1%
C23	Nivel5	Columna30x30	Superior	188,9	129,712	-50,83	ENV	O/S
C23	Nivel5	Columna30x30	Inferior	193,5	-119,34	46,0637	ENV	O/S
C24	Nivel5	Columna30x30	Superior	40,67	-14,92	80,2488	ENV	2,93%
C24	Nivel5	Columna30x30	Inferior	45,25	11,754	-70,95	ENV	2,29%
C25	Nivel5	Columna30x30	Superior	74,14	-24,404	125,933	ENV	O/S
C25	Nivel5	Columna30x30	Inferior	78,72	24,6134	-114,05	ENV	O/S
C26	Nivel5	Columna30x30	Superior	114,4	-21,679	76,3675	ENV	2,92%
C26	Nivel5	Columna30x30	Inferior	45,47	17,8881	-65,422	ENV	2,21%
C27	Nivel5	Columna30x30	Superior	39,54	-7,8838	81,4106	ENV	2,78%
C27	Nivel5	Columna30x30	Inferior	44,12	6,2298	-69,325	ENV	1,95%
C28	Nivel5	Columna30x30	Superior	93,93	20,2813	144,153	ENV	O/S
C28	Nivel5	Columna30x30	Inferior	98,51	-20,894	-128,29	ENV	O/S
C3	Nivel4	Columna30x30	Superior	371,7	-25,319	-60,456	ENV	2,09%
C3	Nivel4	Columna30x30	Inferior	377,8	30,045	81,7088	ENV	4,17%
C5	Nivel4	Columna30x30	Superior	85,26	-22,643	-37,314	ENV	1%
C5	Nivel4	Columna30x30	Inferior	89,84	24,886	44,5747	ENV	1,37%
C6	Nivel4	Columna30x30	Superior	87,12	-24,609	-36,592	ENV	1%
C6	Nivel4	Columna30x30	Inferior	91,7	27,7576	44,5418	ENV	1,48%
C7	Nivel4	Columna30x30	Superior	78,64	-15,168	-39,785	ENV	1%
C7	Nivel4	Columna30x30	Inferior	83,22	14,5959	51,3758	ENV	1,46%
C12	Nivel4	Columna30x30	Superior	436,8	-27,475	78,4523	ENV	3,82%
C12	Nivel4	Columna30x30	Inferior	164,5	31,3799	-109,21	ENV	O/S
C15	Nivel4	Columna30x30	Superior	389,9	-25,825	-59,277	ENV	2,02%
C15	Nivel4	Columna30x30	Inferior	396	29,2696	83,4329	ENV	4,27%
C16	Nivel4	Columna30x30	Superior	430,7	37,8157	-61,557	ENV	3,04%
C16	Nivel4	Columna30x30	Inferior	436,8	-45,832	78,2821	ENV	5,11%
C17	Nivel4	Columna30x30	Superior	220,6	-27,206	-18,305	ENV	1%
C17	Nivel4	Columna30x30	Inferior	225,2	31,2592	18,4771	ENV	1%
C18	Nivel4	Columna30x30	Superior	305,5	-27,441	-23,808	ENV	1%
C18	Nivel4	Columna30x30	Inferior	310,1	31,1656	25,6174	ENV	1%
C19	Nivel4	Columna30x30	Superior	172,4	-20,377	-23,473	ENV	1%
C19	Nivel4	Columna30x30	Inferior	176,9	21,7717	25,1822	ENV	1%
C20	Nivel4	Columna30x30	Superior	162,1	-14,441	-26,478	ENV	1%

Tablas 41. Continuación

Nombre	Nivel	Sección	Ubicación	P (kN)	M Max kN-m	M Min kN-m	Comb Carga	Cuántía req %
C20	Nivel4	Columna30x30	Inferior	166,7	13,1203	29,3277	ENV	1%
C21	Nivel4	Columna30x30	Superior	318,8	-25,924	-38,055	ENV	1%
C21	Nivel4	Columna30x30	Inferior	873,3	35,5923	49,5526	ENV	2,03%
C23	Nivel4	Columna30x30	Superior	979,7	78,9045	-47,178	ENV	5,99%
C23	Nivel4	Columna30x30	Inferior	371,3	-101,16	50,7434	ENV	O/S
C24	Nivel4	Columna30x30	Superior	82,41	-15,72	3,4507	ENV	1%
C24	Nivel4	Columna30x30	Inferior	86,99	15,1562	-56,054	ENV	1,64%
C25	Nivel4	Columna30x30	Superior	415	-28,146	67,1908	ENV	2,84%
C25	Nivel4	Columna30x30	Inferior	421,1	32,0081	-96,254	ENV	5,62%
C26	Nivel4	Columna30x30	Superior	84,83	-19,227	1,5585	ENV	1%
C26	Nivel4	Columna30x30	Inferior	89,41	19,9704	-53,873	ENV	1,66%
C27	Nivel4	Columna30x30	Superior	79,2	-13,368	1,8542	ENV	1%
C27	Nivel4	Columna30x30	Inferior	83,78	11,5526	-57,051	ENV	1,62%
C28	Nivel4	Columna30x30	Superior	507,8	42,936	77,799	ENV	4,91%
C28	Nivel4	Columna30x30	Inferior	193	-50,057	-104,91	ENV	O/S
C3	Nivel3	Columna30x30	Superior	565,8	-33,424	-73,929	ENV	3,94%
C3	Nivel3	Columna30x30	Inferior	571,9	40,9458	89,6639	ENV	5,87%
C5	Nivel3	Columna30x30	Superior	125,5	-27,149	-44,559	ENV	1,39%
C5	Nivel3	Columna30x30	Inferior	347,6	34,4588	50,6213	ENV	1,92%
C6	Nivel3	Columna30x30	Superior	128,8	-29,378	-43,684	ENV	1,44%
C6	Nivel3	Columna30x30	Inferior	352,6	36,9471	49,3829	ENV	2,02%
C7	Nivel3	Columna30x30	Superior	113,6	-18,481	-48,046	ENV	1,23%
C7	Nivel3	Columna30x30	Inferior	353	22,7228	58,7619	ENV	1,77%
C12	Nivel3	Columna30x30	Superior	663,2	-36,572	98,3826	ENV	O/S
C12	Nivel3	Columna30x30	Inferior	245,2	42,8724	-115,69	ENV	O/S
C15	Nivel3	Columna30x30	Superior	590,8	-32,069	-72,455	ENV	3,74%
C15	Nivel3	Columna30x30	Inferior	596,9	39,4532	90,3347	ENV	5,87%
C16	Nivel3	Columna30x30	Superior	649,3	47,5117	-75,52	ENV	5,28%
C16	Nivel3	Columna30x30	Inferior	655,4	-55,823	91,4091	ENV	O/S
C17	Nivel3	Columna30x30	Superior	325,9	-33,095	-23,959	ENV	1%
C17	Nivel3	Columna30x30	Inferior	908,5	44,6881	29,469	ENV	1,26%
C18	Nivel3	Columna30x30	Superior	1235	-37,827	-37,284	ENV	2,38%
C18	Nivel3	Columna30x30	Inferior	1242	47,0178	40,1724	ENV	3,42%
C19	Nivel3	Columna30x30	Superior	253,9	-23,709	-30,072	ENV	1%
C19	Nivel3	Columna30x30	Inferior	258,5	26,7073	33,9711	ENV	1%

