

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LAS  
EDIFICACIONES INDISPENSABLES DEL GRUPO III SECTOR EDUCACIÓN  
UBICADOS EN EL MUNICIPIO DE DOSQUEBRADAS, RISARALDA**

**Auxiliares de Investigación**  
**Santiago Herrera Mesa**  
**Cesar Andrés Manyoma Rentería**  
**Carlos Mario Duarte Ruiz**

**UNIVRSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA**  
**SEDE BELMONTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**INGENIERÍA CIVIL**  
**PEREIRA, RISARALDA**  
**MAYO 2019**

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LAS  
EDIFICACIONES INDISPENSABLES DEL GRUPO III SECTOR EDUCACIÓN  
UBICADOS EN EL MUNICIPIO DE DOSQUEBRADAS, RISARALDA**

**Investigador principal  
Alejandro Álzate Buitrago**

**Auxiliares de Investigación  
Santiago Herrera Mesa  
Cesar Andrés Manyoma Rentería  
Carlos Mario Duarte Ruiz**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA  
SEDE BELMONTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL  
PEREIRA, RISARALDA  
MAYO 2019**

## Tabla de Contenido

Resumen .....	8
Summary .....	9
Introducción.....	10
1. Planteamiento del problema .....	12
1.1 Pregunta de investigación.....	13
2. Justificación.....	14
3. Objetivos .....	15
3.1 Objetivo general.....	15
3.2 Objetivos específicos.....	15
4. Marco de referencias .....	16
4.1 Marco geográfico .....	16
4.2 Marco teórico.....	16
4.2.2 Muros .....	17
4.2.3 Pórticos .....	19
4.2.4 Modelación estructural.....	20
4.3 Marco conceptual .....	25
4.4 Marco normativo o legal.....	26
4.5 Marco de antecedentes .....	27
4.5.2 Antecedentes internacionales .....	31
5. Diseño metodológico .....	37
5.1 Tipo de investigación .....	37
5.2 Tipo de estudio.....	37
5.3 Matriz de diseño metodológico .....	37
6. Fases y resultados .....	39
6.1 Fases.....	39
6.2 Resultados.....	39
7. Resultados de la investigación .....	41
7.2 Información estructural .....	49
7.3 Modelación estructural.....	53
7.4 Resultados modelación estructural. ....	64
8. Conclusiones .....	69

9. Recomendaciones.....	71
Bibliografía .....	72
Anexos.....	75

## Lista de Tablas

Tabla 1 Información de las instituciones educativas .....	16
Tabla 2. Marco de normas referenciadas .....	26
Tabla 3. Matriz de metodología aplicada.....	37
Tabla 4. Resultados formato de caracterización. ....	46
Tabla 5. Instituciones con soporte de planos. ....	52
Tabla 6. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en la modelación estructural. .....	66

## Lista de gráficos

Gráfico 1. Sistema estructural.....	46
Gráfico 2. Edificaciones con columnas .....	47
Gráfico 3. Edificaciones con vigas .....	47
Gráfico 4. Edificaciones con planos .....	48
Gráfico 5. Edificaciones de uno o más pisos .....	48
Gráfico 6. Irregularidades .....	49
Gráfico 7. Cumplimiento de derivas y sobre esfuerzo Institución Educativa Juan Manuel González .....	67
Gráfico 8. Cumplimiento de derivas y sobre esfuerzo Institución Educativa Pablo Sexto .....	67
Gráfico 9. Cumplimiento de derivas y sobre esfuerzo Institución Educativa Empresarial .....	68

## Lista de imágenes

Imagen 1. Ejemplo hoja 1 de la ficha de caracterización .....	43
Imagen 2. Ejemplo hoja 2 de la ficha de caracterización .....	44
Imagen 3. Ejemplo hoja 3 de la ficha de caracterización .....	45
Imagen 4. Plano Institución Educativa Empresarial .....	51
Imagen 5. Plano Institución Educativa Pablo Sexto .....	51
Imagen 6. Plano Institución Educativa Juan Manuel González.....	52
Imagen 7. Datos del Sistema Métrico .....	54
Imagen 8. Datos del bloque .....	54
Imagen 9. Concreto de 21 MPa.....	55
Imagen 10. Columna del bloque .....	56
Imagen 11. Viga 40x50.....	57
Imagen 12. Vigueta 12x50.....	58
Imagen 13. Losa aligerada .....	59
Imagen 14. Modelo .....	60
Imagen 15. Losa aligerada .....	60
Imagen 16. Apoyos estructurales.....	61
Imagen 17. Diafragma .....	61
Imagen 18. Espectro de diseño .....	62
Imagen 19. Asignación de cargas .....	63
Imagen 20. Casos de cargas .....	63
Imagen 21. Combinaciones.....	64
Imagen 22. Resultados de sobre-esfuerzo.....	65
Imagen 23. Resultados de derivas.....	65

## **Resumen**

El respectivo estudio y evaluación de la vulnerabilidad estructural de edificaciones indispensables del grupo III sector educación realizado en el municipio de Dosquebradas, Risaralda, propone, a partir de la aplicación de conocimientos metodológicos, procedimentales y modelaciones en software pertinentes, evaluar y diagnosticar el estado actual estructural de las siguientes instituciones educativas sedes principales, Juan Manuel González – Juan Pablo Sexto – Empresarial; mediante la identificación de aspectos técnicos como la observación visual del estado de la edificación tanto estructura y cubierta, la tipología o sistema estructural empleado, la irregularidad en planta y altura de la construcción, el cálculo de derivas con el fin de poder diagnosticar que estas edificaciones son cumplidoras de los requerimientos establecidos por la (NSR-10) Norma de Sismo Resistencia Colombiana.

Se inicia con la recolección previa de información secundaria existente tales como planos arquitectónicos, estructurales, estudios y cálculos (si los hay), luego se emplea y se recolecta a través de una ficha técnica la mayor información de las condiciones constructivas de la edificación, toma de medidas de en campo de los elementos estructurales, levantamiento de planos, modelación de las edificaciones verificando el cumplimiento de la (NSR-10).



## **Summary**

The respective study and evaluation of the structural vulnerability of indispensable buildings of group III education sector carried out in the municipality of Dosquebradas, Risaralda, proposes, from the application of methodological knowledge, procedural and software modeling, evaluate and diagnose the current structural state of the following educational institutions main venues, Juan Manuel Gonzales - Juan Pablo Sexto - Business; by identifying technical aspects such as visual observation of the state of the building, both structure and cover, the typology or structural system used, the irregularity in the plant and height of the construction, the calculation of drifts in order to be able to diagnose that these buildings are compliant with the requirements established by the (NSR-10) Standard of Colombian Resistance Earthquake.

It starts with the previous collection of existing secondary information such as architectural, structural, studies and calculations (if any), then it is used and it is collected through a technical sheet the greatest information of the constructive conditions of the building, it takes of measurements of field of structural elements, survey of plans, modeling of buildings verifying compliance with (NSR-10).

## Introducción

El presente trabajo investigativo, muestra los resultados de la evaluación y estudio de la vulnerabilidad estructural de edificaciones indispensables del grupo III realizado a las instituciones educativas, Juan Manuel González – Juan Pablo Sexto – Empresarial, ubicadas en la zona urbana del municipio de Dosquebradas, Risaralda, que a partir de una investigación donde se aplican los conocimientos metodológicos, procedimentales y las modelaciones en software pertinentes; se pretende identificar los puntos débiles existentes y buscar las posibles intervenciones que a la luz de los requisitos de la norma NSR-10 se deben de realizar para mitigar la condición de amenaza y de vulnerabilidad estructural de la edificación.

No es demás recordar que Pereira como al igual que todo el eje cafetero han sido severamente afectadas por diferentes sismos en numerosas ocasiones, uno de estos y de mayor impacto ocurrió el 25 de enero de 1999 con epicentro en el territorio del Quindío donde los expertos de INGEOMINAS estimaron la profundidad del sismo en alrededor de 10 Km, con una magnitud en la escala de Richter de 6,2. En donde el sector con gran afectación fueron las instituciones educativas “(CEPAL, 1999)”.

Por tal motivo es de mencionar que, al recolectar información tanto en la Alcaldía como en la secretaría de educación del municipio, se observó que la mayoría de las instituciones educativas del municipio fueron construidas antes de los años 90, por lo cual se puede concluir que estas podrían no cumplir con los requisitos establecidos en la actual norma de sismo resistencia la NSR-10. Las Instituciones Educativas al ser catalogadas como indispensables deben someterse a continuos estudios de vulnerabilidad estructural para salvar guardar las numerosas vidas que ocupan estas edificaciones.

Para el inicio del proceso investigativo fue necesario principalmente recolectar la mayor parte de información secundaria en las entidades municipales y en las instituciones tales como planos estructurales e información pertinente de cada una de estas. El trabajo de campo realizado permitió identificar qué tipo de sistema estructural fue utilizado en cada edificación y las condiciones físicas en la que se encuentran actualmente. Posteriormente al revisar la información técnica que se pudo

juntar, se inició la evaluación de la vulnerabilidad estructural de cada colegio empleando una ficha de caracterización proporcionada por medio de la Oficina Municipal de Prevención y Atención de Desastres (O.M.P.A.D.E), aunque el formato lo desarrollo la Red Nacional de Evaluadores (R.N.E) de México.

Adicionalmente con el fin de realizar la modelación estructural con el software especializado fue necesario hacer el levantamiento de los planos en forma magnética ya que algunos fueron suministrados físicamente por los rectores de las instituciones, esta modelación es el soporte técnico del estudio de vulnerabilidad para verificar los índices de sobre-esfuerzo y la deriva de las edificaciones de dos o más pisos según los estándares y requerimientos mínimos exigidos en el título E de la NSR-10 para las edificaciones catalogadas como indispensables. Para finalizar el proceso investigativo se plantea y se establecen de manera proximal unas posibles medidas de mitigación requeridas para el cumplimiento mínimo de lo exigido por la norma, en el caso que se requieran.

E igualmente será un aporte para la secretaria de educación municipal y la población en general beneficiada de dichas instalaciones educativas, a las cuales se le suministrarán la información técnica recolectada en cuanto al estado de amenaza y de vulnerabilidad estructural de las edificaciones puestas a estudio.

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación son un aporte para el desarrollo sostenible de la región por parte de la Universidad Libre de Pereira los cuales se encuentran comprometidos con la gestión del riesgo y la prevención de desastres.

## 1. Planteamiento del problema

Colombia es un país que se localiza dentro de una de las zonas sísmicas más activas, su ubicación cercana al cinturón de fuego del pacífico donde ejercen las placas tectónicas de Nazca y suramericana, hacen catalogar su zona de amenaza sísmica como alta “(IDEGER, 2019)”. Por lo anteriormente mencionado como tal Risaralda y Dosquebradas están ubicados en el mapa de zonificación sísmica de Colombia, en zona de amenaza sísmica alta.

Debido a todas estas posibilidades de una ocurrencia de sismo con afectación considerable de vidas e infraestructura urbana y rural, en todos los organismos del estado se han implementado políticas para salvaguardar lo anteriormente mencionado en ocurrencia de algún movimiento sísmico. Por tal razón la Normas Sismo Resistentes Colombianas NSR-10 la cual comprende: la ley 400 de 1997 – la ley 1229 de 2008 – el presente reglamento colombiano de construcciones sismo resistentes, NSR-10 y – las resoluciones expedidas por la Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes del Gobierno Nacional; establecen y controlan los requerimientos mínimos que debe cumplir una estructura para resistir un evento sísmico y sus réplicas.

Por lo tanto, esto lleva a realizar un análisis estructural y de vulnerabilidad a toda aquella edificación que, en caso de un sismo, deben de permanecer en condiciones aptas para prestar servicio a la comunidad y posibles víctimas, catalogadas por la NSR-10 como edificaciones indispensables.

En lo referido a la vulnerabilidad sísmica a la que está sometida esta zona de estudio el gobierno ha tomado medidas de mitigación y de prevención de desastres frente a los posibles eventos de tipo sísmico y vulcanológico que puedan suceder y afectar las edificaciones del grupo III y IV según el gobierno que deben ser las primeras en responder ante dichos sucesos, por lo cual, se decretó la ley 1229 de 2008 en su artículo 54 donde especifica. “A las construcciones existentes cuyo uso las clasifique como edificaciones indispensables y de atención a la comunidad, localizadas en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, se les debe evaluar su vulnerabilidad sísmica, de acuerdo con los procedimientos que habrá de incluir el Título A de la reglamentación,

en un lapso no mayor de tres (3) años contados a partir de la vigencia de la presente ley. Estas edificaciones deben ser intervenidas o reforzadas para llevarlas a un nivel de seguridad sísmica equivalente al de una edificación nueva diseñada y construida de acuerdo con los requisitos de la presente ley y sus reglamentos, en un lapso no mayor de seis (6) años contados a partir de la vigencia de la presente ley”.

Por tal motivo y en referencia a todo lo expresado y/o planteado anteriormente, se realiza la formulación de la pregunta de investigación.

### **1.1 Pregunta de investigación**

¿Cuál es el estado de vulnerabilidad estructural por amenaza sísmica de las instituciones educativas, Juan Manuel González–Juan Pablo Sexto–Empresarial en el municipio de Dosquebradas, Risaralda?

## **2. Justificación**

Esta investigación es necesaria ya que se busca estudiar y revelar el estado de vulnerabilidad y funcionalidad de las estructuras imprescindible del sector educativo del grupo III en el municipio de Dosquebradas, Risaralda. Es importante connotar que los centros educativos, además de prestar un servicio esencial para las comunidades, son una alternativa de albergue y atención en caso de desastre y den tener la capacidad de atender cualquier tipo de calamidad que se pueda presentar. Se pretende realizar un estudio en el cual se pueda verificar el estado de las edificaciones y su comportamiento ante la eventual ocurrencia de un evento sísmico, por lo tanto al aplicar los conocimientos metodológicos, procedimentales y las modelaciones en software pertinentes se busca que estas edificaciones cumplan con las normas de diseño, sismo-resistente, establecidas en la NSR-10 colombiana, y así tener una idea clara de cómo se encuentran dichas edificaciones y la factibilidad de mejoramiento/reforzamiento de cada estructura, en caso de requerirse.

La ejecución del proyecto investigativo es estratégica, desde la perspectiva del conocimiento de los factores generadores de riesgo, para las autoridades competentes en procura de mitigar, prevenir y corregir las deficiencias estructurales que potencialmente puedan tener las edificaciones indispensables del sector educativo del municipio de Dosquebradas.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Evaluar la vulnerabilidad estructural de las edificaciones indispensables del sector educación del grupo III en el municipio de Dosquebradas, Risaralda.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Evaluar la vulnerabilidad estructural de 3 instituciones educativas del municipio de Dosquebradas, mediante los instrumentos técnicos pertinentes.
- Levantar la información estructural de las edificaciones que no cuentan con dichos soportes técnicos y/o verificar las condiciones estructurales de campo de aquellas que cuenten con los mismos.
- Modelar en un software especializado (ETABS) los índices de sobre-esfuerzo y la deriva, de las edificaciones de dos o más pisos, según los estándares de las NSR-10
- Establecer de manera proximal las medidas de mitigación requeridas para el cumplimiento de los mínimos establecidos en la NSR-10 para edificaciones indispensables del sector educativo.

## 4. Marco de referencias

### 4.1 Marco geográfico

El municipio de Dosquebradas cuenta con 76 planteles educativos de ellos 29 están en zonas rurales, y para esta investigación se seleccionaron 3 planteles educativos cuya información es la siguiente:

Tabla 1 Información de las instituciones educativas

Fuente: Autores

Nombre	Nivel Educativo Prestado	Numero de Estudiante	Año de Construcción	Año de Reformas	Sistema Estructural Predominante	Ubicación
Institución Educativa Empresarial	Bachillerato técnico empresarial	1835	1991	1994	Pórticos en concretos	Calle 9 # 72-79
Institución Educativa Juan Manuel González	Primaria, Secundaria	1424	1951	2008	Pórticos en concretos	Carrera 11 calle 46 esquina los naranjos
Institución Educativa Pablo Sexto	Secundaria, Superior	1522	1975		Pórticos en concreto	Calle 44 #23-24 barrios los molinos

### 4.2 Marco teórico

#### 4.2.1 Comportamiento estructural de edificaciones

“Es el funcionamiento de una estructura o edificación bajo cierto estado de cargas dependiente de su configuración, sistema estructural, localización, entre otros aspectos propios de la edificación” “(DÍAS, 2005)”.



El comportamiento de una estructura debe estar bajo las diferentes acciones para las que se postule o establezca que debe tener capacidad de respuesta.

Sobre una estructura pueden actuar diferentes tipos de acciones exteriores que también deben ser tenidas en cuenta las cuales son:

- Acción del terreno: empujes activos, asentamientos
- Acciones teológicas: retracción, fluencia.
- Acciones térmicas: flujo de calor por conducción, convección o radiación, transitorios térmicos.
- Acción gravitatoria: peso propio, carga permanente, sobrecargas, movimientos forzados.

## **4.2.2 Muros**

### **4.2.2.1 Muros estructurales**

“Los muros estructurales también llamado como sistema tipo túnel se conoce a los arreglos entre placas verticales (muros), las cuales funcionan como paredes de carga, y las placas horizontales (losas). Este sistema genera gran resistencia y rigidez lateral, pero si la disposición de los muros se hace en una sola dirección o se utiliza una configuración asimétrica en la distribución de los muros, se generan comportamientos inadecuados que propician la posibilidad del colapso” “(Bosso y Barbat, 2005)”.

### **Ventajas**

- Es un sistema que bien configurado es poco propenso al colapso, ya que ofrece gran resistencia a los esfuerzos laterales.

- Es un sistema que constructivamente es rápido de ejecutar, es decir tiene un alto rendimiento.
- Comparado a un sistema porticado tradicional, el sistema tipo Túnel puede costar entre un 25 a 30% menos. Además de su rápida ejecución, el hecho de ya tener muros permite un ahorro en costos en la construcción de las paredes de bloques y el precio de las mismas.
- Como es un sistema muy rígido, donde casi no se producen desplazamientos laterales, los elementos no estructurales no sufren daños considerables.
- Termina siendo una estructura mucho más liviana que el sistema a porticado, y gracias a su rigidez lateral se pueden llegar a construir edificios de más de 30 pisos de altura.

### **Desventajas**

- Ya que los muros son continuos dificulta la distribución de los espacios internos. Generalmente se requiere en la planta baja mayores espacios libres, ya sea para estacionamientos o en el caso de un hotel para el lobby.
- Por ser un sistema que posee gran rigidez, estará expuesto a grandes esfuerzos sísmicos, los cuales tienen que ser disipados por las fundaciones, esto significa que debe estar sustentado por un suelo con gran capacidad portante.
- Por poseer losas de delgado espesor, la longitud de los ramales de instalaciones de aguas servidas es limitada. En algunos casos se tiene que llegar a aumentar el espesor de la losa donde van ubicados los baños para poder cumplir con las pendientes.
- Puede llegar a ser un sistema muy vulnerable si la configuración estructural no posee líneas de resistencias en las dos direcciones ortogonales. Por lo cual es muy importante que exista

una interacción entre Arquitecto-Ingeniero al momento de realizar el proyecto. “(Bosso y Barbat, 2005)”

### **4.2.3 Pórticos**

“Los pórticos están formados por vigas y columnas, conectados entre sí por medio de nodos rígidos, lo cual permite la transferencia de los momentos flectores y las cargas axiales hacia las columnas.” (Bosso y Barbat, 2005)

“La resistencia a las cargas laterales de los pórticos se logra principalmente por la acción de flexión de sus elementos.” (Bosso y Barbat, 2005)

### **Ventajas**

- Disipan grandes cantidades de energía gracias a la ductilidad que poseen los elementos y la gran hiper-elasticidad del sistema.
- Son estructuras muy flexibles que atraen pequeñas solicitaciones sísmicas.
- Permite más distribuciones en los espacios internos del edificio.

### **Desventajas**

- Es difícil mantener las derivas bajo los requerimientos normativos.
- Por su alta flexibilidad, el sistema da lugar a períodos fundamentales largos, lo cual no es recomendable en suelos blandos.

- Su gran flexibilidad permite grandes desplazamientos lo cual produce daños en los elementos no estructurales.
- El uso de este sistema estructural está limitado a estructuras bajas o medianas. Ya que a medida que el edificio tenga más pisos, mayores tendrían que ser las dimensiones de las columnas, lo cual puede hacer el proyecto inviable económica y arquitectónicamente.
- El sistema en general presenta una baja resistencia y rigidez a las cargas laterales.
- Para los edificios con sistemas de pórticos rígidos se estima que en zonas poco expuestas a sismos el límite puede estar alrededor de 20 pisos, Y para zonas de alto riesgo sísmico alrededor de 10 pisos. “(Bosso y Barbat, 2005)”

#### **4.2.4 Modelación estructural**

Se entiende como modelado a la abstracción de lo real al papel de tal forma que me permita realizar la simulación del diseño en tercera dimensión y analizar sus resultados.

“Es el análisis del comportamiento mecánico de una estructura se lleva a cabo sobre modelos de ésta, entendiendo por modelo una idealización de algunos aspectos, probablemente parciales, de la realidad física y funcional de la estructura. Los modelos se utilizan para predicción de esfuerzos, tensiones, movimientos y deformaciones y es por lo que han de recoger la utilidad funcional del sólido, sus formas geométricas y su comportamiento. La descripción completa de la realidad física de un sólido a efectos de su modelización y análisis implicaría la consideración de todos los detalles que definen su geometría, de los aspectos tanto microscópicos como macroscópicos de los materiales que lo constituyen, de los comportamientos funcionales tanto globales como de detalle, de las interrelaciones con su entorno a todos los niveles.” (Hibbeler, 2012)

#### **4.2.4.1 Modelo numérico**

“Un método de análisis estructural se expresa comúnmente como un algoritmo matemático en el que se sintetizan teorías de la Mecánica Estructural, resultados de laboratorio, experiencias y juicio ingenieril.” (Hibbeler, 2012)

“La muy temprana demanda de complicados análisis unida a serias limitaciones en la capacidad computacional, dio lugar a la aparición de un gran número de técnicas especiales aplicables, cada una de ellas, a un problema o situación especial; estas técnicas, llamadas métodos clásicos, incorporaban ingeniosas innovaciones y sirvieron perfectamente al ingeniero estructuralista durante muchos años.” (Hibbeler, 2012)

“El posterior nacimiento e incremento espectacular de las capacidades y de la potencia de los ordenadores ha posibilitado, en la actualidad, la generalización de los algoritmos, los cuales han perdido su especificidad pasando a ser aplicables a un mayor número de situaciones; los métodos clásicos han sido reemplazados por los métodos basados en la Teoría de Matrices, así como por el Método de los Elementos Finitos.” (Hibbeler, 2012)

“Las ecuaciones del modelo matemático se resuelven, habitualmente, mediante técnicas numéricas cuya aplicación requiere la definición de un modelo numérico consistente en un conjunto de ecuaciones algebraicas.” (Hibbeler, 2012)

#### **4.2.5 La vulnerabilidad sísmica**

“Se denomina vulnerabilidad como el grado de daño que resulta una estructura debido a un evento sísmico de determinadas características. Estas estructuras se pueden calificar en “más vulnerables” o “menos vulnerables” ante un evento sísmico.” (Melone, 2002)

“E igualmente la vulnerabilidad sísmica de una estructura es una característica intrínseca a sí misma, y, además, es independiente de la peligrosidad del lugar ya que se ha observado en sismos anteriores que edificaciones de un tipo estructural similar sufren daños diferentes, teniendo en

cuenta que se encuentran en la misma zona sísmica. En otras palabras, una estructura puede ser vulnerable, pero no estar en riesgo si no se encuentra en un lugar con un determinado peligro sísmico o amenaza sísmica.” (Melone, 2002)

“Es preciso resaltar que no existen metodologías estándares para estimar la vulnerabilidad de las estructuras. El resultado de los estudios de vulnerabilidad es un índice de daño que caracteriza la degradación que sufriría una estructura de una tipología estructural dada, sometida a la acción de un sismo de determinadas características.” (Melone, 2002)

“La vulnerabilidad es entonces una condición previa que se manifiesta durante el desastre, cuando no se ha invertido suficiente en prevención y mitigación, y se ha aceptado un nivel de riesgo demasiado elevado. De aquí se desprende que la tarea prioritaria para definir una política preventiva es reducir la vulnerabilidad, pues no es posible enfrentarse a las fuerzas naturales con el objeto de anularlas.” (Melone, 2002)

Por lo tanto, las formas de vulnerabilidad que existen son:

#### **4.2.5.1 Vulnerabilidad funcional**

“Un estudio de la vulnerabilidad funcional busca determinar la susceptibilidad de una estructura a sufrir un “colapso funcional” como consecuencia de un sismo. Esto es sólo visible en el momento en que ocurre una emergencia. A fin de determinar en esta tercera etapa la vulnerabilidad funcional, se evalúa lo referente a la infraestructura. En primer lugar, el sistema de suministro de agua y de energía eléctrica, que son las partes más vulnerables. También son afectadas por los sismos las tuberías de alcantarillado, gas y combustibles, para lo cual se realizan investigaciones sobre su resistencia y flexibilidad.” (Melone, 2002)

“Estos aspectos funcionales incluyen también un análisis detallado de las áreas externas, vías de acceso a exteriores y su conexión con el resto de la ciudad; las interrelaciones, circulaciones primarias y secundarias, privadas y públicas y los accesos generales y particulares de las áreas básicas en que se subdivide la estructura. Se analiza la posibilidad de inutilización de ascensores,

acumulación de escombros en escaleras y pasillos, como así también el atascamiento de puertas.” (Melone, 2002)

#### **4.2.5.2 Vulnerabilidad no estructural**

“Un estudio de vulnerabilidad no estructural busca determinar la susceptibilidad a daños que estos elementos puedan presentar. Sabemos que al ocurrir un sismo la estructura puede quedar inhabilitada debido a daños no estructurales, sean por colapso de equipos, elementos arquitectónicos, etc., mientras que la estructura permanece en pie.” (Melone, 2002)

“Dentro del sistema electromecánico podríamos mencionar las líneas tuberías, apoyos de equipos, la conexión de los equipos, etc. De igual forma, dentro de los elementos arquitectónicos tenemos las fachadas, vidrios, tabiques, mamparas, puertas, ventanas, escaleras, etc.” (Melone, 2002)

#### **4.2.5.3 Vulnerabilidad estructural**

“Se refiere a que tan susceptibles a ser afectados o dañados son los elementos estructurales de una edificación o estructura frente a las fuerzas sísmicas inducidas en ella y actuando en conjunto con las demás cargas habidas en dicha estructura.” (Melone, 2002)

“Los elementos estructurales son aquellas partes que sostienen la estructura de una edificación, encargados de resistir y transmitir a la cimentación y luego al suelo; las fuerzas causadas por el peso del edificio y su contenido, así como las cargas provocadas por los sismos. Entre estos elementos se encuentran las columnas, vigas, placas de concreto, muros de albañilería de corte, entre otros.” (Melone, 2002)

“Debido a ello como se dirá que un buen diseño estructural es la clave para que la integridad del edificio sobreviva aún ante desastres naturales severos como lo son los terremotos.” (Melone, 2002)

#### 4.2.6 Efectos de un sismo

“El efecto de los sismos sobre las estructuras depende de las características dinámicas tanto de la estructura como del movimiento. El problema es sumamente complejo, pues las características dinámicas del movimiento son variables tanto durante un mismo temblor, como de uno a otro temblor, dependiendo de la distancia epicentral, profundidad focal y magnitud del sismo, así como del tipo de terreno en que estén desplazadas las estructuras.” (Falconi, 2008)

“El factor de interés del movimiento son la duración, la amplitud y la frecuencia, refiriéndose la amplitud a los máximos valores que se alcanzan durante el sismo, ya sea de desplazamiento, velocidad o aceleración del suelo y la frecuencia al número de ciclos de oscilación del movimiento por unidad de tiempo.” (Falconi, 2008)

“Además, las características dinámicas de las estructuras no son fáciles de estimar correctamente, debido a las incertidumbres existentes en la determinación de las propiedades elástico-geométricas de los elementos que conforman las estructuras, a la variación de las propiedades al presentarse comportamiento inelástico, así como a incertidumbres en cuanto a la colaboración a la resistencia y rigidez de elementos no estructurales, que suelen participar en la respuesta sísmica debido a que es difícil desligarlos adecuadamente de la estructura. También es poco frecuente incluir la participación de la cimentación y del suelo circundante en la determinación de las propiedades dinámicas de un edificio.” (Falconi, 2008)

“La rigidez, tanto de entrepiso como angular o lineal, depende del tamaño de la sección transversal de los elementos estructurales. Con lo que se calculan las propiedades geométricas: áreas y momentos de inercia, de su longitud, de la forma en que están conectados a otros elementos y del material con que están hechos, lo que define las propiedades elásticas como módulo de elasticidad, módulo de Poisson y módulo de cortante.” (Falconi, 2008)

“Por lo anterior, en general se elaboran modelos matemáticos elásticos muy simplificados de las estructuras, pues aún con ayuda de las computadoras, el problema dista de ser manejable. Entre las características más importantes que pueden obtenerse de los modelos están los periodos de



oscilación de cada uno de los distintos modos en que pueden vibrar y las formas de estos modos, entendiéndose por periodo el tiempo que tarda en ocurrir una oscilación completa.” (Falconi, 2008)

“En conclusión, los efectos de un sismo dependen de cada sistema estructural, las características de cada edificio y de cada sismo ya que son muchas variables las que actúan en el momento de producirse un sismo.” (Falconi, 2008)

### **4.3 Marco conceptual**

#### **4.3.1 Amenaza**

“La amenaza es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno peligroso de origen natural o antrópico en un tiempo dado y en una localidad no adaptada para afrontarlo sin traumatismos. Las amenazas se pueden clasificar de la siguiente manera:” (C.A.R.D.E.R, 2013)

- “Amenazas Naturales: Son aquéllas que tienen su origen en la dinámica propia del Planeta Tierra.
- Amenazas Socio - Naturales: Son aquéllas que se expresan a través de fenómenos que parecen ser productos de la dinámica de la naturaleza, pero que en su ocurrencia o en la agudización de sus efectos interviene la acción humana.” (C.A.R.D.E.R, 2013)

#### **4.3.2 Riesgo**

“El riesgo es la probabilidad de que ocurra un desastre. Se obtiene de relacionar la amenaza o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino, con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.” (C.A.R.D.E.R, 2013)

#### **4.3.3 Sismo**

“Se denomina sismo o terremoto a las sacudidas o movimientos bruscos del terreno producidos en la corteza terrestre como consecuencia de la liberación repentina de energía en el interior de la Tierra o a la tectónica de placas. Esta energía se transmite a la superficie en forma de ondas sísmicas que se propagan en todas las direcciones. El punto en que se origina el terremoto se llama foco o hipocentro; este punto se puede situar a un máximo de unos 700 km hacia el interior terrestre. El epicentro es el punto de la superficie terrestre más próximo al foco del terremoto.” (Universidad católica de Perú, 2003)

#### 4.3.4 La vulnerabilidad

“La vulnerabilidad es la exposición, debilidad o incapacidad de resistencia frente a las amenazas que presenta una comunidad, persona o elemento que es considerado de valor para el hombre, también se refiere a la incapacidad para recuperarse de los efectos de un desastre, lo cual no sólo depende de la convivencia con la amenaza, sino de múltiples factores presentes en la localidad, a continuación, se presentan algunos factores.” (C.A.R.D.E.R, 2011)

#### 4.4 Marco normativo o legal

El tener un marco normativo delimita los lineamientos y las condiciones mínimas del trabajo aplicado a un sistema estructural tratando de evaluar los daños estructurales ante el efecto de un sismo, en la tabla 2 se observa las normas que se utilizarán en este proyecto.

Tabla 2. Marco de normas referenciadas

Fuente: Autores

Norma	Descripción	Pertinencia Norma
NSR-10	Es el reglamento sismo resistente de Colombia el cual indica lo que se debe hacer en las estructuras.	Aplica a todos los chequeos pertinentes que se realizarán de las comprobaciones estructurales.

Decreto 033 de 1998	Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes NSR-98.	Implica los requisitos mínimos de construcción de edificaciones sismo resistente.
Ley 400 de 1997	Por la cual se adoptan normas sobre Construcciones Sismo-Resistentes.	Establece los criterios mínimos de diseño, construcción y supervisión técnica de las construcciones.
Decreto Legislativo 919 de 1989	Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres SNAPAD	Aplica al manejo de la prevención ya utilizado por otras entidades y tomar una referencia de estas.
Ley 388 de 1997 - POT	Plan de Ordenamiento Territorial el cual es el encargado del desarrollo de la ciudad.	Es de vital importancia saber cómo funciona el desarrollo de la ciudad para saber qué áreas tendrán prioridad en estos planes.
Ley 1523 de 2012	Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.	El saber la política de Gestión del Riesgo y las diferentes aplicaciones de este y las formas de que estos trabajan las amenazas da importancia y acompañamiento al ejercicio investigativo ejercido.