Tablas 41. Continuación

Nombre	Nivel	Sección	Ubicación	P (kN)	M Max kN-m	M Min kN-m	Comb Carga	Cuántía req %
C20	Nivel3	Columna30x30	Superior	238,1	-17	-33,984	ENV	1%
C20	Nivel3	Columna30x30	Inferior	242,7	19,6072	38,3914	ENV	1%
C21	Nivel3	Columna30x30	Superior	1306	-39,941	-53,048	ENV	4,13%
C21	Nivel3	Columna30x30	Inferior	1312	42,9879	54,6479	ENV	4,52%
C23	Nivel3	Columna30x30	Superior	543,2	87,8519	-55,093	ENV	O/S
C23	Nivel3	Columna30x30	Inferior	547,7	-110,1	66,1176	ENV	O/S
C24	Nivel3	Columna30x30	Superior	119,3	-19,258	51,0381	ENV	1,41%
C24	Nivel3	Columna30x30	Inferior	368,7	24,0013	-63,117	ENV	2,24%
C25	Nivel3	Columna30x30	Superior	628,4	-34,884	82,7323	ENV	4,93%
C25	Nivel3	Columna30x30	Inferior	233,5	41,0667	-98,296	ENV	O/S
C26	Nivel3	Columna30x30	Superior	123,4	-22,327	48,6511	ENV	1,40%
C26	Nivel3	Columna30x30	Inferior	374,6	26,3398	-54,969	ENV	1,70%
C27	Nivel3	Columna30x30	Superior	114,2	-15,246	51,0439	ENV	1,33%
C27	Nivel3	Columna30x30	Inferior	118,8	16,4231	-55,286	ENV	1,56%
C28	Nivel3	Columna30x30	Superior	278,1	50,0226	89,6574	ENV	O/S
C28	Nivel3	Columna30x30	Inferior	282,6	-59,189	-111,37	ENV	O/S
C3	Nivel2	Columna30x30	Superior	760,8	-32,165	-71,522	ENV	3,83%
C3	Nivel2	Columna30x30	Inferior	766,9	45,0732	91,687	ENV	O/S
C5	Nivel2	Columna30x30	Superior	163,7	-25,435	-46,114	ENV	1,32%
C5	Nivel2	Columna30x30	Inferior	464,3	37,748	79,9822	ENV	4,65%
C6	Nivel2	Columna30x30	Superior	168,5	-26,561	-45,607	ENV	1,34%
C6	Nivel2	Columna30x30	Inferior	470,8	38,6422	78,8696	ENV	4,61%
C7	Nivel2	Columna30x30	Superior	145,9	-15,872	-45,444	ENV	1%
C7	Nivel2	Columna30x30	Inferior	471	24,3318	59,5665	ENV	1,96%
C12	Nivel2	Columna30x30	Superior	889,9	-34,508	96,8372	ENV	O/S
C12	Nivel2	Columna30x30	Inferior	323,8	44,086	-112,14	ENV	O/S
C15	Nivel2	Columna30x30	Superior	792,4	-30,573	-70,407	ENV	3,64%
C15	Nivel2	Columna30x30	Inferior	798,5	42,6089	88,1579	ENV	O/S
C16	Nivel2	Columna30x30	Superior	866,1	48,4368	-72,101	ENV	5,33%
C16	Nivel2	Columna30x30	Inferior	872,2	-58,585	91,874	ENV	O/S
C17	Nivel2	Columna30x30	Superior	1203	-33,924	-36,188	ENV	1,84%
C17	Nivel2	Columna30x30	Inferior	1209	46,7553	38,778	ENV	3,16%
C18	Nivel2	Columna30x30	Superior	1651	-54,308	-38,54	ENV	5,53%
C18	Nivel2	Columna30x30	Inferior	1657	54,6081	51,3426	ENV	O/S
C19	Nivel2	Columna30x30	Superior	332	-21,179	-31,493	ENV	1%