## 4.5 Marco de antecedentes

### 4.5.1 Antecedentes nacionales

#### 4.5.1.1 Evaluación de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones indispensables del sector educación del grupo III en el municipio de Dosquebradas, Risaralda

“La evaluación de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones indispensables del sector educación del Grupo III en el municipio de Dosquebradas, Risaralda, pretende, a partir de la aplicación de instrumentos metodológicos y procedimentales pertinentes, diagnosticar y evaluar el actual estado constructivo y estructural de 11 colegios oficiales mediante el reconocimiento de aspectos técnicos como la irregularidad en planta y altura, la tipología estructural, el estado de la construcción, la cubierta, el cálculo de la deriva y el cumplimiento de los requerimientos de la

Norma de Sismo Resistencia Colombiana (NSR-10) en cada una de ellas, toda vez que dichas edificaciones son consideradas como indispensables. Se procedió inicialmente a la recolección de información secundaria existente y posteriormente a la aplicación de ficha técnica para conocer la condición constructiva, al levantamiento de los planos correspondientes a la distribución de los elementos estructurales, a la modelación estructural de cada edificación para verificar cumplimiento de la NSR-10 y finalmente a la formulación de presupuestos proximales requeridos por cada edificación para satisfacer los requisitos de la norma.” (Cardona, C. E., Medina López, G., Serna Restrepo, 2016)

“De las instituciones analizadas el 59.6% (28) de los bloques tiene como sistema estructural pórticos, mientras el 40.4% (19) tiene como sistema estructural muros. El 72.3% (34) de los bloques tiene columnas, mientras el 27.7% (13) no tiene columnas; mientras que en el caso de vigas el 76.6% (36) de los bloques las posee, mientras que el 23.4% (11) no posee este elemento. El 100% (47) de los bloques no posee planos de ningún tipo. De las instituciones analizadas el 76.6% (36) de los bloques son estructuras de 1 piso, mientras el 23.4% (11) de los bloques son estructuras de 2 pisos. El 76.6% (36) de los bloques son estructuras de un piso y de estos el 55.6% (20) de los bloques pertenecen al sistema estructural Pórticos, mientras el 44.4% (16) de los bloques pertenece el sistema de muros estructurales.” (Cardona, C. E., Medina López, G., Serna Restrepo, 2016)

“Una parte importante del estudio es la vulnerabilidad funcional y de acuerdo a las fichas de caracterización se pudo comprobar que 9 instituciones (81.8%) de las instituciones educativas analizadas presentaba una vulnerabilidad funcional por ende la importancia de mirar este aspecto también.” (Cardona, C. E., Medina López, G., Serna Restrepo, 2016)

#### **4.5.1.2 Evaluación de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones indispensables del grupo III y IV en el municipio de viterbo, caldas**

“Evaluar la condición estructural de las edificaciones indispensables de los grupos III y IV de la NSR-10, en municipios no capitales que cuentan con limitadas capacidades técnicas, financieras y logísticas para dar respuesta a todos los requerimientos de la Ley 1523 de 2012; el decreto 1807

de 2014 y la NSR-10, sugiere el despliegue de esfuerzos técnicos capaces de confrontar, diagnosticar y abordar las limitaciones propias de procesos constructivos que, en el mejor de los casos cumplieron los estándares de la NSR-98, y que por el paso del tiempo, la pérdida de funcionalidad y resistencia/durabilidad de materiales, las hacen hoy por hoy edificaciones con algún grado de vulnerabilidad frente a la potencial ocurrencia de eventos sísmicos. El ejercicio investigativo desarrollado en el municipio de Viterbo partió de la identificación y caracterización estructural de las edificaciones consideradas indispensables. Una vez visitadas en campo para evaluar su condición estructural y estado, se procedió a levantar la planta de los elementos estructurales de interés, con el objeto de modelar su condición de vulnerabilidad mediante el software ETABS. Finalmente, identificadas las deficiencias estructurales, a la luz de la NSR-10, se propusieron las medidas de mitigación requeridas para que dichas edificaciones se ajustaran a la norma y de esta manera se atenuara su vulnerabilidad y extensivamente, se garantizará su ocupación segura.” (Osorio Gaviria, A., & Osorio Ramírez, A. F., 2017)

“En el municipio de Viterbo, una vez concluido el proceso investigativo, se pudo diagnosticar y confirmar las deficiencias constructivas (vulnerabilidad estructural) de la Alcaldía Municipal, el Hospital San José, La Institución Educativa La Milagrosa y el Cuerpo de Bomberos, con evidentes limitaciones estructurales, que configuran en el municipio un escenario de riesgo bastante complejo. La única edificación que satisfizo los requerimientos de norma fue la Plaza de Mercado, no obstante, su época de construcción remontarse al año 1978.” (Osorio Gaviria, A., & Osorio Ramírez, A. F., 2017)

#### **4.5.1.3 Estimación de la confiabilidad estructural de una edificación indispensable mediante análisis no lineales estáticos de pushover.**

“En el presente trabajo investigativo se exponen los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica del sistema estructural de una edificación indispensable utilizando las técnicas de confiabilidad estructural. Este se basó principalmente en la recopilación de información existente tales como planos, memorias de cálculo, estudios de patología, levantamiento estructural y la evaluación de amenaza sísmica local; para la evaluación de la capacidad a cortante de la estructura se realizó un análisis estático no lineal de pushover de 3 modelos estructurales del

edificio, modificando su rigidez en función de 100 datos del módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión del concreto. El primer modelo es el original sin refuerzo, el segundo es rehabilitado con diagonales concéntricas de acero y el tercero consiste en un muro en concreto reforzado.” (Muñoz, E. E., Ruiz, D. M., Prieto, J. A., & Ramos, A., 2017)

“Para el análisis de los resultados se estimó el nivel de seguridad de las edificaciones en función del índice de confiabilidad, empleando los límites generales recomendados por diferentes autores los cuales definen el valor objetivo de la probabilidad de falla.” (Muñoz, E. E., Ruiz, D. M., Prieto, J. A., & Ramos, A., 2017)

“La estructura existente sin refuerzo tiene un índice de confiabilidad de 1.6, correspondiente a una probabilidad de falla anual de 0.05480, la cual representan un riesgo inminente y de niveles de seguridad inadecuada. Es necesario tomar acciones urgentes considerando que es una edificación indispensable. Al reforzar la edificación mediante diagonales de acero, se tienen un índice de confiabilidad de 2.9, lo cual representan una seguridad aceptable, que implica medidas de prevención a mediano plazo. Reforzada dicha edificación mediante un muro cortina en concreto reforzado, se tienen un índice de confiabilidad de 3.6, lo que representa también una seguridad aceptable.” (Muñoz, E. E., Ruiz, D. M., Prieto, J. A., & Ramos, A., 2017)

“El análisis de confiabilidad basado en desplazamientos espectrales confirma los resultados de los análisis basados en fuerzas resistentes, arrojando probabilidades de falla demasiado altas (superiores al 11 %) para una edificación indispensable y de atención a la comunidad. La probabilidad anual de falla considerando el modelo de desplazamientos (  $p_f$  anual es de 0.117), es similar a las obtenidas mediante el análisis de cortante.” (Muñoz, E. E., Ruiz, D. M., Prieto, J. A., & Ramos, A., 2017)

#### **4.5.1.4 Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali: Una propuesta metodológica**

“En este proyecto se evalúa el grado de vulnerabilidad sísmica de una cantidad representativa de escuelas públicas de la ciudad de Cali, cuyo estudio fue considerado significativo debido a las

inadecuadas condiciones que estos establecimientos presentan actualmente, a su importancia dentro de la comunidad y a los antecedentes de daños por sismo en este tipo de edificaciones, estableciendo los aspectos que influyen en su estado actual, por lo tanto, en su vulnerabilidad sísmica, constituyéndose en una herramienta para el desarrollo de planes de prevención y mitigación de riesgos en las escuelas.” (Llanos, L. F., & Vidal, L. M., 2003)

“El desarrollo de un procedimiento de evaluación de la vulnerabilidad sísmica a gran escala, adecuado a las características particulares de las escuelas, permitió identificar condiciones que lo constituyen en un problema complejo. Por un lado, la existencia de varias edificaciones en un mismo establecimiento, con tipologías estructurales, aspectos constructivos y edades distintas, plantea la necesidad de formular evaluaciones distintas para cada tipología y por el otro, para obtener un estimativo total de la vulnerabilidad de la escuela, se hace necesario definir criterios para hacer una ponderación de lo que se observó en las diferentes edificaciones evaluadas. Uno de los criterios definidos en este estudio para hacer la ponderación, fue multiplicar la calificación de vulnerabilidad de cada edificación por su área en planta, en proporción con el área total construida de la escuela.” (Llanos, L. F., & Vidal, L. M., 2003)

“Por medio de la aplicación y validación de los dos procedimientos desarrollados se contribuyeron a demostrar que, para evaluaciones cualitativas de la vulnerabilidad sísmica de un número considerable de edificaciones escolares, no se requieren ni se justifican refinamientos o análisis detallados. El aporte de este estudio a la caracterización del problema de la vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali se constituye en una herramienta para emprender la Intervención de estos establecimientos, enfatizando en los aspectos identificados como los más vulnerables de sus edificaciones.” (Llanos, L. F., & Vidal, L. M., 2003)

## **4.5.2 Antecedentes internacionales**

### **4.5.2.1 Estudios de vulnerabilidad sísmica estructural de instalaciones hospitalarias: elemento imprescindible en la prevención de desastres.**

“Las edificaciones destinadas a instalaciones hospitalarias ubicadas en zonas sísmicas suelen verse afectadas ante la acción de las fuerzas que generan los terremotos, debido fundamentalmente a aspectos técnicos relacionados con su concepción ingenieril y con el grado de mantenimiento constructivo que haya recibido durante su explotación. Partiendo de un recuento de los orígenes del surgimiento de los hospitales en la ciudad de Santiago de Cuba, se presentan en este artículo los procedimientos aplicados para realizar estudios de vulnerabilidad estructural en las principales instituciones hospitalarias existentes actualmente en la ciudad, puntualizando en las técnicas utilizadas para caracterizar el comportamiento real del suelo del sitio donde se emplazan las edificaciones y para determinar las características dinámicas de las mismas; así como los procedimientos de cálculo empleados para evaluar el nivel de vulnerabilidad estructural que presentan. Se exponen además de forma genérica las problemáticas comunes asociadas a las estructuras de las edificaciones, las cuales fueron identificadas en los hospitales estudiados, proponiendo entonces las posibles soluciones a aplicar, en aras de fortalecer el papel que deben jugar estas instalaciones en la respuesta a situaciones de desastres generadas por sismos intensos en esta región del país.” (Vega, Candebat, Álvarez, Ferrera T., 2014)

“La elevada actividad sísmica que se manifiesta en la ciudad de Santiago de Cuba, la diversidad de tipologías constructivas presentes en las instalaciones hospitalarias, así como la avanzada edad de algunas de sus edificaciones, demuestra la necesidad e importancia de la ejecución de estudios de vulnerabilidad sísmica estructural.” (Vega, Candebat, Álvarez, Ferrera T., 2014)

“Los problemas detectados en los estudios realizados constituyen generalidades en las edificaciones analizadas, lo que demuestra la necesidad de implementar las soluciones propuestas contribuyendo a la mitigación de su vulnerabilidad estructural y por tanto incrementando la seguridad de estas instituciones imprescindibles en las acciones de respuesta post terremoto.” (Vega, Candebat, Álvarez, Ferrera T., 2014)

#### **4.5.2.2 Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales, análisis de su contribución al riesgo sísmico.**



“Este trabajo tiene como objetivo la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificaciones esenciales, orientado al análisis del sistema sanitario como paradigma de edificios y sistemas esenciales en caso de desastre. Se destaca la relevante función que las edificaciones esenciales desempeñan en la atención y gestión de la emergencia debido a sismos. Además, se resalta la necesidad de crear un cuerpo de prescripciones específicas que permita adecuar las edificaciones existentes y construir las nuevas con requisitos compatibles a su nivel de importancia.” (Melone, 2002)

#### **4.5.2.3 Metodología de modelación de escenarios de riesgo sísmico en Managua, Nicaragua.**

“La investigación Metodología de Modelación de Escenarios de Riesgo Sísmico en Managua, Nicaragua fue ejecutada por el proyecto REDUCCION DEL RIESGO SISMICO EN CENTROAMERICA en su fase II, bajo el auspicio del Centro de Prevención de Desastres en América Central, del cual la Universidad Nacional de Ingeniería. Dicha investigación presenta los análisis y resultados de la actualización de la amenaza sísmica, zonificación tectónica y aceleraciones espectrales esperadas de Centroamérica y en particular de Managua, Nicaragua. Se presentan formatos de recopilación de información y también algunos ejemplos de los resultados obtenidos de los datos de campo levantados directamente de las edificaciones de viviendas de un barrio de Managua, así como de una extrapolación lograda sobre la base de datos catastrales de la ciudad de Managua. A partir de una muestra de viviendas típicas se establece una clasificación o tipología por cada sistema constructivo a los cuales se les aplico el Método de Análisis Estático No Lineal de Estructuras generándose un análisis de la capacidad de la estructura acorde con una demanda y por ende el punto de desempeño, el cual representa el Máximo Desplazamiento Estructural esperado para un sismo dado y así reflejar el grado de vulnerabilidad.” (Ugarte, A. 2010)

“Se han obtenido resultados de amenaza específicos para las 6 capitales de países Centroamericanos: Hay mayor amenaza en Ciudad de Guatemala y San Salvador, seguidas de San José y Managua y menor amenaza en Panamá y Tegucigalpa.” (Ugarte, A. 2010)

“Se ha elaborado un catálogo sísmico regional, actualizado hasta 2007 y homogeneizado a Magnitud, Mw.” (Ugarte, A. 2010)

#### **4.5.2.4 Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios, aplicado a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada, España.**

“Las nuevas tendencias en la ingeniería sísmica, reconocen la necesidad de evaluar la vulnerabilidad de los edificios en entornos urbanos. De hecho, es allí donde se concentra la mayor parte de la población mundial, las infraestructuras y los servicios. Así pues, el comportamiento de los edificios ante la ocurrencia de los sismos intensos, es el responsable de evitar verdaderas catástrofes sísmicas, como lo que, hasta la fecha, continúa dejando pérdidas económicas millonarias y un número inaceptable de víctimas mortales.” (Bonett Díaz, R. L. 2003)

“De lo anterior, se deduce la motivación del presente trabajo, que ha sido estructurado en tres grandes bloques. En el primero de ellos, se ha analizado los aspectos conceptuales y metodológicos relacionados con la evolución de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de edificaciones en entornos urbanos. En la segunda parte, se ha analizado detalladamente, el comportamiento sísmico esperado de los edificios porticados de hormigón armado, situados en la ciudad de Manizales (Colombia), caracterizados por una amenaza sísmica alta. El desarrollo y aplicación de métodos y técnicas avanzadas de análisis del desempeño, vulnerabilidad y fragilidad de las edificaciones, ha permitido establecer, de forma cuantitativa, la importancia que, para la minoración del riesgo sísmico, tiene el diseño y construcción sismo-resistente. La tercera parte, se ha dedicado al análisis de riesgo sísmico en la ciudad de Barcelona (España), que, por hallarse situada en un entorno de amenaza sísmica entre moderada y baja, no ha incorporado en sus costumbres y hábitos constructivos, ninguna conciencia ni precaución sísmica, lo que ha resultado en una elevada vulnerabilidad y fragilidad de sus edificios y, por lo tanto, en un considerable riesgo:” (Bonett Díaz, R. L. 2003)

#### **4.5.2.5 Vulnerabilidad sísmica de centros poblados, un caso de estudio: sector Pan de Azúcar, Mérida, Venezuela.**

“Los estudios de vulnerabilidad sísmica son determinantes en el análisis y manejo de riesgos en zonas pobladas. Su implementación permite la determinación y cuantificación de daños probables en las construcciones existentes, con miras a establecer políticas, planes y medidas que coadyuven a su control, prevención y mitigación y, en consecuencia, evitar o minimizar los posibles daños o pérdidas de vidas humanas, los daños materiales a las edificaciones y la afectación económica a la población. Este trabajo presenta el estudio de vulnerabilidad sísmica del sector Pan de Azúcar, importante centro poblado cercano a la ciudad de Mérida con grandes posibilidades de desarrollo urbanístico y poblacional, basado fundamentalmente en el análisis cualitativo de la tipología y técnica constructiva, calidad de materiales, detalles constructivos y previsiones de diseño ingenieril sismo resistente, realizado con fines de determinar el inventario de tipologías constructivas, su vulnerabilidad sísmica y potenciales niveles de daño ante los escenarios sísmicos probables en la zona de asentamiento.” (Montilla Moreno, P. J., & Castillo Gandica, A. 2012)

“La estimación de la vulnerabilidad sísmica de centros poblados, con el uso de técnicas cualitativas, económicas, rápidas y sencillas de aplicar, permite identificar y cuantificar, de manera general y rápida, el impacto que producirían sismos de diferentes magnitudes sobre las construcciones típicas asentadas en el área de estudio.” (Montilla Moreno, P. J., & Castillo Gandica, A., 2012)

“La estimación de la vulnerabilidad sísmica con cierto margen de confiabilidad sobre la totalidad de la población de edificaciones existentes en un determinado centro poblado permite, con base en las observaciones y experiencias aprendidas a partir de sismos severos a destructores, generar criterios y políticas de desarrollo urbanístico y normativas de construcción tendentes a mitigar los daños sobre las construcciones futuras a desarrollarse en la zona.” (Montilla Moreno, P. J., & Castillo Gandica, A., 2012)

#### **4.5.2.6 Método avanzado para la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico aplicado a la ciudad de Barcelona.**

“Este trabajo resume la participación de la ciudad de Barcelona en el proyecto europeo RISK-UE: Un método avanzado para la evaluación de escenarios de riesgo sísmico con aplicación a

diferentes ciudades europeas, el cual consiste en definir y aplicar metodologías para la evaluación de la peligrosidad, la vulnerabilidad y el riesgo sísmico en 7 ciudades europeas. La evaluación de la peligrosidad se realiza usando métodos deterministas y probabilistas en términos de intensidades y valores espectrales de aceleración. La vulnerabilidad del parque de edificios de Barcelona se evalúa usando el método del índice de vulnerabilidad y el del espectro de capacidad para así generar varios escenarios de riesgo sísmico para la ciudad.” (Roca, A., Irizarry, J., Lantada, N., Barbat, A., Goula, X., Pujades, L. I., & Susagna, T. 2006)

“El parque de edificios de Barcelona está principalmente compuesto por edificios de mampostería y de hormigón, que constituyen un 79% y 18% respectivamente del total de edificios existentes. La evaluación de la vulnerabilidad de los edificios de vivienda ha mostrado que los edificios de mampostería son más antiguos y más vulnerables que los de hormigón. Se han generado curvas de capacidad y de fragilidad, específicas para ambas tipologías, propias de la ciudad de Barcelona.” (Roca, A., Irizarry, J., Lantada, N., Barbat, A., Goula, X., Pujades, L. I., & Susagna, T. 2006)

“La evaluación del daño sísmico para un escenario de tipo determinista para los monumentos más emblemáticos de la ciudad, usando el método del índice de vulnerabilidad, ha revelado que pueden esperarse grados máximos de daño medio de tipo ligero a moderado. Si se considera la incertidumbre en la definición del índice de vulnerabilidad, algunos monumentos tienen una probabilidad considerable de sufrir colapso.” (Roca, A., Irizarry, J., Lantada, N., Barbat, A., Goula, X., Pujades, L. I., & Susagna, T. 2006)

## 5. Diseño metodológico

### 5.1 Tipo de investigación

Las Investigaciones que se desarrollan a lo largo del proyecto son de carácter cualitativo y cuantitativo, estas son aquellas cuyo objetivo es estudiar la calidad de las actividades, relaciones, asuntos, medios, materiales o instrumentos en una determinada situación o problema; esta investigación evalúa las características estructurales de los edificios de estudio y mira que tan vulnerables son a los efectos de un sismo.

### 5.2 Tipo de estudio

En este proyecto se realiza un estudio de tipo descriptivo ya que se identifica el comportamiento de las estructuras estudiadas frente a un sismo y la vulnerabilidad que tienen estas edificaciones, tratando de manifestar cuales son las medidas de mitigación en caso de que las estructuras se han vulnerables, también mirando la funcionalidad o el correcto desarrollo de la prestación como lugar de educación o albergue en caso de ser necesario.

### 5.3 Matriz de diseño metodológico

El diseño metodológico garantiza que cada uno de los objetivos que se establezcan se correlacione entre sí, a sí mismo delimita el espacio de trabajo y la aplicación de cada objetivo, para el desarrollo del problema se resume en la siguiente tabla:

Tabla 3. Matriz de metodología aplicada

Fuente: Autores

<b>Objetivos</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Producto</b>
Evaluar la vulnerabilidad estructural de 3 instituciones del municipio de Dosquebradas.	Observación	Ficha de Caracterización	Base de Datos

Levantar la información estructural de las edificaciones que no cuentan con dichos soportes técnicos y/o verificar las condiciones estructurales de campo de aquellas que cuenten con los mismos.	Medición en Campo y Observación	Planos	Planos Instituciones Educativas
Modelar en un software especializado los índices de sobre-esfuerzo y la deriva, de las edificaciones de dos o más pisos, según los estándares de las NSR-10	Modelación en Software	Programa ETABS	Estructuras Modeladas
Establecer de manera proximal las medidas de mitigación requeridas para el cumplimiento de los mínimos establecidos en la NSR-10 para edificaciones indispensables del sector educativo.	Observación , chequeo y análisis	Comparación con la NSR – 10	Estructuras en cumplimiento de la NSR - 10

## 6. Fases y resultados

### 6.1 Fases

**Fase 1.** Recolección de información primaria: se realiza visita a las diferentes entidades en las cuales se puedan recopilar la mayor parte de la información existente de las edificaciones (alcaldía, secretaría de educación, gobernación y las propias instituciones educativas), se solicitan la autorización de ingreso a las instituciones objeto de estudio.

**Fase 2.** Análisis preliminar: se emplea una ficha de caracterización a cada una de las edificaciones y se toman medidas en campo para el levantamiento de planos en caso de que no sean existentes.

**Fase 3.** Modelación de las estructuras: con la modelación se realiza un chequeo por norma de acuerdo a lo que indica la NSR-10, ya sea que se realice un chequeo por tabla o la simulación de un modelo estructural en el software especializado ETABS.

**Fase 4.** Recopilación de la información obtenida en la modelación estructural, el análisis se realiza de acuerdo a los requisitos establecidos por la NSR-10, organización de la información, formulación de estrategias y alineamientos generales para aquellas edificaciones que no cumplan con lo establecido en la norma y como final la creación del informe.

### 6.2 Resultados

**Resultados fase 1.** Se recolecta la mayor información de cada una de las instituciones para delimitar y establecer los parámetros de estudio.

**Resultados fase 2.** En esta fase se realiza el trabajo de campo como es la recolección de información de las estructuras por medio de la caracterización en la ficha técnica y toma de medidas en campo para el levantamiento de planos.

**Resultados fase 3.** Se analizan los resultados de las fases anteriores y se conoce el estado de vulnerabilidad de las respectivas edificaciones e igualmente se hacen las modelaciones estructurales en el software especializado.

**Resultados fase 4.** Se analizan todos los resultados obtenidos en cada una de las fases y se realiza el documento final.



## 7. Resultados de la investigación

A continuación, se exponen los resultados de cada fase haciendo referencia a que cada una de las estas se refiere a uno de los objetivos específicos, a continuación, se muestra lo hallado en cada una de ellas:

**7.1 Evaluación de la vulnerabilidad estructural:** La evaluación de la vulnerabilidad estructural de cada colegio se realizó por medio de una ficha de caracterización proporcionada por medio de la Oficina Municipal de Prevención y Atención de Desastres (O.M.P.A.D.E), aunque el formato lo desarrollo Red Nacional de Evaluadores (R.N.E)

**7.1.1 Descripción ficha de caracterización:** Uno de sus aspectos más importantes es el mantener la recolección de datos lo más concisa posible, ya que es necesario para que el evaluador marque casillas y llene varias variables, lo cual delimita la información y hace que esta sea más concisa y no este arbitrariamente a lo que el evaluador quiera colocar.

En la Ficha de caracterización los datos con lo que se llena son: Información general del inmueble, uso de la edificación, terreno y cimentación, características de la estructura, vulnerabilidad, sistema estructural, rehabilitación, evaluación de daños, daños máximos observables y se permite la realización de un croquis de la estructura o bloque en sí.

Esta Ficha de Caracterización Fue desarrollada en México, aunque se aplica en muchos países por su fácil utilización y gran margen de aceptación.

**7.1.2 Elementos fichas de caracterización:** Las Fichas de Caracterización utilizadas para el desarrollo de estudio poseen diferentes elementos que es necesario conocerlos y que cumplen un objetivo claro en el estudio, estos elementos se clasifican así:

- **Información General del Inmueble:** En esta parte van los datos más relevantes de la edificación los cuales son: Nombre, Nombre del cuerpo o área, Dirección, Coordenadas, entre otros; estos

datos son relevantes ya que ayudan a identificar los diferentes bloques y las características de estos.

- **Uso:** En esta parte se ingresa el uso de la edificación, el grupo estructural, ocupación, Número de ocupantes; estos datos son relevantes ya que al clasificar los bloques por su se tiene idea de las características que este debe tener.
- **Terreno y Cimentación:** En esta parte van los datos de la topografía, tipo de suelo, tipo de cimentación, entre otros datos de gran relevancia ya que el terreno y la cimentación son características fundamentales en la vulnerabilidad estructural.
- **Características de la Estructura:** En esta parte se anotan los datos como: año de construcción, número de pisos, dimensiones, instalaciones que poseen entre otros; estos datos son relevantes ya que describen la institución en su forma
- **Vulnerabilidad:** En esta parte se ingresan los datos de vulnerabilidad estructural que presenta la institución, lo cual muestra el estado de la edificación.
- **Sistema Estructural:** En esta parte se ingresan los datos sobre el sistema estructural de la edificación y las dimensiones de los elementos, estos datos son de vital importancia ya que son necesarios para la realización de la modelación estructural.
- **Rehabilitación:** En esta parte se ingresan los datos sobre las reformas que a tenido la edificación y una descripción breve de estas.
- **Evaluación de Daños:** En esta parte se ingresan los datos sobre los daños que presenta la edificación, lo cual es importante ya que ayuda al saber lo vulnerable de la edificación.

**7.1.3 Ejemplo ficha de caracterización.** A continuación, se muestra la Ficha de Caracterización de la Institución Educativa Juan Manuel González, en las demás instituciones se realizan lo mismo

y se entrega como anexo la ficha de caracterización de cada bloque de las diferentes instituciones educativas.

Imágen 1. Ejemplo hoja 1 de la ficha de caracterización

Fuente: Autores

FORMATO DE CAPTURA DE DATOS PARA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL			
Febrero-2011			
Fecha:	Hora:	Duración visita:	Clave:
Nombre del evaluador:		<input type="checkbox"/> Ingeniero o arquitecto <input type="checkbox"/> Estudiante Ing/Arq.	
INFORMACIÓN GENERAL DEL INMUEBLE			
Nombre del inmueble:			
Nombre del edificio/cuerpo/aérea: <small>(usar un formato por cada edificio/cuerpo/aérea)</small>		Coordenadas: ( _____ N, _____ O, _____ manm)	
Calle y número:		Código postal:	
Colonia/Barrio:		Localidad (pueblo/ciudad):	
Delegación/Municipio:		Estado:	
Referencias: <small>(entre calles "A" y "B", un alto notable, etc.)</small>			
Persona contactada/propietario:		Cargo o función:	
Teléfono: +( )		Fax:	
		Correo electrónico:	
USO <span style="float: right; font-size: small;">(Anotar % de área para cada uso, debe sumar 100%)</span>			
<b>1- Habitacional</b> <input type="checkbox"/> Vivienda Multifamiliar <input type="checkbox"/> Hotel <input type="checkbox"/> Dormitorio	<b>3- Educativo</b> <input type="checkbox"/> Preescolar <input type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Superior <input type="checkbox"/> Biblioteca <input type="checkbox"/> Museo	<b>5- Reunión</b> <input type="checkbox"/> Centro social <input type="checkbox"/> Templo religioso <input type="checkbox"/> Gimnasio <input type="checkbox"/> Salón baile/juego <input type="checkbox"/> Cine/Teatro/Auditorio <input type="checkbox"/> Estadio	<b>7- Comunicaciones y transportes</b> <input type="checkbox"/> Terminal de pasajeros <input type="checkbox"/> Terminal de carga <input type="checkbox"/> Estacionamiento <input type="checkbox"/> Aeropuerto/Puerto <input type="checkbox"/> Correo / Telégrafo / Teléfono <input type="checkbox"/> Radio / Televisión <input type="checkbox"/> Antena transmisora
<b>2- Oficinas / Comercio</b> <input type="checkbox"/> Oficinas <input type="checkbox"/> Tienda <input type="checkbox"/> Mercado <input type="checkbox"/> Restaurante	<b>4- Salud (Social)</b> <input type="checkbox"/> Hospital <input type="checkbox"/> Clínica <input type="checkbox"/> Asilo <input type="checkbox"/> Estancia infantil	<b>6- Industrial</b> <input type="checkbox"/> Fábrica <input type="checkbox"/> Taller <input type="checkbox"/> Bodega <input type="checkbox"/> Generac. eléctrica <input type="checkbox"/> De combustibles	<b>Estructura GRUPO:</b> <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B1 <input type="checkbox"/> B2 <input type="checkbox"/> C
Ocupación: <input type="checkbox"/> Habitada/en uso <input type="checkbox"/> Abandonada/desocupada <input type="checkbox"/> Desalojada por daños		Número de ocupantes o capacidad de personas: _____	
TERRENO Y CIMENTACIÓN			
<b>Topografía</b> <input type="checkbox"/> Planicie <input type="checkbox"/> Ladera de cerro <input type="checkbox"/> Rivera río/lago <input type="checkbox"/> Fondo de valle <input type="checkbox"/> Depósitos lacustres <input type="checkbox"/> Costa	<b>Tipo suelo</b> <input type="checkbox"/> Arcilla muy blanda <input type="checkbox"/> Limos o arcillas <input type="checkbox"/> Granular suelto <input type="checkbox"/> Granular compacto <input type="checkbox"/> Roca	<b>SUELO</b> <input type="checkbox"/> Blando <input type="checkbox"/> Transición <input type="checkbox"/> Firme	<b>Cim. Superficial</b> <input type="checkbox"/> Zapatas aisladas <input type="checkbox"/> Zapatas corridas <input type="checkbox"/> Cimiento de piedra <input type="checkbox"/> Losa <input type="checkbox"/> Cajón
Cimentación Profunda <input type="checkbox"/> Pilotes / pilas <input type="checkbox"/> Otro _____		Nivel freático: _____ m    Pendiente del terreno: _____ %    Distancia a río / lago / mar: _____ m	
CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA			
No. de niveles, n = _____ No. de sótanos: _____ <input type="checkbox"/> Apéndices en azotes (escaleras / elevador / cuarto azotes) <input type="checkbox"/> Mezanino (solo intermedia que no cubre toda la planta) <input type="checkbox"/> Piso a media altura (de los entrepisos tipo) <input type="checkbox"/> Escalera externa <input type="checkbox"/> Semisótano (primer sótano a medio nivel de calle)	Año de construcción: _____ Año rehabilitación: _____ Área del terreno: _____ m <sup>2</sup> Recarga acuíferos: _____ % Área de la planta tipo: _____ m <sup>2</sup>	Dimensiones Generales: X = Frente: _____ m Y = Fondo: _____ m Altura Planta baja: _____ m Altura entrepisos: _____ m No. cajones estacionamiento: _____ No. elevadores: _____ No. escaleras independientes: _____	
<b>Inclusiónes</b> <input type="checkbox"/> Elevador <input type="checkbox"/> Eléctrica <input type="checkbox"/> Agua potable <input type="checkbox"/> Alcanterillado <input type="checkbox"/> Gas <input type="checkbox"/> Otra: _____			

Imágen 2. Ejemplo hoja 2 de la ficha de caracterización

Fuente: Autores

VULNERABILIDAD																																																																							
Posición en manzana: <input type="checkbox"/> Esquina <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Aislado																																																																							
<b>Irregularidad en planta</b> <input type="checkbox"/> Asimétrico (efectos de torsión) <input type="checkbox"/> Aberturas en planta > 20 % (Área o longitud) <input type="checkbox"/> Longitud entranter/salientes > 20 % <input type="checkbox"/> En "L" u otra geometría irregular	<b>Irregularidad en elevación</b> <input type="checkbox"/> Planta baja flexible <input type="checkbox"/> Marcos o muros no llegan a la cimentación <input type="checkbox"/> Columnas cortas <input type="checkbox"/> Reducción de la planta en pisos superiores <input type="checkbox"/> Apoyos a diferente nivel (adidas) <input type="checkbox"/> Sistemas de entrepiso inclinados <input type="checkbox"/> Grandes masas en pisos superiores <input type="checkbox"/> Arreglo irregular de ventanas en fachada																																																																						
<b>Otras fuentes de vulnerabilidad</b> <input type="checkbox"/> Conexión excéntrica trabe-columna <input type="checkbox"/> Péndulo invertido/una sola hilera de columnas <input type="checkbox"/> Un elemento resiste más del 35% del sismo <input type="checkbox"/> Columna débil-viga fuerte	<b>Edificio vecino crítico</b> No. de pisos: _____ Separación: _____ cm Uso no.: _____ <input type="checkbox"/> Marcos <input type="checkbox"/> Sin daño <input type="checkbox"/> Muros <input type="checkbox"/> Daño medio <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Daño severo <input type="checkbox"/> Pisos a diferente altura																																																																						
SISTEMA ESTRUCTURAL																																																																							
<b>Material en muros</b> <input type="checkbox"/> Concreto reforzado <input type="checkbox"/> Concreto prefabricado <input type="checkbox"/> Tabicón de concreto (macizo) <input type="checkbox"/> Bloque de concreto (20x40 cm) <input type="checkbox"/> Ladrillo de barro macizo <input type="checkbox"/> Tabique de arcilla hueco <input type="checkbox"/> Paneles con capa de mortero <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Piedra <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Bahareque (ramas/fofo) <input type="checkbox"/> Material precario (débil: lámina/cartón/desecho) Otro: _____	<b>Sección de elementos predominantes</b> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: left; font-size: small;">Forma</th> <th style="font-size: x-small;">Rectangular</th> <th style="font-size: x-small;">Circular</th> <th style="font-size: x-small;">Tubo circular</th> <th style="font-size: x-small;">Secc H / I</th> <th style="font-size: x-small;">Cajón</th> <th style="font-size: x-small;">Secc L</th> <th style="font-size: x-small;">Armadura</th> <th style="font-size: x-small;">Material</th> <th style="font-size: x-small;">Concreto</th> <th style="font-size: x-small;">Acero</th> <th style="font-size: x-small;">Prefabricado</th> <th style="font-size: x-small;">Madera</th> <th style="font-size: x-small;">Sección</th> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Columnas</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td>_____</td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Trabes Principales</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td>_____</td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Trabes Secundarias</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td>_____</td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">Diagonales</td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td>_____</td> </tr> </table> <div style="font-size: x-small; margin-top: 5px;">                         Ejemplo: <math>b \times h</math>    <math>\varnothing = D</math>    <math>d</math>    <math>h</math>    <math>b</math>    <math>h</math>    <math>b</math>    <math>2L_{bxt}</math> </div>	Forma	Rectangular	Circular	Tubo circular	Secc H / I	Cajón	Secc L	Armadura	Material	Concreto	Acero	Prefabricado	Madera	Sección	Columnas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	Trabes Principales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	Trabes Secundarias	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	Diagonales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Forma	Rectangular	Circular	Tubo circular	Secc H / I	Cajón	Secc L	Armadura	Material	Concreto	Acero	Prefabricado	Madera	Sección																																																										
Columnas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____																																																										
Trabes Principales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____																																																										
Trabes Secundarias	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____																																																										
Diagonales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____																																																										
<b>Refuerzo en la mampostería</b> <input type="checkbox"/> Sin refuerzo <input type="checkbox"/> Mampostería confinada <input type="checkbox"/> Mampostería mal confinada (sin refuerzo en puertas/ventanas) <input type="checkbox"/> Con refuerzo interior Otro: _____	<b>ESTRUCTURA PRINCIPAL VERTICAL</b> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Planta Baja</th> <th colspan="2">Niveles Tipo</th> <th rowspan="2">Sótano</th> <th rowspan="2">Apendices</th> <th rowspan="2">Cubos (escaleras / elevador)</th> </tr> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>X</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Marcos</b></td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Contrav</b></td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Muros</b></td> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>		Planta Baja		Niveles Tipo		Sótano	Apendices	Cubos (escaleras / elevador)	X	Y	X	Y	<b>Marcos</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>Contrav</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>Muros</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																		
	Planta Baja		Niveles Tipo		Sótano	Apendices				Cubos (escaleras / elevador)																																																													
	X	Y	X	Y																																																																			
<b>Marcos</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																
<b>Contrav</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																
<b>Muros</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																																
<b>Marcos en el entrepiso representativo</b> Número de marcos paralelos: a X: _____ a Y: _____ Claro promedio: X = _____ m Y = _____ m Número total de columnas: _____ (en todo el entrepiso) No. crujeas con contraviento: en X: _____ en Y: _____ No. crujeas con muro diafragma: en X: _____ en Y: _____	<b>SISTEMA DE PISO / TECHO</b> <b>Sistema de piso</b> <input type="checkbox"/> Losa apoyada en trabes <input type="checkbox"/> Losa plana (sin trabes) <input type="checkbox"/> Vigas y piso de madera <input type="checkbox"/> Vigas y enladrillado (bóveda catalana) <input type="checkbox"/> Vigas, largueros y cubierta <input type="checkbox"/> Armaduras y cubierta <input type="checkbox"/> Armaduras 3D <input type="checkbox"/> Arcos de mampostería Distancia a ejes de: Trabes secundarias: _____ cm Vigas, viguetas o nervaduras: _____ cm Largueros: _____ cm																																																																						
<b>Muros en el entrepiso representativo</b> Suma de longitudes de muros y espesor (t): De concreto: $\Sigma L_x =$ _____ m, $\Sigma L_y =$ _____ m, $t =$ _____ cm De mampostería: $\Sigma L_x =$ _____ m, $\Sigma L_y =$ _____ m, $t =$ _____ cm	<b>Losa de concreto</b> <input type="checkbox"/> Maciza <input type="checkbox"/> Aligerada (reticular) <input type="checkbox"/> Prefabricada de concreto <input type="checkbox"/> Viguetas y bovedilla <input type="checkbox"/> Lámina acanalada con capa de concreto (Losa-acero) Espesor total: _____ cm Capa compresión: _____ cm <b>Armaduras</b> <input type="checkbox"/> De acero <input type="checkbox"/> De madera <input type="checkbox"/> Peralte variable Claro: _____ m, Peralte: _____ m Separación armaduras: _____ m Sección cuerdas: _____ Secc. diagonales: _____ <b>Forma de la cubierta</b> <input type="checkbox"/> Techo plano horizontal <input type="checkbox"/> Inclinado pendiente: _____ % <input type="checkbox"/> Bóveda cilíndrica $\varnothing =$ _____ m <input type="checkbox"/> Cúpula $\varnothing =$ _____ m Tipo de anclaje y separación: _____																																																																						
Planos: <input type="checkbox"/> Arquitectónico <input type="checkbox"/> Estructural <input type="checkbox"/> Memoria de cálculo <input type="checkbox"/> Autoconstrucción (sin cálculo) Especificar: _____																																																																							
REHABILITACIÓN																																																																							
<b>Tipo</b> <input type="checkbox"/> Arquitectónicas <input type="checkbox"/> Reparación estruct. <input type="checkbox"/> Refuerzo <input type="checkbox"/> Reestructuración <b>Técnicas empleadas</b> <input type="checkbox"/> Recimentación <input type="checkbox"/> Encamisado concreto <input type="checkbox"/> Encamisado acero <input type="checkbox"/> Muros: malla y mortero <input type="checkbox"/> Contraventeo <input type="checkbox"/> Adición de muros concreto <input type="checkbox"/> Adición muros mampostería <input type="checkbox"/> Contrafuertes externos <input type="checkbox"/> Fibra carbono / sintéticos <input type="checkbox"/> Otro	Descripción breve: _____																																																																						