Tablas 41. Continuación

Nombre	Nivel	Sección	Ubicación	P (kN)	M Max kN-m	M Min kN-m	Comb Carga	Cuántía req %
C19	Nivel2	Columna30x30	Inferior	949,2	40,3904	50,2028	ENV	2,71%
C20	Nivel2	Columna30x30	Superior	309,8	-18,225	-34,594	ENV	1%
C20	Nivel2	Columna30x30	Inferior	898,4	39,17	55,9324	ENV	2,95%
C21	Nivel2	Columna30x30	Superior	310,5	-22,96	-31,367	ENV	1%
C21	Nivel2	Columna30x30	Inferior	865,8	34,6838	42,7233	ENV	1,33%
C22	Nivel2	Columna30x30	Superior	318,1	-23,469	-30,56	ENV	1%
C22	Nivel2	Columna30x30	Inferior	893,6	36,9249	39,7745	ENV	1,32%
C23	Nivel2	Columna30x30	Superior	717,4	89,997	-54,077	ENV	O/S
C23	Nivel2	Columna30x30	Inferior	721,9	-109,53	70,9782	ENV	O/S
C24	Nivel2	Columna30x30	Superior	153,6	-15,704	3,6838	ENV	1%
C24	Nivel2	Columna30x30	Inferior	491,8	25,4766	-63,463	ENV	2,42%
C25	Nivel2	Columna30x30	Superior	842,6	-32,282	80,9553	ENV	4,88%
C25	Nivel2	Columna30x30	Inferior	848,7	44,9744	-102,73	ENV	O/S
C26	Nivel2	Columna30x30	Superior	158,4	-19,553	51,3625	ENV	1,34%
C26	Nivel2	Columna30x30	Inferior	499,4	36,7854	-94,883	ENV	5,92%
C27	Nivel2	Columna30x30	Superior	146,5	-14,816	53,9354	ENV	1,35%
C27	Nivel2	Columna30x30	Inferior	478,8	34,176	-100,61	ENV	O/S
C28	Nivel2	Columna30x30	Superior	1020	29,6613	95,8223	ENV	O/S
C28	Nivel2	Columna30x30	Inferior	369,2	-59,9	-109,01	ENV	O/S
C3	Nivel1	Columna30x30	Superior	920,7	26,359	-49,982	ENV	1,55%
C3	Nivel1	Columna30x30	Inferior	926,9	48,141	66,8377	ENV	4,86%
C5	Nivel1	Columna30x30	Superior	633,3	-17,999	-54,792	ENV	1,14%
C5	Nivel1	Columna30x30	Inferior	639,5	44,2445	64,0275	ENV	3,97%
C6	Nivel1	Columna30x30	Superior	640,8	-18,444	-55,19	ENV	1,21%
C6	Nivel1	Columna30x30	Inferior	647	44,6458	61,9507	ENV	3,82%
C7	Nivel1	Columna30x30	Superior	164,5	-9,5536	-28,702	ENV	1%
C7	Nivel1	Columna30x30	Inferior	569,1	39,3583	46,6924	ENV	1,94%
C12	Nivel1	Columna30x30	Superior	1074	-31,679	72,4333	ENV	4,49%
C12	Nivel1	Columna30x30	Inferior	1080	50,1582	-73,186	ENV	5,93%
C15	Nivel1	Columna30x30	Superior	958,7	-27,66	-50,922	ENV	1,83%
C15	Nivel1	Columna30x30	Inferior	965	48,1101	60,2848	ENV	4,25%
C16	Nivel1	Columna30x30	Superior	1045	34,8231	-45,333	ENV	2,19%
C16	Nivel1	Columna30x30	Inferior	1051	-44,974	69,6041	ENV	5,16%
C17	Nivel1	Columna30x30	Superior	1454	-46,459	-14,249	ENV	2,85%
C17	Nivel1	Columna30x30	Inferior	1460	53,2323	35,4003	ENV	4,33%

Tablas 41. Continuación

Nombre	Nivel	Sección	Ubicación	P (kN)	M Max kN-m	M Min kN-m	Comb Carga	Cuántía req %
C18	Nivel1	Columna30x30	Superior	1996	-71,883	-25,723	ENV	O/S
C18	Nivel1	Columna30x30	Inferior	2002	72,2603	57,1186	ENV	O/S
C19	Nivel1	Columna30x30	Superior	1322	-40,922	-26,579	ENV	2,44%
C19	Nivel1	Columna30x30	Inferior	1328	51,8391	53,8558	ENV	5,23%
C20	Nivel1	Columna30x30	Superior	1274	-39,008	-29,873	ENV	2,23%
C20	Nivel1	Columna30x30	Inferior	1280	51,7623	57,7715	ENV	5,40%
C21	Nivel1	Columna30x30	Superior	375	-13,066	-14,979	ENV	1%
C21	Nivel1	Columna30x30	Inferior	1071	45,0955	50,5047	ENV	3,53%
C23	Nivel1	Columna30x30	Superior	2355	93,774	-45,01	ENV	O/S
C23	Nivel1	Columna30x30	Inferior	2362	94,2419	84,5042	ENV	O/S
C24	Nivel1	Columna30x30	Superior	173,3	-8,7138	2,9026	ENV	1%
C24	Nivel1	Columna30x30	Inferior	594,1	40,293	-47,91	ENV	2,15%
C25	Nivel1	Columna30x30	Superior	1020	-29,772	59,384	ENV	2,96%
C25	Nivel1	Columna30x30	Inferior	1026	49,4026	-63,408	ENV	4,85%
C26	Nivel1	Columna30x30	Superior	687,1	-18,815	69,2704	ENV	2,65%
C26	Nivel1	Columna30x30	Inferior	693,3	46,2747	-66,273	ENV	4,35%
C27	Nivel1	Columna30x30	Superior	671	-18,578	73,8731	ENV	3,01%
C27	Nivel1	Columna30x30	Inferior	677,2	46,0715	-69,244	ENV	4,60%
C28	Nivel1	Columna30x30	Superior	1237	40,1962	73,1346	ENV	5,69%
C28	Nivel1	Columna30x30	Inferior	1243	-47,901	-78,162	ENV	O/S
D3	Nivel1	Columna30x30	Superior	371,7	-9,7431	-3,0945	ENV	1%
D3	Nivel1	Columna30x30	Inferior	1054	-46,836	-47,417	ENV	3,32%

Nota: Adaptado de ETABS por Perez J, López C 2021

En la anterior tabla se encuentran valores de cuántía requerida representados por el termino (O/S), el cual significa que las cuántías necesarias para resistir las cargas aplicadas a la estructura sobrepasan los límites permitidos, por lo que se puede decir que el elemento está fallando, puesto que así posea la cantidad de acero máxima permitida, debido a las propiedades del mismo este no se encuentra en la capacidad de soportar, por consiguiente, se inducirá a la falla,

### Índice de sobreesfuerzo

Según la NSR 10, el índice de sobreesfuerzo se expresa como el cociente entre las solicitantes equivalentes, y las resistencias efectivas, esto significa que se realiza la comparación de las cuantías de acero que necesita la columna para soportar las combinaciones de cargas impuestas, con las cuantías reales existentes obtenidas del estudio en la estructura, estos valores se obtuvieron a través del uso de un elemento electrónico conocido como FerroScan, que permite conocer cuáles son los aceros existentes en un elemento.

**Tabla 42.** Índices de sobreesfuerzo

Nombre	Nivel	Sección	Ubicación	Cuantía req %	$\Phi_c$	$\Phi_e$	Nex	resistencia efectiva Nef	Índice sobre esfuerzo
C3	Nivel5	Columna 30x30	Superior	5,91%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2992
C3	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	5,12%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2592
C5	Nivel5	Columna 30x30	Superior	2,03%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1028
C5	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	1,75%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0886
C6	Nivel5	Columna 30x30	Superior	2,32%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1175
C6	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	1,83%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0927
C7	Nivel5	Columna 30x30	Superior	2,54%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1286
C7	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	1,86%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0942
C12	Nivel5	Columna 30x30	Superior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C12	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C15	Nivel5	Columna 30x30	Superior	5,79%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2931
C15	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	5,07%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2567
C16	Nivel5	Columna 30x30	Superior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---

Tablas 42. Continuación

Nombre	Nivel	Sección	Ubicación	Cuantía req %	$\Phi_c$	$\Phi_e$	Nex	resistencia efectiva Nef	Índice sobre esfuerzo
C16	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C17	Nivel5	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C17	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C18	Nivel5	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C18	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C19	Nivel5	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C19	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C20	Nivel5	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C20	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C21	Nivel5	Columna 30x30	Superior	1,62%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,54
C21	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C23	Nivel5	Columna 30x30	Superior	O/S	0,8	1	3,80%	3,00%	---
C23	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	3,80%	3,00%	---
C24	Nivel5	Columna 30x30	Superior	2,93%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1483
C24	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	2,29%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1159
C25	Nivel5	Columna 30x30	Superior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C25	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C26	Nivel5	Columna 30x30	Superior	2,92%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1478
C26	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	2,21%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1119
C27	Nivel5	Columna 30x30	Superior	2,78%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1408

Tablas 42. Continuación

Nombre	Nivel	Sección	Ubicación	Cuantía req %	$\Phi_c$	$\Phi_e$	Nex	resistencia efectiva Nef	Índice sobre esfuerzo
C27	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	1,95%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0987
C28	Nivel5	Columna 30x30	Superior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C28	Nivel5	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C3	Nivel4	Columna 30x30	Superior	2,09%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1058
C3	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	4,17%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2111
C5	Nivel4	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0506
C5	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	1,37%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0694
C6	Nivel4	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0506
C6	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	1,48%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0749
C7	Nivel4	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0506
C7	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	1,46%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0739
C12	Nivel4	Columna 30x30	Superior	3,82%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1934
C12	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C15	Nivel4	Columna 30x30	Superior	2,02%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1023
C15	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	4,27%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2162
C16	Nivel4	Columna 30x30	Superior	3,04%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1539
C16	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	5,11%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2587
C17	Nivel4	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C17	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C18	Nivel4	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333

Tablas 42. Continuación

Nombre	Nivel	Sección	Ubicación	Cuantía req %	$\Phi_c$	$\Phi_e$	Nex	resistencia efectiva Nef	Índice sobre esfuerzo
C18	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C19	Nivel4	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C19	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C20	Nivel4	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C20	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C21	Nivel4	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C21	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	2,03%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,6767
C23	Nivel4	Columna 30x30	Superior	5,99%	0,8	1	3,80%	3,00%	1,9967
C23	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	3,80%	3,00%	---
C24	Nivel4	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0506
C24	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	1,64%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,083
C25	Nivel4	Columna 30x30	Superior	2,84%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1438
C25	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	5,62%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2845
C26	Nivel4	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0506
C26	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	1,66%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,084
C27	Nivel4	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0506
C27	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	1,62%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,082
C28	Nivel4	Columna 30x30	Superior	4,91%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2486
C28	Nivel4	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C3	Nivel3	Columna 30x30	Superior	3,94%	0,8	1	24,70%	19,75%	---

Tablas 42. Continuacion

Nombre	Nivel	Sección	Ubicación	Cuantía req %	$\Phi_c$	$\Phi_e$	Nex	resistencia efectiva Nef	Índice sobre esfuerzo
C3	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	5,87%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2972
C5	Nivel3	Columna 30x30	Superior	1,39%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0704
C5	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	1,92%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0972
C6	Nivel3	Columna 30x30	Superior	1,44%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0729
C6	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	2,02%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1023
C7	Nivel3	Columna 30x30	Superior	1,23%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0623
C7	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	1,77%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0896
C12	Nivel3	Columna 30x30	Superior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C12	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C15	Nivel3	Columna 30x30	Superior	3,74%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1894
C15	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	5,87%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2972
C16	Nivel3	Columna 30x30	Superior	5,28%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2673
C16	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C17	Nivel3	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C17	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	1,26%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,42
C18	Nivel3	Columna 30x30	Superior	2,38%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,7933
C18	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	3,42%	0,8	1	3,80%	3,00%	1,14
C19	Nivel3	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C19	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C20	Nivel3	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333