Imágen 3. Ejemplo hoja 3 de la ficha de caracterización

Fuente: Autores

EVALUACIÓN DE DAÑOS																																																			
<b>Problemas geotécnicos</b> <input type="checkbox"/> Grietas en el terreno circundante <input type="checkbox"/> Hundimientos diferenciales <input type="checkbox"/> Deslizamiento de ladera <input type="checkbox"/> Socavación o Erosión		<input type="checkbox"/> Licuación de arenas <input type="checkbox"/> Hundimiento (-) o emersión (+) general = _____ cm <input type="checkbox"/> Inclínación del edificio: _____ %		<b>Estructura</b> <input type="checkbox"/> Colapso total		<b>Colapso parcial</b> <input type="checkbox"/> Techo <input type="checkbox"/> Planta baja <input type="checkbox"/> Piso intermedio <input type="checkbox"/> Sección del edificio _____ % <input type="checkbox"/> Choque con edificio vecino																																													
Daños máximos observables <span style="float: right;">Anotar la clave de entrepiso (N1, N2, ..., S1-J)</span>																																																			
<b>Tipo de daño y características</b> 1- Colapso / daño generalizado 2- Grietas inclinadas (por cortante) 3- Grietas normales al eje (por flexión) 4- Aplastamiento concr. y barras expuestas 5- Fractura refuerzo longitudinal 6- Fractura refuerzo transversal o estribos 7- Pandeo de barras a compresión 8- Pandeo de placas 9- Pandeo global o inestabilidad 10- Falla de soldadura 11- Falla de conectores (tornillos/remaches) 12- Corrosión del acero Armado del elemento (de concreto) Distancia entre estribos / alisadores Sección del elemento Ejemplos de datos que se pueden recabar:		<b>Columnas</b>  _____ mm _____ mm _____ cm $b \times h / \emptyset$	<b>Trabes</b>  _____ mm _____ mm _____ cm $b \times h / d \times b_t / t_t$	<b>Muros</b> mampostería  _____ mm _____ mm _____ cm $t, h \times b_c$	de concreto  _____ mm _____ mm _____ cm $t$	<b>Contraviento</b>  _____ mm _____ mm _____ cm $b \times h / d \times b_t / t_t$	<b>Conexiones</b>  _____ mm _____ mm _____ cm $b \times h$																																												
<b>Sistema de piso / techo</b> <input type="checkbox"/> Colapso Grietas: <input type="checkbox"/> alrededor de columnas al centro del claro <input type="checkbox"/> en las esquinas del tablero anchura máxima: _____ mm		<b>Porcentaje de elementos dañados en el entrepiso crítico</b> <table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Grave</th> <th>Medio</th> <th>Clave de entrepiso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Columnas</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Trabes</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Muros concreto X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Muros concreto Y</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Muros mampostería X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Muros mampostería Y</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Contravientos</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Conexiones</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Grave	Medio	Clave de entrepiso	Columnas				Trabes				Muros concreto X				Muros concreto Y				Muros mampostería X				Muros mampostería Y				Contravientos				Conexiones				<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Daño grave</th> <th>Medio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Columnas, trabes, muros de concreto</td> <td>Colapso Grietas por cortante &gt; 2 mm Grietas por flexión &gt; 5 mm Pandeo general Pandeo de placas Pandeo o fractura del refuerzo</td> <td>&gt; 1 mm &gt; 2 mm</td> </tr> <tr> <td>Muros mampostería</td> <td>Grietas por cortante &gt; 5 mm G. Inclinada en castillo &gt; 1 mm</td> <td>&gt; 2 mm ---</td> </tr> </tbody> </table>			Daño grave	Medio	Columnas, trabes, muros de concreto	Colapso Grietas por cortante > 2 mm Grietas por flexión > 5 mm Pandeo general Pandeo de placas Pandeo o fractura del refuerzo	> 1 mm > 2 mm	Muros mampostería	Grietas por cortante > 5 mm G. Inclinada en castillo > 1 mm	> 2 mm ---
	Grave	Medio	Clave de entrepiso																																																
Columnas																																																			
Trabes																																																			
Muros concreto X																																																			
Muros concreto Y																																																			
Muros mampostería X																																																			
Muros mampostería Y																																																			
Contravientos																																																			
Conexiones																																																			
	Daño grave	Medio																																																	
Columnas, trabes, muros de concreto	Colapso Grietas por cortante > 2 mm Grietas por flexión > 5 mm Pandeo general Pandeo de placas Pandeo o fractura del refuerzo	> 1 mm > 2 mm																																																	
Muros mampostería	Grietas por cortante > 5 mm G. Inclinada en castillo > 1 mm	> 2 mm ---																																																	
DAÑOS EN OTROS ELEMENTOS																																																			
<b>Exteriores</b> <input type="checkbox"/> Vidrios <input type="checkbox"/> Torres de anuncios <input type="checkbox"/> Acabados <input type="checkbox"/> Fachadas <input type="checkbox"/> Balcones		<input type="checkbox"/> Perfiles <input type="checkbox"/> Tanques elevados <input type="checkbox"/> Bardas <input type="checkbox"/> Otros:		<b>Interiores</b> <input type="checkbox"/> Muros divisorios o particiones <input type="checkbox"/> Cielos rasos/plafones <input type="checkbox"/> Lámparas <input type="checkbox"/> Escaleras		<input type="checkbox"/> Elevadores <input type="checkbox"/> Instalaciones (Gas, Eléctrica, etc.) <input type="checkbox"/> Derrames tóxicos																																													
CROQUIS DEL INMUEBLE																																																			
(Marcar el Norte)																																																			

### 7.1.4 Resultado fichas de caracterización

En la siguiente tabla se muestran los resultados más relevantes de las fichas de caracterización a los 3 planteles educativos.

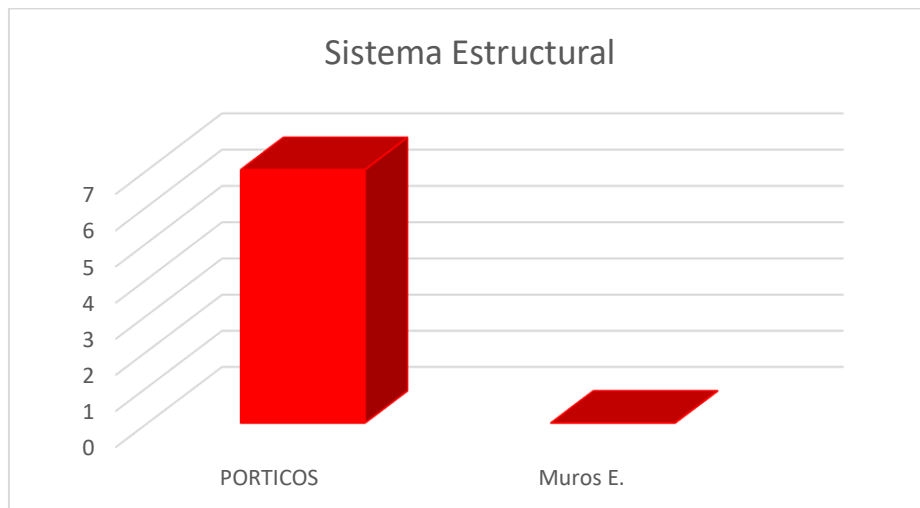
Tabla 4. Resultados formato de caracterización.

Fuente: Autores

Institución Educativa	Bloques	Sistema Estructural		Posee Columna		Posee Vigas		Posee Planos		Posee Irregularidad		# de Pisos	
		Pórtico	Muros E.	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	1 Piso	2 piso
Colegio empresarial	4	4	0	4	0	4	0	4	0	0	4	0	4
Pablo Sexto	2	2	0	2	0	2	0	2	0	0	2	0	2
Juan Manuel González	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>7</b>

Gráfico 1. Sistema estructural

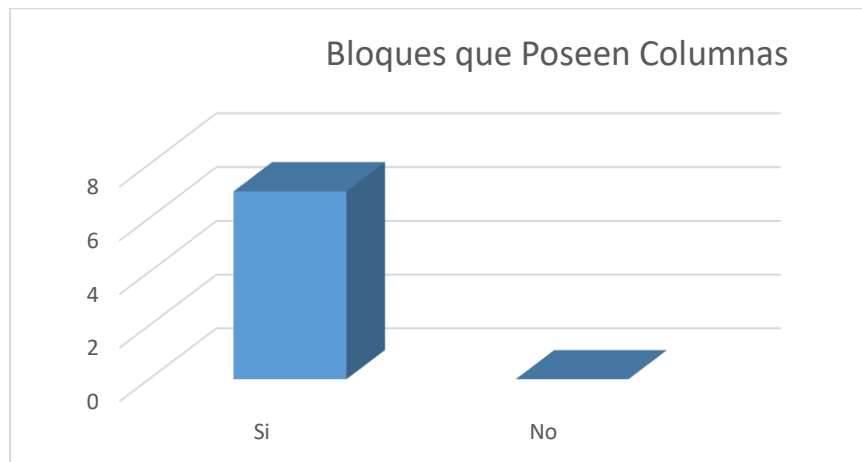
Fuente: Autores



En el gráfico 1 se puede analizar que el 100% (7) de los bloques tiene como sistema estructural pórticos, este dato es relevante ya que es uno de los sistemas estructurales con mayor cumplimiento a los requisitos mínimos de la norma NRS-10.

Gráfico 2. Edificaciones con columnas

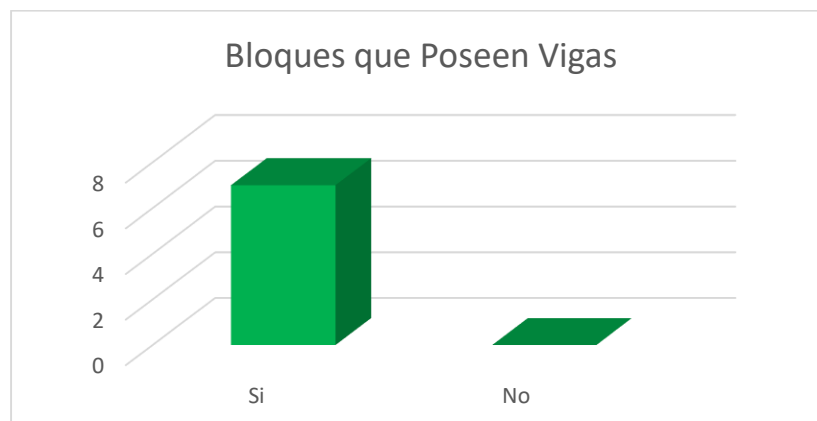
Fuente: Autores



En el gráfico 2 se puede analizar que el 100% (7) de los bloques posee columnas, ya que las columnas son sistemas de confinamiento diseñados para la resistencia de la estructura ante un sismo y de que este elemento exista o no da una idea de la vulnerabilidad de la edificación.

Gráfico 3. Edificaciones con vigas

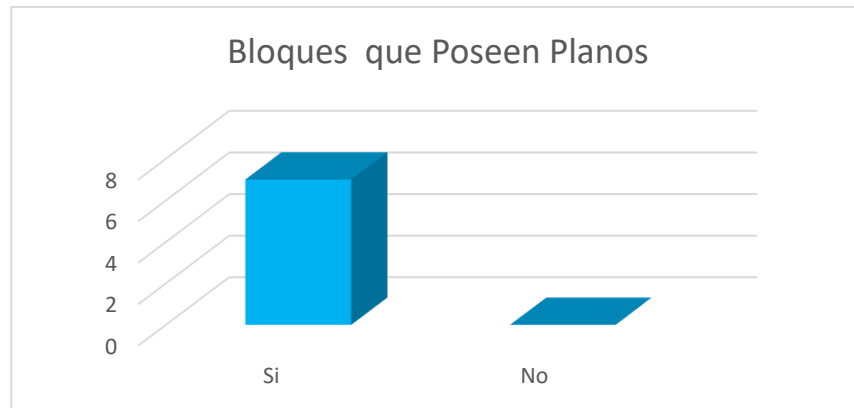
Fuente: Autores



En el gráfico 3 se puede analizar que el 100% (7) de los bloques posee vigas, ya que al igual que las columnas las vigas son sistemas de confinamiento diseñados para la resistencia de la estructura ante un sismo y de que este elemento exista o no da una idea de la vulnerabilidad de la edificación.

Gráfico 4. Edificaciones con planos

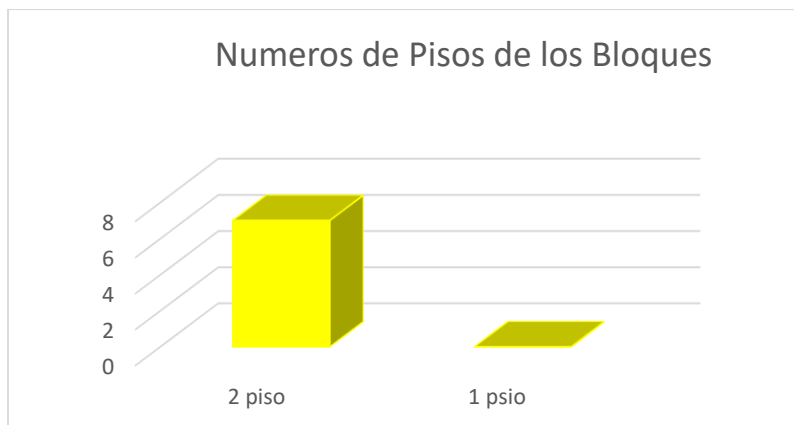
Fuente: Autores



En el gráfico 4 se puede analizar que el 100% (7) de los bloques si existen planos físicos lo cual fue de mucha ayuda para identificar el sistema estructural empleado de igual manera se realizaron unos nuevos planos actualizados para la facilitar la modelación de las estructuras.

Gráfico 5. Edificaciones de uno o más pisos

Fuente: Autores

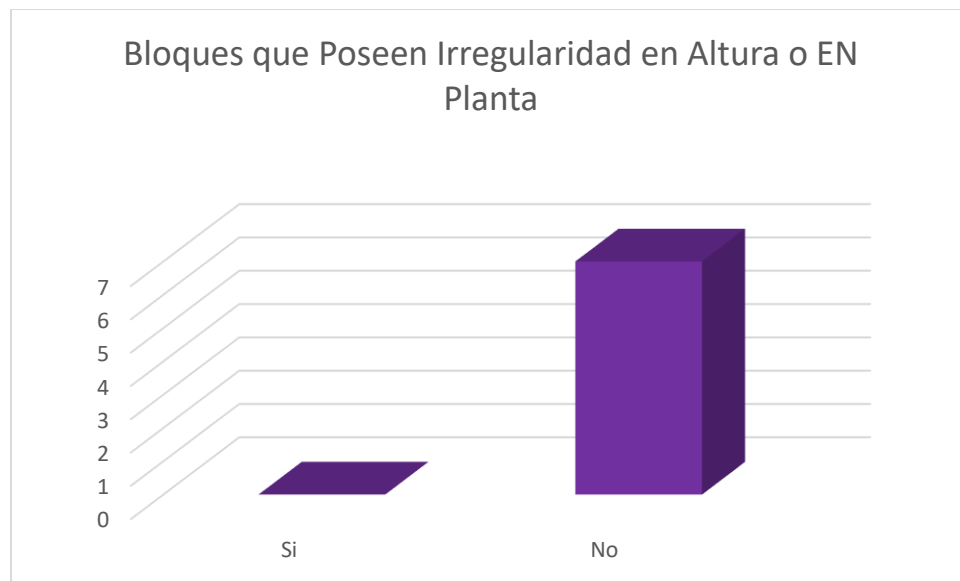




En el gráfico 5 se puede analizar que el 100% (7) de los bloques a estudio son estructuras de 2 pisos por lo tanto su análisis se debe realizar por medio del programa ETABS.