Tablas 42. Continuación

Nombre	Nivel	Sección	Ubicación	Cuantía req %	$\Phi_c$	$\Phi_e$	Nex	resistencia efectiva Nef	Índice sobre esfuerzo
C20	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C21	Nivel3	Columna 30x30	Superior	4,13%	0,8	1	3,80%	3,00%	1,3767
C21	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	4,52%	0,8	1	3,80%	3,00%	1,5067
C23	Nivel3	Columna 30x30	Superior	O/S	0,8	1	3,80%	3,00%	---
C23	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	3,80%	3,00%	---
C24	Nivel3	Columna 30x30	Superior	1,41%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0714
C24	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	2,24%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1134
C25	Nivel3	Columna 30x30	Superior	4,93%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2496
C25	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C26	Nivel3	Columna 30x30	Superior	1,40%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0709
C26	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	1,70%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0861
C27	Nivel3	Columna 30x30	Superior	1,33%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0673
C27	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	1,56%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,079
C28	Nivel3	Columna 30x30	Superior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C28	Nivel3	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C3	Nivel2	Columna 30x30	Superior	3,83%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1939
C3	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C5	Nivel2	Columna 30x30	Superior	1,32%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0668
C5	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	4,65%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2354
C6	Nivel2	Columna 30x30	Superior	1,34%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0678

Tablas 42. Continuacion

Nombre	Nivel	Sección	Ubicación	Cuantía req %	$\Phi_c$	$\Phi_e$	Nex	resistencia efectiva Nef	Índice sobre esfuerzo
C6	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	4,61%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2334
C7	Nivel2	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0506
C7	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	1,96%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0992
C12	Nivel2	Columna 30x30	Superior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C12	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C15	Nivel2	Columna 30x30	Superior	3,64%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1843
C15	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C16	Nivel2	Columna 30x30	Superior	5,33%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2699
C16	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C17	Nivel2	Columna 30x30	Superior	1,84%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,6133
C17	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	3,16%	0,8	1	3,80%	3,00%	1,0533
C18	Nivel2	Columna 30x30	Superior	5,53%	0,8	1	3,80%	3,00%	1,8433
C18	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	3,80%	3,00%	---
C19	Nivel2	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C19	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	2,71%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,9033
C20	Nivel2	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C20	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	2,95%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,9833
C21	Nivel2	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C21	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	1,33%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,4433
C22	Nivel2	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	4,00%	3,20%	0,3125

Tablas 42. Continuacion

Nombre	Nivel	Sección	Ubicación	Cuantía req %	$\Phi_c$	$\Phi_e$	Nex	resistencia efectiva Nef	Índice sobre esfuerzo
C22	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	1,32%	0,8	1	4,00%	3,20%	0,4125
C23	Nivel2	Columna 30x30	Superior	O/S	0,8	1	3,80%	3,00%	---
C23	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	3,80%	3,00%	---
C24	Nivel2	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0506
C24	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	2,42%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1225
C25	Nivel2	Columna 30x30	Superior	4,88%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2471
C25	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C26	Nivel2	Columna 30x30	Superior	1,34%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0678
C26	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	5,92%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2997
C27	Nivel2	Columna 30x30	Superior	1,35%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0684
C27	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C28	Nivel2	Columna 30x30	Superior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C28	Nivel2	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
C3	Nivel1	Columna 30x30	Superior	1,55%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0785
C3	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	4,86%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2461
C5	Nivel1	Columna 30x30	Superior	1,14%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0577
C5	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	3,97%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,201
C6	Nivel1	Columna 30x30	Superior	1,21%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0613
C6	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	3,82%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1934
C7	Nivel1	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0506

Tablas 42. Continuación

Nombre	Nivel	Sección	Ubicación	Cuantía req %	$\Phi_c$	$\Phi_e$	Nex	resistencia efectiva Nef	Índice sobre esfuerzo
C7	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	1,94%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0982
C12	Nivel1	Columna 30x30	Superior	4,49%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2273
C12	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	5,93%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,3002
C15	Nivel1	Columna 30x30	Superior	1,83%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0927
C15	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	4,25%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2152
C16	Nivel1	Columna 30x30	Superior	2,19%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1109
C16	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	5,16%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2612
C17	Nivel1	Columna 30x30	Superior	2,85%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,95
C17	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	4,33%	0,8	1	3,80%	3,00%	1,4433
C18	Nivel1	Columna 30x30	Superior	O/S	0,8	1	3,80%	3,00%	---
C18	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	3,80%	3,00%	---
C19	Nivel1	Columna 30x30	Superior	2,44%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,8133
C19	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	5,23%	0,8	1	3,80%	3,00%	1,7433
C20	Nivel1	Columna 30x30	Superior	2,23%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,7433
C20	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	5,40%	0,8	1	3,80%	3,00%	1,8
C21	Nivel1	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	3,80%	3,00%	0,3333
C21	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	3,53%	0,8	1	3,80%	3,00%	1,1767
C23	Nivel1	Columna 30x30	Superior	O/S	0,8	1	3,80%	3,00%	---
C23	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	3,80%	3,00%	---
C24	Nivel1	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,0506

Tablas 42. Continuación

Nombre	Nivel	Sección	Ubicación	Cuantía req %	$\Phi_c$	$\Phi_e$	Nex	resistencia efectiva Nef	Índice sobre esfuerzo
C24	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	2,15%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1089
C25	Nivel1	Columna 30x30	Superior	2,96%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1499
C25	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	4,85%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2456
C26	Nivel1	Columna 30x30	Superior	2,65%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1342
C26	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	4,35%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2202
C27	Nivel1	Columna 30x30	Superior	3,01%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,1524
C27	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	4,60%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2329
C28	Nivel1	Columna 30x30	Superior	5,69%	0,8	1	24,70%	19,75%	0,2881
C28	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	O/S	0,8	1	24,70%	19,75%	---
D3	Nivel1	Columna 30x30	Superior	1%	0,8	1	4,00%	3,20%	0,3125
D3	Nivel1	Columna 30x30	Inferior	3,32%	0,8	1	4,00%	3,20%	1,0375

Nota: Adaptado de ETABS por Perez J, López C 2021

Una vez calculados todos los índices de sobre esfuerzo de cada elemento de la estructura, se determina que existen varios de estos en los cuales se está sobre pasando la carga máxima que puede soportar, el mayor índice de sobre esfuerzo encontrado corresponde a un valor 1.8433, el cual está ubicado en una columna del segundo piso, por lo tanto, se asume que este valor corresponde a el índice de sobre esfuerzo de la estructura.