Gráfico 6. Irregularidades

Fuente: Autores



En el gráfico 6 se puede analizar que el 100% (7) de los bloques no posee ninguna irregularidad; esta información es de gran importancia ya que las estructuras o bloques que poseen una irregularidad sufren más daños en el momento en que se presenta un sismo y esto hace que sean más vulnerables.

## 7.2 Información estructural

### 7.2.1 Importancia de los planos en la modelación estructural

Los planos son detalles de los elementos y de la conformación que tiene una estructura esto aplicado a la modelación estructural tiene las siguientes importancias:

- Muestra los detalles de las secciones de los elementos de una estructura.

- Da los detalles de las diferentes dimensiones en planta de la estructura o bloque.
- Los diferentes programas de modelación estructural trabajan con los detalles en planta de una edificación.
- Muestras las diferentes dimensiones de la estructural en perfil.
- La base de la modelación estructural es el diseño arquitectónico o estructural de una edificación.

### **7.2.2 Descripción de la actividad realizada**

En base al contar con los planos de solo algunas de las instituciones educativas se procede a trabajar de la siguiente manera:

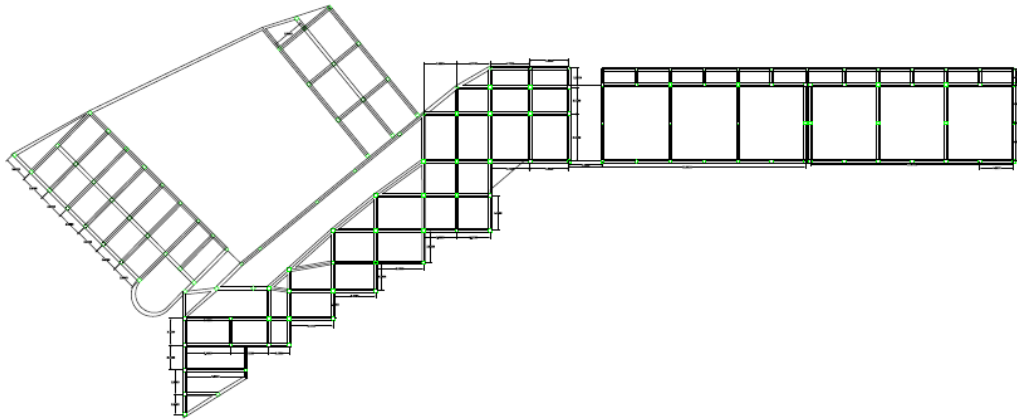
- Se realizan las mediciones de cada uno de los diferentes bloques de las instituciones educativas y estos datos se delinear en un block de dibujo.
- Se procede a llevar estos datos al programa AutoCAD.
- Se organizan detalles finales tratando de que los datos insertados al programa se han lo más cercanos posible a los datos tomados en campo.
- Se crea una mancheta para los diferentes planos

### **7.2.3 Levantamiento de planos**

Se muestran los planos de los planteles educativos Institución Educativa Empresarial, Institución Educativa Juan Manuel González, Institución Educativa Pablo Sexto.

Imágen 4. Plano Institución Educativa Empresarial

Fuente: Autores



Imágen 5. Plano Institución Educativa Pablo Sexto

Fuente: Autores

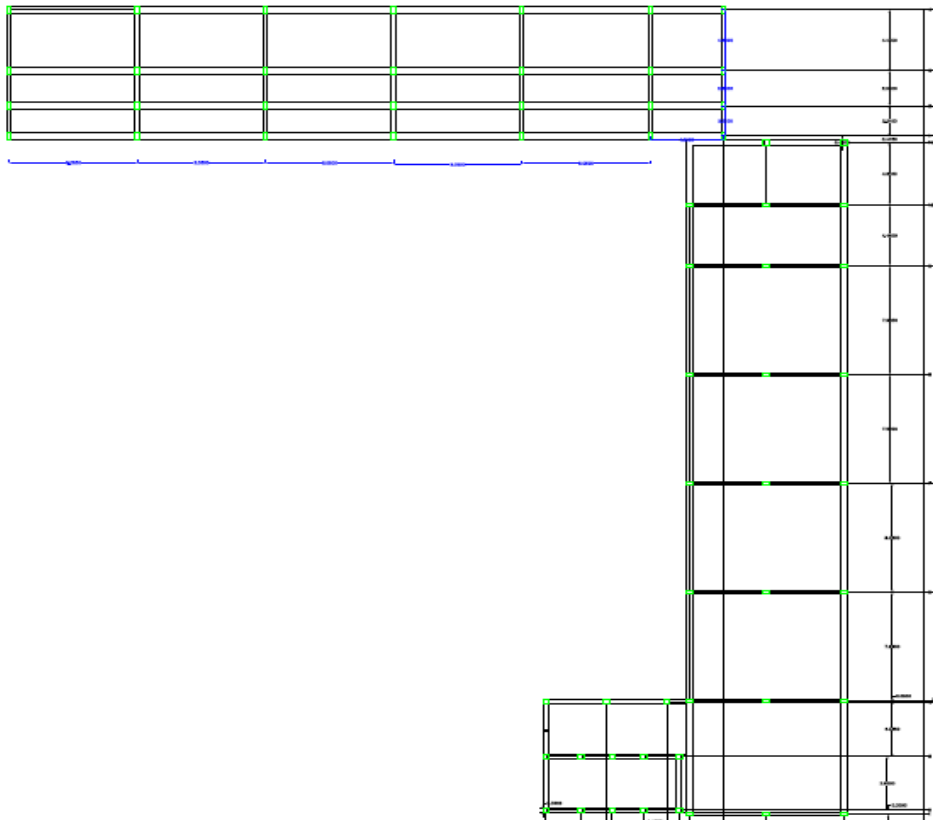
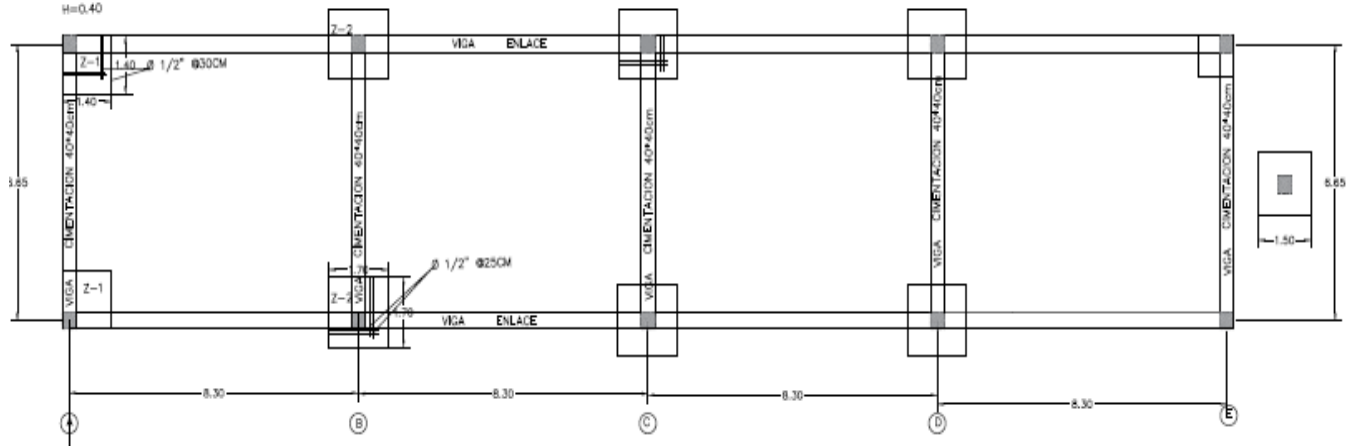


Imagen 6. Plano Institución Educativa Juan Manuel González

Fuente: Autores



7.2.4 Resultados planos

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos durante la recolección de información acerca de los planos y levantamiento de estos.

Tabla 5. Instituciones con soporte de planos.

Fuente: Autores

Plantel Educativo	Posee Planos			Suelos		Levantamientos de Planos
	Estructurales	Arquitectónicos	Otros	Cimentación	Estudio de Suelos	
Institución Educativa Empresarial	Si	No	No	No	No	Si
Institución Educativa Pablo Sexto	No	No	No	No	No	Si

Institución	Si	No	No	No	No	Si
Educativa						
Juan						
Manuel						
González						

### 7.3 Modelación estructural

La modelación estructural se dividirá por bloques de dos pisos y a su vez por el sistema estructural al que pertenecen ya sea pórticos o muros estructurales.

Las Estructuras o bloques de 2 pisos se realizará la modelación pertinente en el software ETABBS comparando los índices de sobre esfuerzo y la deriva con lo indicado en la NSR-10 para estas.

Se entregará como anexo el chequeo norma y la modelación estructural en medio magnético, mirar Modelación Estructural.

#### 7.3.1 Estructuras de 2 pisos

Como se observa en el grafico 6 el 100% (7) de los bloques son estructuras de dos pisos y de estos el 100% (7) de los bloques pertenecen al sistema estructural Pórticos.

Se dividen los bloques de dos pisos de acuerdo al sistema estructural ya que la modelación para cada sistema es muy diferente comparándola con el otro sistema.

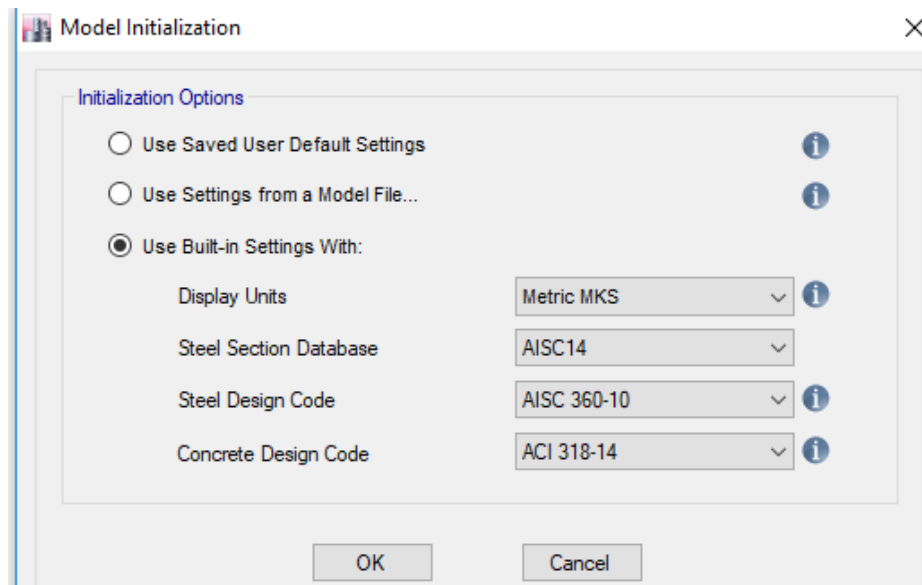
#### 7.3.2 Procedimientos modelación estructural

Procedimiento para elaborar la modelación estructural de los planteles educativos, como ejemplo se presenta la modelación de la institución Juan Manuel González.

- a. Se crea un nuevo modelo y se le agregan el sistema métrico, las dimensiones y características del bloque.

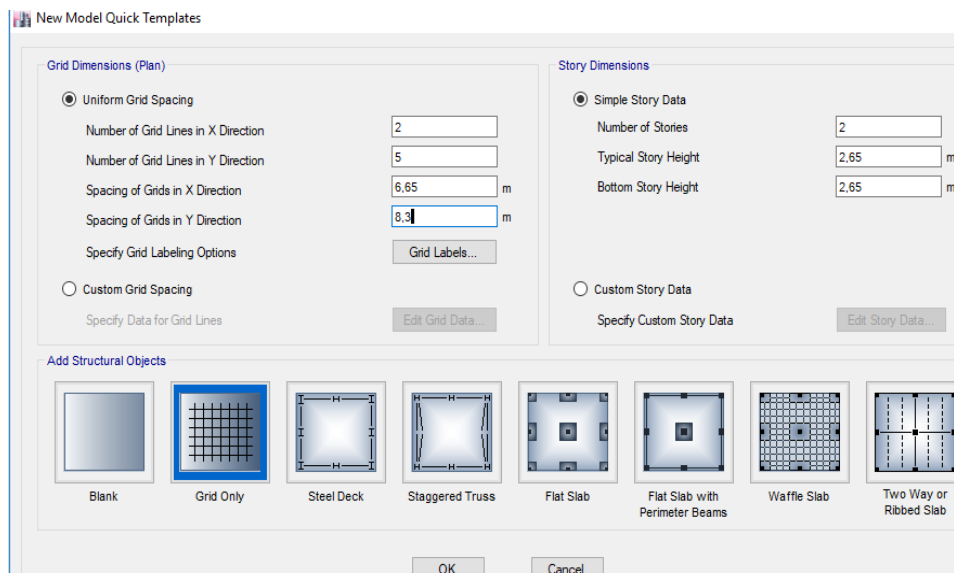
Imágen 7. Datos del Sistema Métrico

Fuente: Autores



Imágen 8. Datos del bloque

Fuente: Autores



- b. Se define el material con que se va a trabajar, suministrados en los planos estructurales concreto de 21 MPa.

Imágen 9. Concreto de 21 MPa

Fuente: Autores

The image shows a software dialog box titled "Material Property Data" for a material named "Concreto 210". The dialog is organized into several sections:

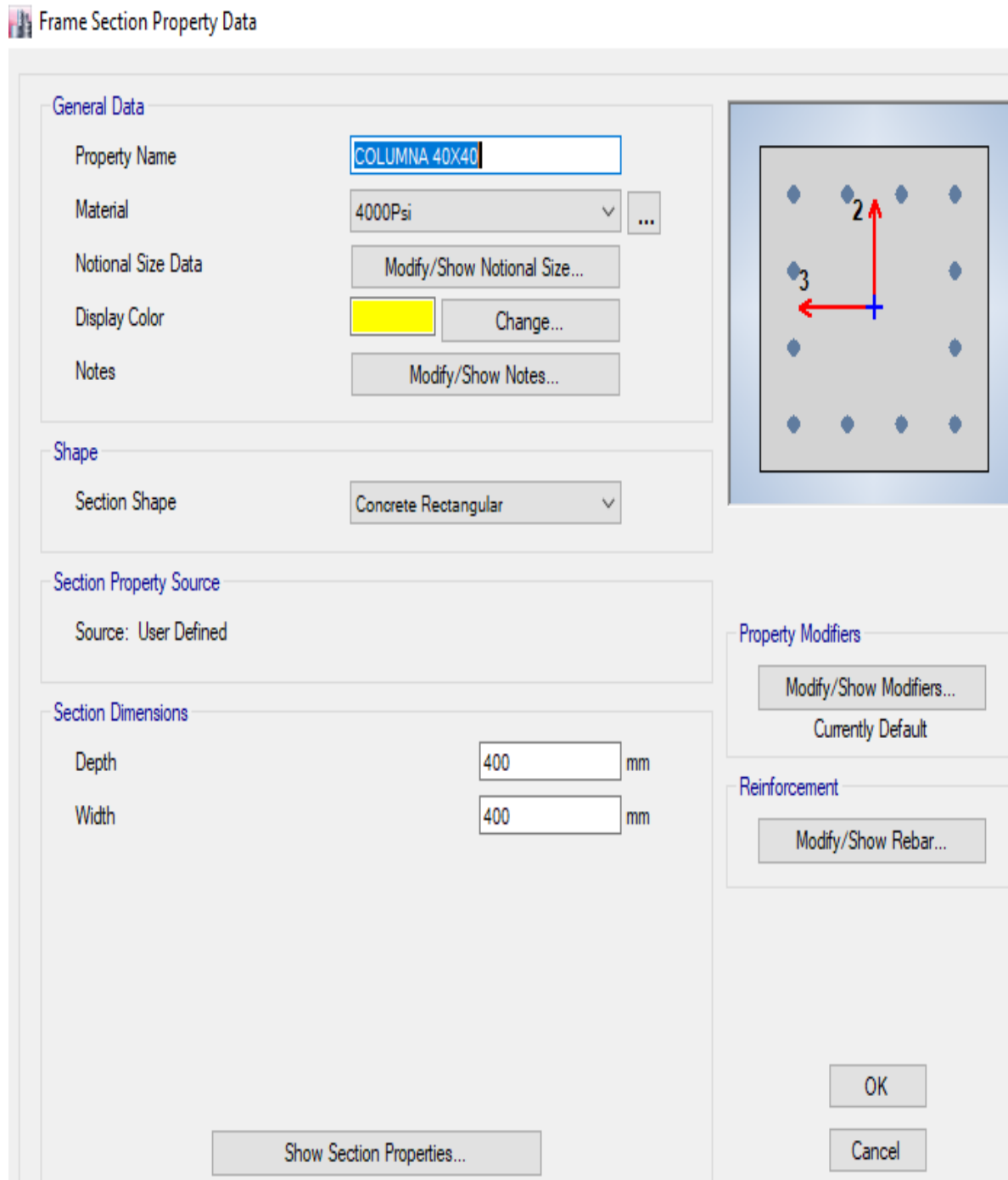
- General Data:** Includes fields for Material Name (Concreto 210), Material Type (Concrete), Directional Symmetry Type (Isotropic), Material Display Color (with a "Change..." button), and Material Notes (with a "Modify/Show Notes..." button).
- Material Weight and Mass:** Features two radio buttons: "Specify Weight Density" (selected) and "Specify Mass Density". Below are input fields for "Weight per Unit Volume" (2402,77 kgf/m<sup>3</sup>) and "Mass per Unit Volume" (245,014 kgf-s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>).
- Mechanical Property Data:** Contains input fields for "Modulus of Elasticity, E" (238751963,34 kgf/m<sup>2</sup>), "Poisson's Ratio, U" (0,2), "Coefficient of Thermal Expansion, A" (0,0000099 1/C), and "Shear Modulus, G" (99479984,73 kgf/m<sup>2</sup>).
- Design Property Data:** Includes a "Modify/Show Material Property Design Data..." button.
- Advanced Material Property Data:** Includes buttons for "Nonlinear Material Data...", "Material Damping Properties...", and "Time Dependent Properties...".