### ***Índice de sobreesfuerzo e índice de vulnerabilidad***

Para el cálculo del índice de vulnerabilidad se selecciona el valor máximo de los índices de sobreesfuerzo obtenidos, y se le aplica lo establecido en la NSR-10 en el título A.10.5.1-b, en la cual se indica que el valor es obtenido a través de la inversa del valor encontrado. Para este caso

el índice máximo corresponde a 1.843, por lo tanto, el índice, de vulnerabilidad para la estructura es del 54.259%.

**Tabla 43.** Índice de sobre esfuerzo y vulnerabilidad general

I.S. De Sobre esfuerzo De La Estructura	Índice De Vulnerabilidad
1.843	0.54259

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021

### Índice de flexibilidad

El índice de flexibilidad es el que indica la susceptibilidad que presenta la estructura para tener deflexiones o derivas excesivas, con respecto a lo establecido en la norma. Para esto se compara la deriva obtenida con el límite máximo establecido en la norma, en el caso donde el valor obtenido del cociente entre la deriva obtenida y la máxima sea superior a la unidad, se entiende que existe una mayor susceptibilidad a que la estructura sufra mayores deflexiones en los pisos en estudio.

Los índices de flexibilidad por piso en sentido X y Y son las siguiente:

**Tabla 44.** Índices de flexibilidad

Nivel	Caso de Carga	Dirección	Deriva	Nombre	Deriva máxima NSR-10	Índice de flexibilidad
Nivel5	FHX	X	0,47%	39	1,00%	0,4718
Nivel5	FHY	Y	0,69%	39	1,00%	0,6882
Nivel4	FHX	X	0,82%	39	1,00%	0,8181
Nive4	FHY	Y	1,17%	39	1,00%	1,1723
Nivel3	FHX	X	1,09%	39	1,00%	1,0868
Nivel3	FHY	Y	1,56%	39	1,00%	1,5554
Nivel2	FHX	X	1,14%	27	1,00%	1,1418
Nivel2	FHY	Y	1,65%	39	1,00%	1,6487
Nivel1	FHX	X	0,78%	5	1,00%	0,7766
Nivel1	FHY	Y	1,05%	26	1,00%	1,0494

Nota: Adaptado de ETABS por Perez J, López C 2021

Una vez determinados los índices de flexibilidad generados en cada piso por las fuerzas horizontales en sentido X y Y, se detalla que la gran mayoría de los pisos están sobre pasando el límite establecido que corresponde al valor del 1%, para determinar cuál es el índice de flexibilidad de la estructura se hace la selección del valor más crítico, obteniendo el resultado de 1.5554.

### ***Índice de flexibilidad e índice de vulnerabilidad***

El índice de vulnerabilidad de la estructura se determina haciendo uso del índice de flexibilidad obtenido, para el cual se le calcula el valor inverso, en el caso del edificio Balcones de la 30, se tiene que el índice de flexibilidad es de 1.5554, por consiguiente, el valor del índice de vulnerabilidad es del 64.292%.

***Tabla 45. Índice de flexibilidad y vulnerabilidad general***

<b>I.S. De Flexibilidad De La Estructura</b>	<b>Índice De Vulnerabilidad</b>
15.554	0.64292

Nota: Adaptado por Perez J, López C 2021

## Análisis de resultados

### Fase de preliminares

En primer lugar, para realizar la calificación cualitativa de la edificación en base a la NSR-10 se tuvieron en cuenta las condiciones exigidas por la misma, las cuales son evaluar el estado actual de la edificación y la calidad del diseño y la construcción de la estructura original.

Para llevar a cabo la calificación del estado actual de la edificación, se realizaron diferentes visitas de campo en donde se obtuvo información de las condiciones reales de la estructura, dicha información fue compilada en fichas de caracterización patológica en las cuales se evidencian los elementos en los que se observaron algún tipo de daño o deterioro, teniendo en cuenta esto se obtuvo como resultado que los elementos en los que hay algún tipo de patología no representan afectaciones de mayor grado para la estabilidad de la estructura. Por lo tanto, se puede llegar a la conclusión de que el edificio balcones de la 30 posee un buen estado en su estructura actual.

Por otra parte, en cuanto a la calificación de la calidad del diseño y la construcción de la estructura original se llevaron a cabo distintos ensayos que permitieron determinar las propiedades mecánicas del concreto y estimar el diámetro de las varillas de refuerzo de los elementos estructurales, por tanto, se inició con el ensayo de esclerómetro del cual se obtuvo un valor de resistencia a la compresión del concreto  $f'c$  de 37 Mpa, este valor representa una buena calidad en los materiales utilizados en el concreto, no obstante, al realizar el ensayo con el FerroScan se encontró que la mayoría de los elementos estructurales verticales no contaban con un refuerzo suficiente para lo que exige la edificación. Así pues, se optó por calificar la calidad del diseño y la construcción de la estructura original como regular.

Por consiguiente, de las calificaciones realizadas anteriormente se obtienen los valores de los coeficientes  $\Phi_c = 0.8$  y  $\Phi_e = 1$ , los cuales serán necesarios para realizar los cálculos correspondientes para determinar el índice de sobre esfuerzo.