At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

c. Definición de las columnas que lleva el bloque

Imágen 10. Columna del bloque

Fuente: Autores



d. Definición de vigas y viguetas del bloque



# Imágen 11. Viga 40x50

Fuente: Autores

Frame Section Property Data

**General Data**

Property Name:

Material:  ...

Notional Size Data:

Display Color:

Notes:

**Shape**

Section Shape:

**Section Property Source**

Source: User Defined

**Section Dimensions**

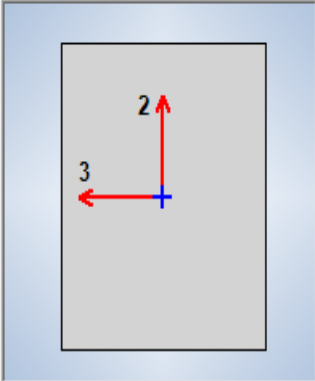
Depth:  mm

Width:  mm

**Property Modifiers**

Currently Default

**Reinforcement**



## Imágen 12. Vigueta 12x50

Fuente: Autores

Frame Section Property Data

**General Data**

Property Name:

Material:  ...

Notional Size Data:

Display Color:

Notes:

**Shape**

Section Shape:

**Section Property Source**

Source: User Defined

**Section Dimensions**

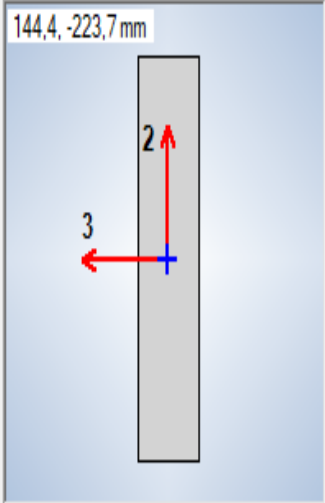
Depth:  mm

Width:  mm

**Property Modifiers**

Currently Default

**Reinforcement**



e. Definición de losa Aligerada suministrada en planos estructurales

Imágen 13. Losa aligerada

Fuente: Autores

**Slab Property Data**

**General Data**

Property Name	<input type="text" value="-ALIGERADA .50"/>
Slab Material	CONCRETO 210
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Modeling Type	Shell-Thin
Modifiers (Currently Default)	Modify/Show...
Display Color	<input type="color" value="#FF00FF"/> Change...
Property Notes	Modify/Show...

**Property Data**

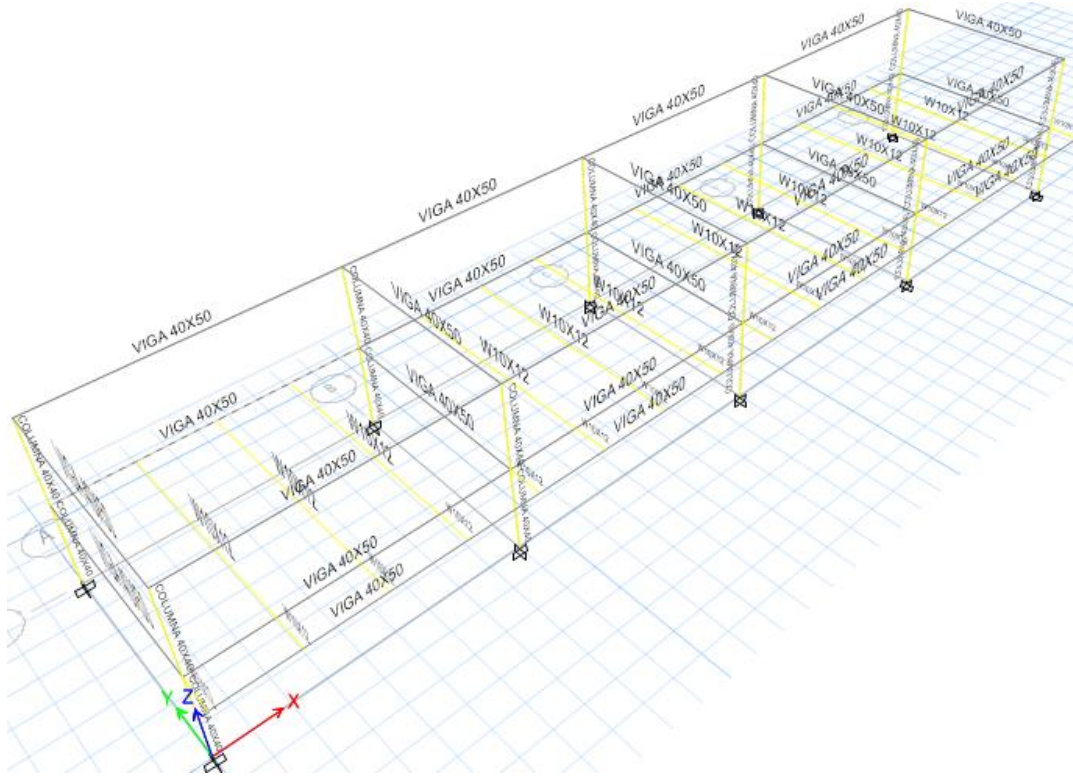
Type	Slab
Thickness	<input type="text" value="50"/> mm