### **Fase de evaluación**

Para realizar una evaluación de como es el estado actual de la estructura, se toma como información más relevante los índices de sobre esfuerzo y de flexibilidad, debido a que estos permiten definir los elementos estructurales cumplen con las solicitantes de carga, en estos índices se evalúa la demanda que necesita cada elemento, según las cargas aplicadas, con la capacidad real que ofrece el mismo, que fue extraída por medio de los ensayos realizados en campo.

Los resultados obtenidos del cálculo de los índices de flexibilidad, demuestran que las deflexiones o derivas obtenidas en la estructura durante un sismo son mayores al 1%, y al mismo tiempo dicho índice se está sobre pasando del límite, lo que significa que la estructura es más propensa a sufrir mayores desplazamientos, que posiblemente puedan generar falla de los elementos estructurales ante alguna eventualidad sísmica.

Cuando se realiza la evaluación de los índices de sobre esfuerzo, se evalúan las cuantías de acero necesarias para soportar las cargas aplicadas, como lo son las cargas vivas, cargas, muertas o propias, y las cargas súper impuestas, que son las correspondientes a elementos que no son estructurales pero que si aportan al peso de la estructura, en este proceso se evalúan las cuantías que son necesarias para cumplir con las solicitantes con respecto a los reforzamientos o cuantías reales obtenidas con el uso del FerroScan, lo que permite definir si los elementos estructurales cumplen con las cuantías, o si por el contrario los elementos están teniendo un sobre esfuerzo, que pueda originar la falla de los mismos

### **Fase de diagnóstico**

Con base en los resultados obtenidos, durante el desarrollo de este estudio, se deduce que la estructura, no presenta mayores afectaciones debido a condiciones externas como son el clima, el deterioro del tiempo, entre otros factores que pueden afectar las condiciones iniciales de la estructura, además, es preciso indicar que la estructura está en la capacidad de soportar sismos moderados, pero esto no exceptúa que se puedan presentar fallas en los elementos verticales que no son estructurales, debido a que las deflexiones que se están presentando son mayores a lo permitidas, lo que significa que los elementos no estructurales durante alguna eventualidad sísmica van a recibir esfuerzos para los que no están diseñados soportar, también se encuentro que los

elementos o secciones que reciben las cargas aplicadas no son lo suficientes para soportar todas las condiciones, lo que implica que los elementos pueden presentar fallas por sobre esfuerzo del mismo, por lo que es necesario tener un control si se va a realizar alguna modificación, para que esta no entre a afectar la resistencia de las columnas y pueda incitar a la falla.

Para contrarresta deficiencias, es necesario implementar algunas medidas de reforzamiento o modificación de los mismos elementos, con el fin de darle una mayor rigidez, para de esta manera controlar los desplazamientos, que son los que generalmente producen la falla, esto se hace con el fin de mitigar posibles afectaciones que pueda llegar a tener la estructura.

## Conclusiones y trabajos futuros

### Conclusiones

- Se realizó una calificación cualitativa del estado actual del Edificio Balcones de 30, con el cual se deduce que la edificación no presenta mayores afectaciones en el sistema estructural, mediante la inspección visual, además se detalla que solamente se encuentran patologías de humedad en los muros no estructurales, pero no obstante estas no suponen en afectaciones al sistema principal de resistencia sísmica.
- Se realizó el chequeo de derivas de cada uno de los pisos, aplicando la fuerza horizontal equivalente en sentido X y Y, se obtuvo que existen algunos pisos en los que se supera el 1%, que es el límite máximo de deriva establecido en la NSR-10, en los casos donde las derivas son superiores al 1%, se entiende que se está sobrepasando límite máximo permisible del índice de flexibilidad, lo que significa que se están presentando desplazamientos excesivos que pueden generar un comportamiento irregular de la estructura.
- Se encuentra que la estructura presenta una mayor rigidez en el primer piso, pero en los siguientes pisos disminuye considerablemente la rigidez, debido a que en estos pisos superiores es donde se sobrepasa el límite de flexibilidad, un factor clave que puede generar esta falta de rigidez, es la discontinuidad de planta que se presenta.
- Se calcularon los índices de sobre esfuerzo de los elementos estructurales, se encuentra que en algunos elementos se está sobre pasando la capacidad de carga máxima, lo que genera que dicho índice supere el 100%, esto representa un gran peligro debido a que se podría presentar una falla estructural en estos elementos que están sobrecargados.

### Trabajos futuros

El edificio Balcones de la 30 no presenta un gran deterioro, no se presentan casi patologías que puedan perjudicar el comportamiento estructural, se le podría hacer una remodelación de acabados,

en la que se permita impermeabilizar y reparar los fallos que generan las patologías, esto también con el fin, de embellecer la y mejorar la vista de la misma edificación.

En cuanto al comportamiento estructural, es necesario realizar una intervención en la que, por medio de la modificación de elementos, se le pueda dar una mayor rigidez a la estructura, con el fin corregir los desplazamientos que se presentan, de la misma manera disminuyendo las derivas y los índices de flexibilidad encontradas, esta intervención permite al mismo mejorar las condiciones de carga para las vigas, debido a que si se aumentan las cuantías o dimensiones, estos elementos pueden mejorar su capacidad de resistir cargas mayores.

## Bibliografía

- Alarcon, S. H. C., Luran, J. J. H., & Meneses, D. A. P. (2016). *Evaluacion de vulnerabilidad sismica del edificio de la facultad de ingenieria civil de la universidad Gran Colombia*. [https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5535/Documento de Trabajo de Grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5535/Documento%20de%20Trabajo%20de%20Grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Asociacion colombiana de Ingenieria sismica-AIS. (2010). *Reglamento Colombiano de Construccion Sismo Resistente*. [https://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento\\_construccion\\_sismo\\_resistente.pdf](https://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf)
- Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, (2002). [https://www.astm.org/c0805\\_c0805m-08.html](https://www.astm.org/c0805_c0805m-08.html)
- Broto, C. (2005). *Enciclopedia Broto de patologias de la construccion*. [https://higieneyseguiridadlaboralevs.files.wordpress.com/2012/07/enciclopedia\\_broto\\_de\\_patologias\\_de\\_la\\_construccion.pdf](https://higieneyseguiridadlaboralevs.files.wordpress.com/2012/07/enciclopedia_broto_de_patologias_de_la_construccion.pdf)
- Buitrago Álzate, A., Gaviria Osorio, A., & Ramírez Osorio, A. F. (2017). *Evaluación de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones indispensables del grupo iii y iv en el municipio de Viterbo, Caldas*. [https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17088/EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.pdf?sequence=1](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17088/EVALUACIÓN%20DE%20LA%20VULNERABILIDAD.pdf?sequence=1)
- Carlos, C. P. J., & Romero Torres, M. de J. (2012). *ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS ASISTIDO POR COMPUTADORA*. <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0063284.pdf>
- Cortes Henao, B., & Perilla Morales, K. (2017). *IDENTIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS ESTRUCTURALES EN EDIFICACIONES INDISPENSABLES DEL MUNICIPIO DE SANTA ROSA DE CABAL (SECTOR EDUCATIVO)*. [https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/16981/IDENTIFICACION DE PATOLOGIAS ESTRUCTURALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/16981/IDENTIFICACION%20DE%20PATOLOGIAS%20ESTRUCTURALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- El tiempo. (1995). *CONSTRUCCIONES DEBEN SER ANTISÍSMICAS*.

<https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-302331>

- Forero Acevedo, J., & Gomez Ruiz, J. (2006). *Comportamiento estructural de alternativas de mejoramiento sísmico. Caso de estudio: Edificios aporticados de 8 o más pisos en la zona 2 de la ciudad de Bucaramanga* [Universidad industrial de Santander]. <https://es.scribd.com/document/347940235/Comportamiento-Estructural-de-Alternativas-de-Mejoramiento-Sismico>
- García Socha, D. J., & Rozo Avila, D. J. (2020). *Evaluación de vulnerabilidad sísmica y diagnóstico de patología estructural en el municipio de Villavicencio, caso de estudio: Edificio La Voz del Llano*. <http://hdl.handle.net/11634/21864>
- González Herrera, R. I., Rodríguez Saba, M. S., Cordero Mendoza, E. A., & Garrido Ugel, R. D. (2016). *Vulnerabilidad sísmica de un edificio aporticado de concreto armado de cinco niveles, con irregularidad en planta y variaciones en el diafragma de piso*. [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1315-01622016000200013&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622016000200013&lng=en&tlng=en)
- Heredia Carrero, E. N., Paisig Narvais, J. L., Ramirez Leon, M., Saboya Saboya, J., & Terrones Silva, D. (2018). *Ensayos no destructibles en el concreto*. <https://es.scribd.com/document/378107870/Ensayos-No-Destructibles>
- Lopez Rodriguez, F., Rodriguez Rodriguez, V., Cruz Astorqui, J. S., Torreno Gomez, I., & Ubeda de Mingo, P. (2004). *MANUAL DE PATOLOGIA DE LA EDIFICACION*. [https://www.academia.edu/35231162/MANUAL\\_DE\\_PATOLOGÍA\\_DE\\_LA\\_EDIFICACIÓN](https://www.academia.edu/35231162/MANUAL_DE_PATOLOGÍA_DE_LA_EDIFICACIÓN)
- Municipio de Villavicencio Meta. (2013). *Municipio de Villavicencio. Síntesis Diagnóstica*. <http://www.colombiaturismoweb.com/DEPARTAMENTOS/META/MUNICIPIOS/VILLAVICENCIO/VILLAVICENCIO.htm>
- Páz Moreno, D. F., & Hernandez Delgadillo, J. H. (2007). *Metodología para el estudio de la vulnerabilidad estructural de edificaciones*. [https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/vulnerabilidad/01\\_diego\\_paez.pdf](https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/vulnerabilidad/01_diego_paez.pdf)
- Rosero, M., Martinez, D., & Lopez, C. (2019). *Formato de inspeccion de lesiones*. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/15919/2019ROSERO5.pdf?sequence>

=6&isAllowed=y

- Saavedra Cuenca, J. J., & Mahecha Varon, C. A. A. (2019). *EVALUACION DE VULNERABILIDAD SISMORESISTENTE DEL EDIFICIO DEL CENTRO DE EDUCACION PERMANENTE (CEPI) DE LA UNIVERSIDAD DE IBAGUE*. [https://repositorio.unibague.edu.co/bitstream/20.500.12313/1832/1/Trabajo de grado.pdf](https://repositorio.unibague.edu.co/bitstream/20.500.12313/1832/1/Trabajo%20de%20grado.pdf)
- Salinas Basualdo, R. (2008). *FUNDAMENTOS DEL ANALISIS DINAMICO DE ESTRUCTURAS*. <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2177/doc2177-contenido.pdf>
- Sanchez Garcia, V. K., & Ospina Cárdenas, S. (2018). *Diagnostico y evaluación de vulnerabilidad sísmica para construcción patrimonial, caso de estudio Edificio Nacional de Villavicencio (DIAN)*. <http://hdl.handle.net/11634/16705>
- Uribe, J. (2019). *Edificio de artes plasticas universidad nacional de colombia*. [http://contratacion.bogota.unal.edu.co/documentos/CON-BOG-006-2019/pdf/CON-BOG-006-2019-Anexo2 - Memoria de Cálculo Estructural.pdf](http://contratacion.bogota.unal.edu.co/documentos/CON-BOG-006-2019/pdf/CON-BOG-006-2019-Anexo2%20-%20Memoria%20de%20C%C3%A1lculo%20Estructural.pdf)