OK Cancel

Se introducen los elementos del modelo

Imágen 14. Modelo

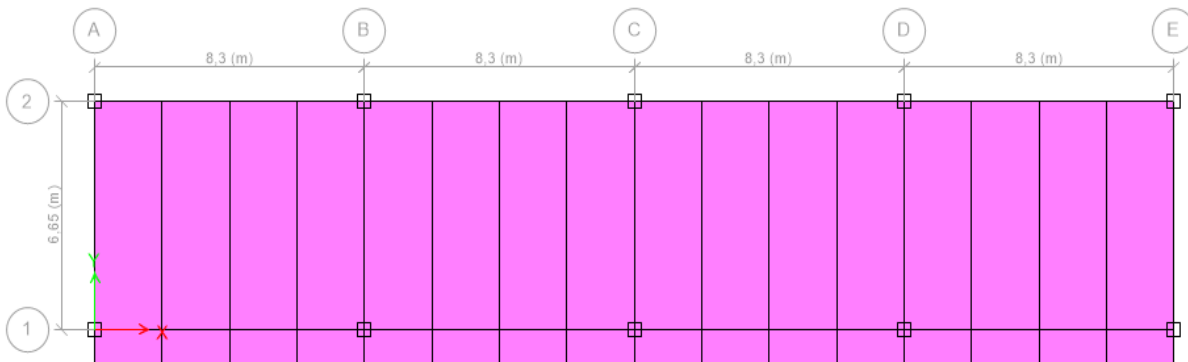
Fuente: Autores



f. Se ingresa la losa

Imágen 15. Losa aligerada

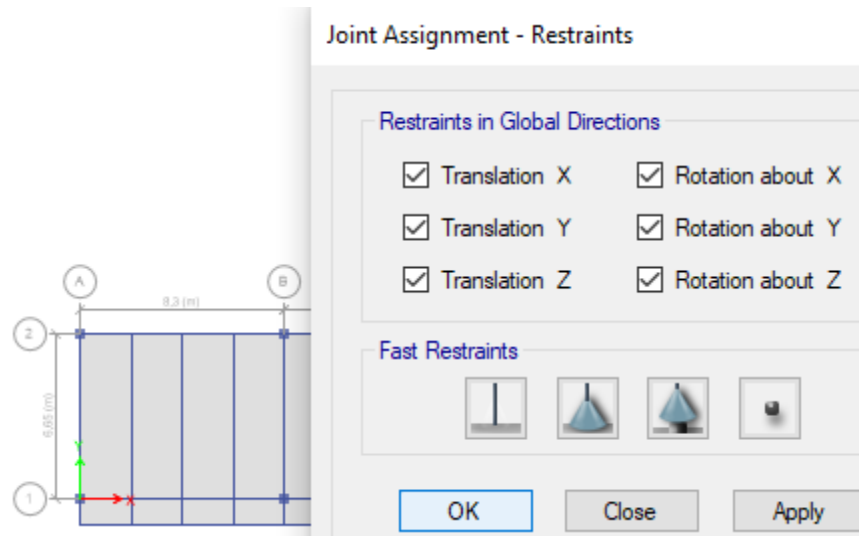
Fuente: Autores



g. Se asignan los apoyos a la estructura

Imágen 16. Apoyos estructurales

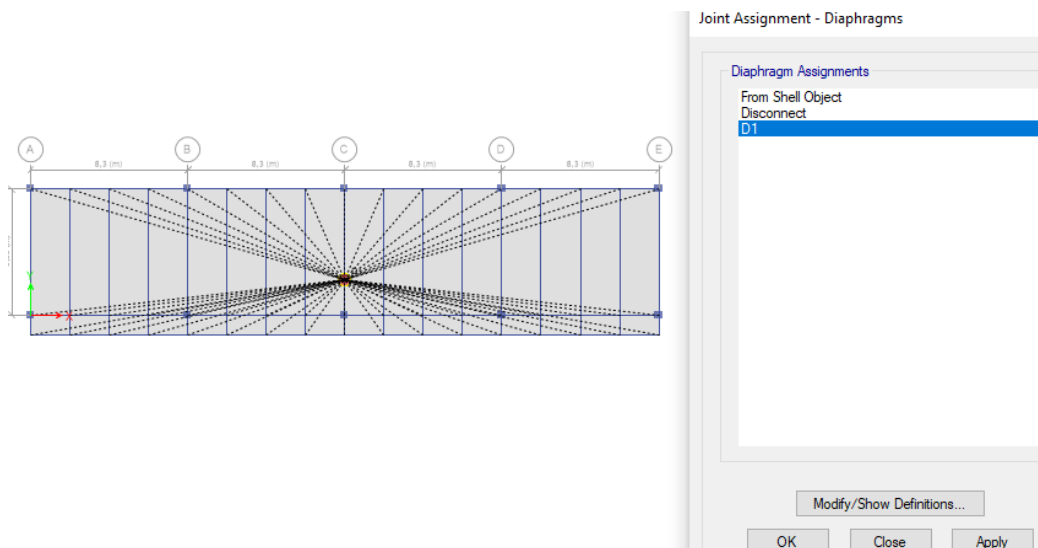
Fuente: Autores



h. Se asigna los diafragmas

Imágen 17. Diafragma

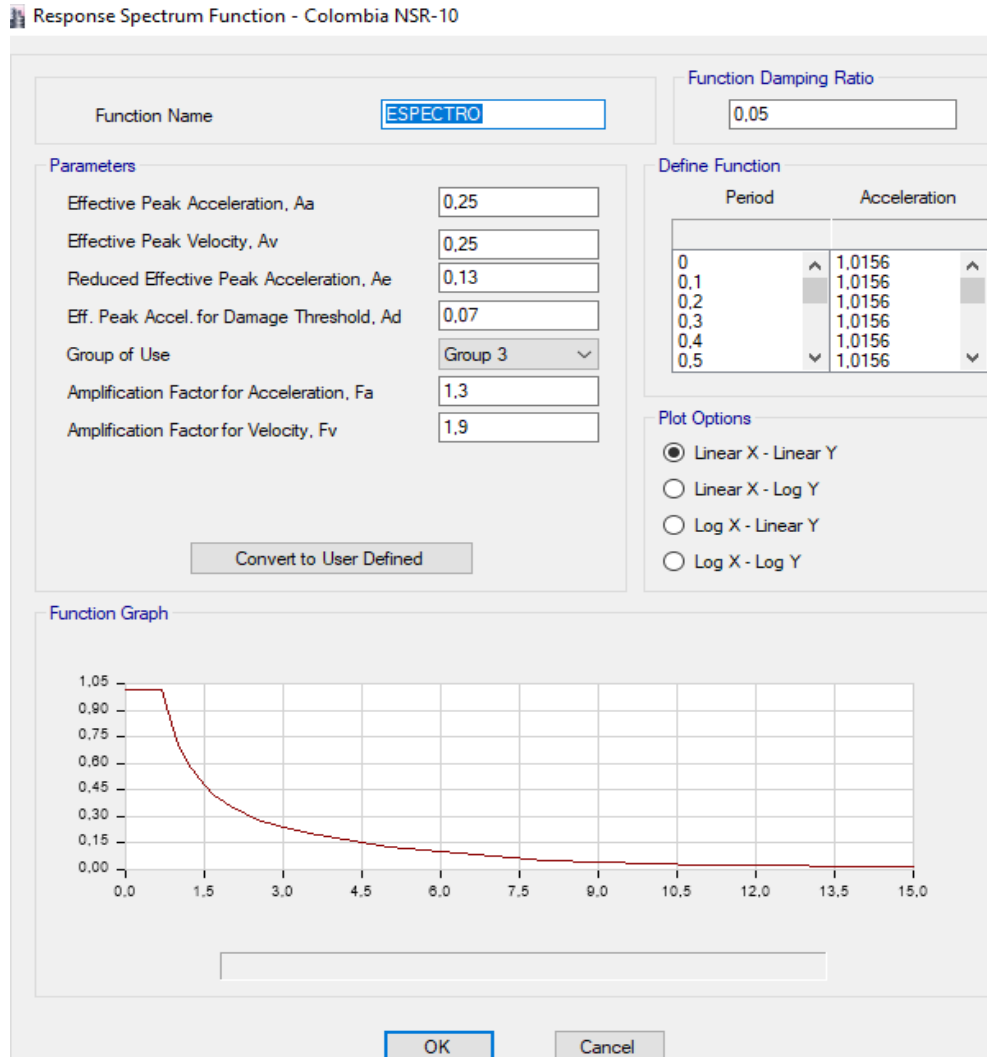
Fuente: Autores



- i. Se agrega el espectro de diseño

Imágen 18. Espectro de diseño

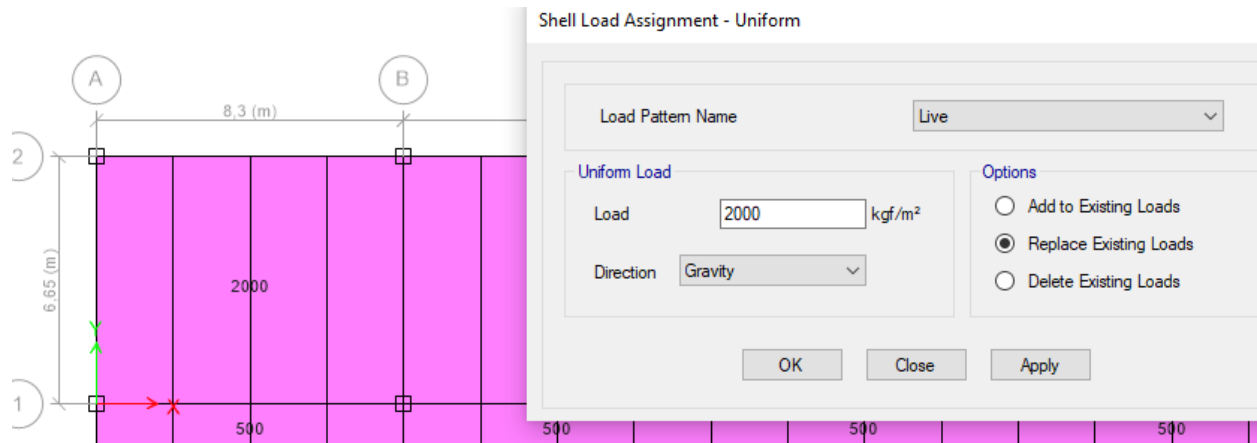
Fuente: Autores



j. Asignación de cargas

Imágen 19. Asignación de cargas

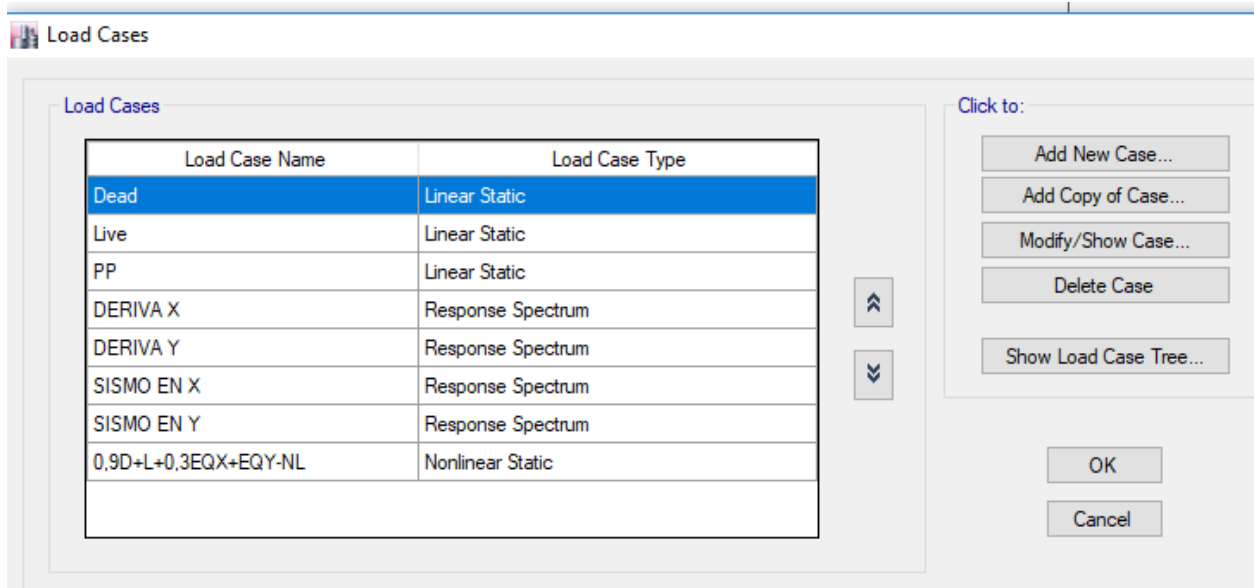
Fuente: Autores



k. Asignación de los diferentes casos de cargas para el bloque

Imágen 20. Casos de cargas

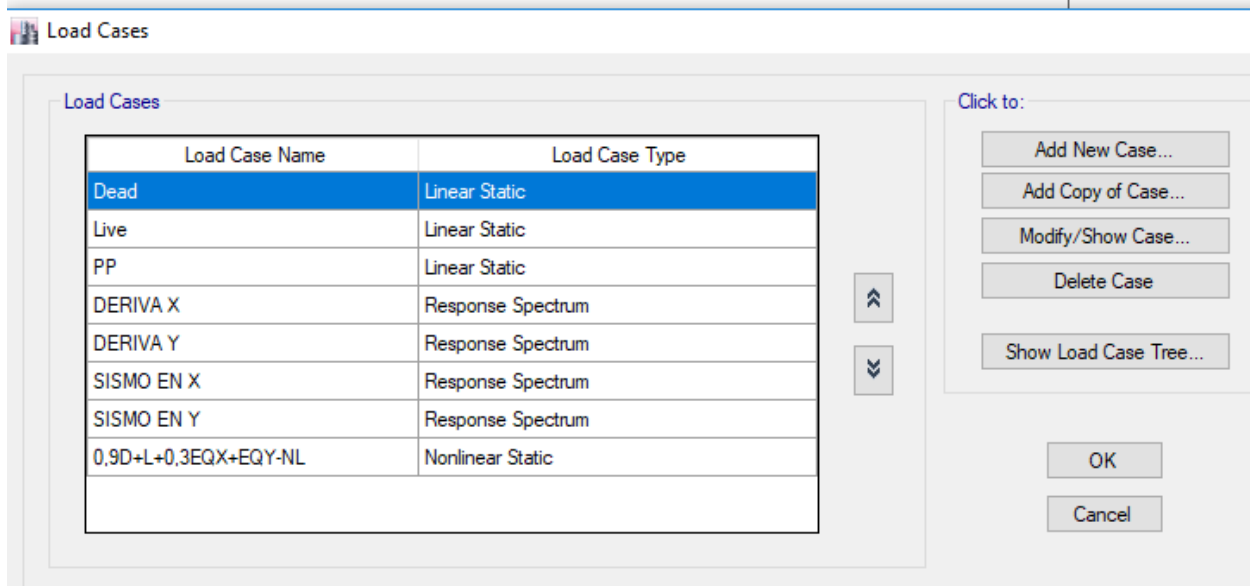
Fuente: Autores



## I. Definición de las combinaciones de cargas

Imágen 21. Combinaciones

Fuente: Autores



m. Se corre el modelo.

n. Se revisan las derivas e índice de sobre esfuerzo y en caso de no cumplir con estas características se procede a aumentar las secciones de los elementos.

### 7.4 Resultados modelación estructural.

A continuación, se presentan los resultados que fueron exportados del software tomando como ejemplo la modelación de la Institución Juan Manuel González



Imágen 22. Resultados de sobre-esfuerzo

Fuente: Autores

TABLE: Modal de Sobre-esfuerzo Juan Manuel González

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		sec												
Modal	2	0,245	0,9692	0	0	0,9692	0,9667	0	0	0,0454	0,0032	0,053	0,0454	0,0032
Modal	3	0,218	0,003	0	0	0,9722	0,9667	0	0	0,0011	0,9523	0,053	0,0465	0,9555
Modal	4	0,105	0	0,0081	0	0,9722	0,9748	0	0,1949	0	0	0,2479	0,0465	0,9555
Modal	5	0,104	4,05E-05	0	0	0,9722	0,9748	0	0	0,0007	0,0058	0,2479	0,0472	0,9613
Modal	6	0,099	0	0,0082	0	0,9722	0,983	0	0,2171	0	0	0,465	0,0472	0,9613
Modal	7	0,093	0,0006	0	0	0,9728	0,983	0	0	0,009	0,0019	0,465	0,0561	0,9633
Modal	8	0,09	0,0271	0	0	0,9999	0,983	0	0	0,9424	5,71E-06	0,465	0,9985	0,9633
Modal	9	0,087	0	0,017	0	0,9999	1	0	0,5349	0	0	1	0,9985	0,9633
Modal	10	0,081	0,0001	0	0	1	1	0	0	0,0015	0,0367	1	1	1
Modal	11	0,027	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1
Modal	12	0,027	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1

Imágen 23. Resultados de derivas

Fuente: Autores

STORY DRIFTS

Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	X	Y	Z
					m	m	m
PISO 2	DERIVA X Max	X	0,002698	10	33,2	6,65	5,36
PISO 2	DERIVA X Max	Y	0,000922	8	24,9	6,65	5,36
PISO 2	DERIVA Y Max	X	0,00081	10	33,2	6,65	5,36
PISO 2	DERIVA Y Max	Y	0,003065	6	16,6	6,65	5,36
PISO 1	DERIVA X Max	X	0,005147	5	16,6	0	2,68
PISO 1	DERIVA X Max	Y	0,001626	9	33,2	0	2,68
PISO 1	DERIVA Y Max	X	0,001544	5	16,6	0	2,68
PISO 1	DERIVA Y Max	Y	0,005231	5	16,6	0	2,68

Tabla 6. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en la modelación estructural.

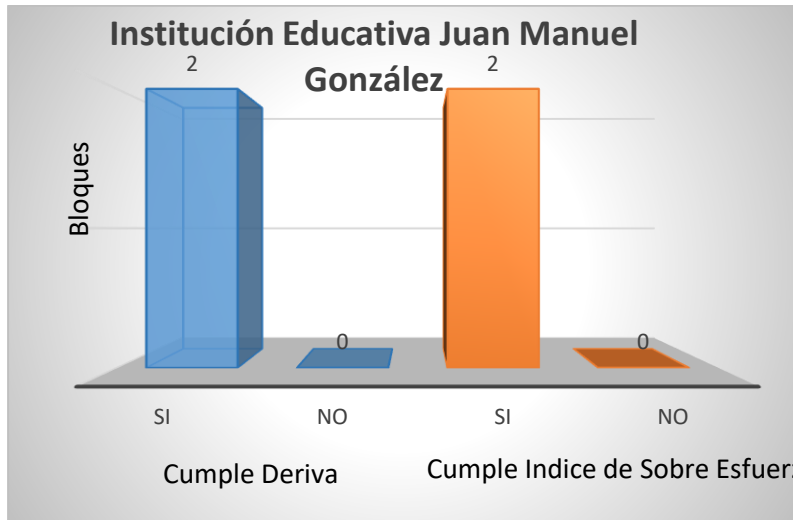
Fuente: Autores

Plantel Educativo	Números de Bloques	Cumple Deriva		Cumple Índice de Sobre Esfuerzo		Cumplimiento de la Norma
		Si	No	Si	No	Azul/Rojo
Institución Educativa Empresarial	4	4	0	4	0	AZUL
Institución Educativa Pablo Sexto	1	1	0	1	0	AZUL
Institución Educativa Juan Manuel González	2	2	0	2	0	AZUL
<b>Total</b>	7	7	0	7	0	AZUL

**AZUL:** Cumple con todos los requisitos, **AMARILLO:** Hay que recalzar algunos elementos (falla leve), **VERDE:** No existen algún elemento (falla grave), **ROJO:** No cumple con ninguno de los requisitos.

Gráfico 7. Cumplimiento de derivas y sobre esfuerzo Institución Educativa Juan Manuel González

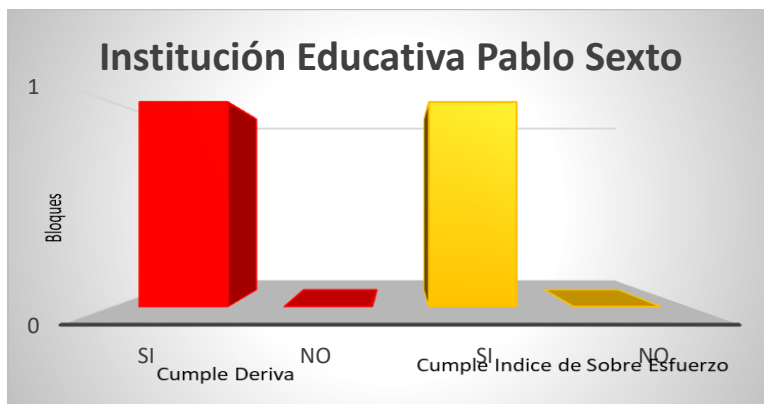
Fuente: Autores



Se puede analizar que los dos bloques analizados para la institución Juan Manuel González cumplen con las derivas y el índice de sobre esfuerzo como se estipula en la NSR-10.

Gráfico 8. Cumplimiento de derivas y sobre esfuerzo Institución Educativa Pablo Sexto

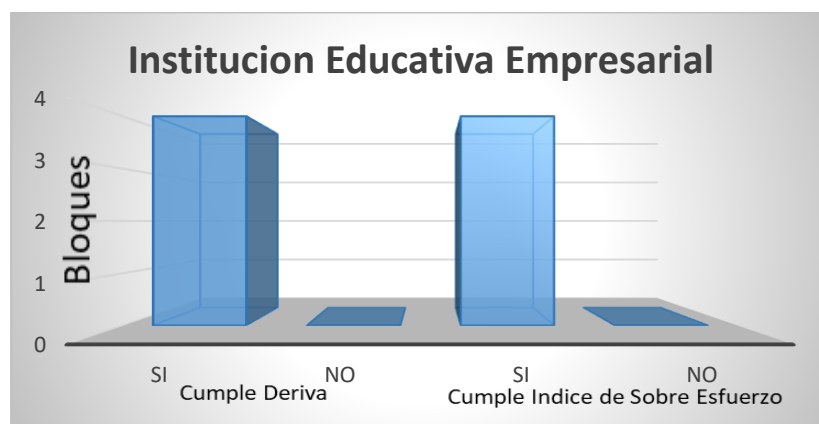
Fuente: Autores



Se puede analizar que el bloque analizado para la Institución Educativa Pablo Sexto cumple con las derivas y el índice de sobre esfuerzo como se estipula en la NSR-10.

Gráfico 9. Cumplimiento de derivas y sobre esfuerzo Institución Educativa Empresarial

Fuente: Autores



Se puede analizar que los dos bloques analizados para la Institución Educativa Empresarial cumplen con las derivas y el índice de sobre esfuerzo como se estipula en la NSR-10.

## 8. Conclusiones

La mayor parte de las instituciones a las que se le realizó la evaluación de vulnerabilidad no cuentan con los soportes técnicos que permitan establecer o dar una información aproximada y exacta de cómo, cuándo y bajo de que norma fueron construidas, por tal motivo este trabajo investigativo pretende dejar una base de soportes para tener una idea de que tan susceptibles de vulnerabilidad se encuentran estas mismas.

El 100% de la evaluación fue enfocado a las estructuras compuestas por dos o más pisos.

Como el 100% de las edificaciones son de sistema estructural pórticos, todas están compuestas por columnas y vigas.

El 100% de las edificaciones tienen un grado de daños ligeros en sus fachadas y/o acabados (cerámica de pisos, pintura de muros, entre otras).

El 100% de las instituciones educativas sus rectores o encargados suministraron planos estructurales existentes de igual manera se realizó el levantamiento topográfico con medidas tomadas en campo para así corroborar la información de estos planos.

El 100% de las estructuras no presentan irregularidad en planta ni en altura.

Al 100% de las edificaciones de los 7 bloques se les hizo su respectiva modelación y fueron simuladas en el software especializado.

Según el chequeo con las respectivas modelaciones en el software especializado ETABS el 100% de estas cumplen con los índices de sobre-esfuerzo y la deriva siendo estos unos de los requerimientos mínimos de la norma NSR-10.

Teniendo en cuenta que según la información recolectada en las instituciones y entidades municipales estas edificaciones fueron construidas mucho antes de la entrada en vigencia de la

actual norma, pero a pesar de lo anteriormente expresado estas dichas edificaciones están en cumplimiento con los requerimientos mínimos de esta misma.

## 9. Recomendaciones

Teniendo en cuenta que este estudio es un trabajo proximal con el fin de ampliar la información recolectada con los resultados obtenidos en este trabajo investigativo, es de gran relevancia e importancia dar a conocer este proyecto a las autoridades competentes como la Alcaldía municipal, secretaria de educación, entes territoriales como la DIGER, e igualmente a las instituciones interesadas en el desarrollo del plan de gestión del riesgo y prevención de desastre, como también ampliar los alcances que se han venido recogiendo anteriormente con estudios realizados por la Universidad Libre Seccional Pereira en el departamento de Risaralda.

Se recomienda realizar estudios más exactos como ensayos de patología estructural, la aplicación de un ferro escáner a las edificaciones que cuentan con marco en concreto estructural, estudios de suelos, además para tener datos exactos y no estimados es de gran importancia una extracción de núcleo para obtener un mejor desarrollo en la modelación con el software especializado ETABS para que el chequeo con la NSR-10 sea aún más cercano que el obtenido en este trabajo.

Se recomienda a las autoridades competentes que mantengan actualizados los repositorios de la documentación o soportes técnicos de las instituciones educativas ya que son de gran ayuda para realizar con un mayor alcance estas evaluaciones de vulnerabilidad estructural.

Se recomienda un constante control y monitoreo por parte de la Oficina Municipal de Prevención y Atención de Desastres y Emergencias (O.M.P.A.D.E) a todas las instituciones educativas que conforman el sistema educativo.

Para finalizar, el método de acción puesto a conocimiento en este trabajo debe ser verificado y en ninguno de los casos ser considerado como datos exactos para tomar decisiones o acciones en las instituciones, sin ser respaldadas por un profesional con arduo conocimiento en la NSR-10.

## Bibliografía

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2019). Caracterización General del Escenario de Riesgo Sísmico. Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático Ambiente. <http://www.idiger.gov.co/rsismico>

Bonett Díaz, R. L. (2003). Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada. Universitat Politècnica de Catalunya.

Caicedo Caicedo, C., Barbat Barbat, H. A., Canas Torres, J. A., & Aguiar Falconí, R. (1994). Vulnerabilidad sísmica de edificios.

Cardona, C. E., Medina López, G., Serna Restrepo, D. E., & Alzate Buitrago, A. (2016). Evaluación de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones indispensables del sector educación del grupo III en el municipio de Dosquebradas, Risaralda (Doctoral dissertation, Universidad Libre Seccional Pereira).

Corporación Autónoma Regional de Risaralda (C.A.R.D.E.R). Base Ambiental con Énfasis en Riesgos Municipio de Pereira. Colombia, Risaralda: C.A.R.D.E.R, Diciembre (2013).

Corporación Autónoma Regional de Risaralda (C.A.R.D.E.R). Diagnóstico de Riesgos Ambientales Municipio de Pereira. Risaralda, Colombia: C.A.R.D.E.R, (2011).

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (1999). El Terremoto de Enero de 1999 en Colombia: Impacto socioeconómico del desastre en la zona del Eje Cafetero. Ciudad de México: Programa para las Naciones Unidas para el Desarrollo, 1999. Documento Técnico

Díaz, Gloria (2005). Diseño Estructural en Arquitectura, 1ª edición. Buenos Aires, Argentina: Editorial Nobuko.



Falconí, R. A. (2008). Análisis sísmico de edificios. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército. Valle de los Chillos, Ecuador.

Hibbeler, Russel (2012). Análisis Estructural, Octava Edición. México: Editorial PEARSON EDUCACIÓN.

Llanos, L. F., & Vidal, L. M. (2003). Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Escuelas Públicas de Cali: Una Propuesta Metodológica. Universidad del Valle. Santiago de Cali. Colombia.

Montilla Moreno, P. J., & Castillo Gandica, A. (2012). Vulnerabilidad sísmica de centros poblados. Un caso de estudio: sector Pan de Azúcar, Mérida. Estado Mérida-Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, 53(2).

Morales Betancourt, D. F., Nieto Duque, J. F., & Rincón Quintero, A. C. (2017). Evaluación de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones indispensables del grupo III en el municipio de Dosquebradas, Risaralda (Doctoral dissertation, Universidad Libre Seccional Pereira).

Muñoz, E. E., Ruiz, D. M., Prieto, J. A., & Ramos, A. (2017). Estimación de la Confiabilidad Estructural de una Edificación Indispensable Mediante Análisis No Lineales Estáticos de Pushover (P. 65-77). Tekhné, 1.

Osorio Gaviria, A., & Osorio Ramírez, A. F. (2017). Evaluación de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones indispensables del grupo III y IV en el municipio de Viterbo, Caldas (Doctoral dissertation, Universidad Libre Seccional Pereira).

Roca, A., Irizarry, J., Lantada, N., Barbat, A., Goula, X., Pujades, L. I., & Susagna, T. (2006). Método Avanzado para la Evaluación de la Vulnerabilidad y el Riesgo Sísmico. Aplicación a la Ciudad de Barcelona. Física de la Tierra, 18, 183-203






Safina Melone, S. (2003). Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico. Universitat Politècnica de Catalunya.

Universidad Católica del Perú, Departamento de ingeniería. Análisis Sísmico de Edificios. XVI Curso Internacional de Estructuras. Quito, Ecuador: Octubre del (2003)

Ugarte, A. (2010). Metodología de modelación de escenarios de riesgo sísmico en Managua, Nicaragua. Nexo Revista Científica, 23(1), 9-17.

## **Anexos**

En un medio magnético se anexan las modelaciones en el software ETABS, resultados obtenidos, registro fotográfico y planos en AutoCAD.

-  DIBUJO AUTO-CAD
-  FICHA TECNICA
-  MODELACION EN ETABS
-  REGISTRO FOTOGRAFICO
-  RESULTADO EXCEL DERIVAS Y SOBRE-ESF...