

INDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA DIRECCIÓN TERRITORIAL CASANARE DEL
INVIAS



Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial
Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Irma Bibiana Reina Chaparro

Jhon Fredy Pachón Sánchez

Juan Nicolas Maldonado Reyes

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

noviembre de 2024

INDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA DIRECCIÓN TERRITORIAL CASANARE DEL
INVIAS

Análisis del estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial
Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación

Irma Bibiana Reina Chaparro

Jhon Fredy Pachón Sánchez

Juan Nicolas Maldonado Reyes

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en
Gerencia de Proyectos

Asesor(a)

Sergio Andrés Zabala Vargas

Doctor en Tecnología Educativa

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

noviembre de 2024

Contenido

Lista de tablas	6
Lista de figuras.....	7
Resumen.....	8
Abstract.....	9
Introducción	10
1 Planteamiento Del Problema	13
1.1 Descripción del problema.....	13
1.2 La pregunta de investigación.....	15
1.3 Los objetivos de investigación	15
1.3.1 Objetivo general	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	15
1.4 Justificación de la investigación.....	16
2 Marco De Referencia.....	18
2.1 Marco de Antecedentes / Estado del Arte	18
2.2 Marco Teórico.....	22
2.3 Marco Legal	24
3 Metodología.....	26
3.1 Enfoque y alcance de la investigación	27
3.2 Población y muestra	27
3.2.1 Definición de la población.....	27
3.2.2 Cálculo y selección de la muestra.....	28

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

3.3	Instrumento(s)	30
3.3.1	Revisión Documental:	30
3.3.2	Inspección Visual:	30
3.3.3	Índice de Vulnerabilidad:	30
3.3.4	Bases de Datos Gubernamentales:.....	31
3.4	Descripción de procedimientos	32
3.4.1	Organización del sistema resistente.....	33
3.4.2	Calidad del sistema resistente.....	34
3.4.3	Resistencia convencional.....	35
3.4.4	Posición del Edificio y de la Cimentación.....	37
3.4.5	Diafragmas Horizontales:	38
3.4.6	Configuración en planta.....	39
3.4.7	Configuración en elevación.....	39
3.4.8	Separación Máxima entre Muros.....	41
3.4.9	Tipos de Cubierta.....	41
3.4.10	Elementos no Estructurales	42
3.4.11	Estado de Conservación.....	43
3.4.12	Revisión Documental:	44
3.4.13	Inspección Visual:	44
3.4.14	Bases de Datos Gubernamentales:.....	45

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

3.4.15	Índice de Vulnerabilidad Sísmica.....	46
3.5	Análisis de información	46
3.5.1	Enfoque de análisis.....	46
3.6	Consideraciones éticas	47
3.6.1	Análisis de consideraciones éticas.....	47
4	Variables e Hipótesis	49
4.1	Variables.....	49
4.2	Hipótesis.....	50
4.3	Consideraciones Finales del Procedimiento.....	50
5	Resultados.....	51
5.1	Interpretación de Resultados y análisis de resultados	51
5.1.1	Revisión base de datos gubernamentales.....	51
5.1.2	Calificación de parámetros de índice de vulnerabilidad según el método de Benedetti-Petrini.....	52
5.1.3	Análisis de Resultados.....	68
5.2	Propuesta de Estrategias para la Mejora de la Gestión de Riesgos Sísmicos	69
5.2.1	Refuerzo Estructural de Componentes Críticos.....	69
5.2.2	Recomendaciones generales para mejorar la gestión del riesgo.....	74
5.3	Discusión.....	77
6	Conclusiones.....	80
	Referencias.....	82

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Resistencia al cortante materiales</i>	36
Tabla 2 <i>Áreas resistentes en dirección AX, AY</i>	56
Tabla 3 <i>Calculo resistencia convencional</i>	57
Tabla 4 <i>Irregularidad en planta</i>	61
Tabla 5 <i>Escala de vulnerabilidad</i>	68
Tabla 6 <i>Rangos de vulnerabilidad sísmica</i>	69

Lista de figuras

Figura 1	<i>Población y muestra del proyecto de investigación</i>	29
Figura 2	<i>Ubicación Geográfica de la Población y muestra del proyecto de Investigación.</i>	29
Figura 3	<i>Zonificación Sísmica de Colombia</i>	32
Figura 4	<i>Tipos de Configuración en planta</i>	39
Figura 5	<i>Configuración en elevación</i>	40
Figura 6	<i>Organización del sistema resistente</i>	53
Figura 7	<i>Calidad del sistema resistente</i>	54
Figura 8	<i>Posición del edificio y de la cimentación</i>	58
Figura 9	<i>Diagramas horizontales</i>	60
Figura 10	<i>Configuración en elevación</i>	62
Figura 11	<i>Separación máxima entre muro - longitud</i>	63
Figura 12	<i>Separación máxima entre muros - grosor</i>	64
Figura 13	<i>Tipos de Cubierta</i>	65
Figura 14	<i>Estado de Conservacion</i>	67

Resumen

El presente estudio aborda la problemática de la vulnerabilidad sísmica en la sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), con el fin de contribuir a la gestión de riesgos y a la planificación adecuada para mitigar posibles daños estructurales y proteger a sus ocupantes. El problema radica en la ausencia de un diagnóstico actualizado y detallado sobre las condiciones estructurales frente a un evento sísmico, lo que representa un riesgo significativo para la seguridad de la edificación y del personal.

La investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, orientado a la determinación de un índice de vulnerabilidad sísmica. La metodología utilizada incluye una revisión de normativas sismorresistentes vigentes en Colombia y del grado de riesgo sísmico de la región, basado en información del Servicio Geológico Colombiano (SGC). Para el análisis estructural, se aplicó el método Benedetti-Petrini, el cual permite evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones mediante la asignación de puntuaciones a diversos factores estructurales.

Los resultados obtenidos evidencian que la edificación presenta niveles moderados de vulnerabilidad sísmica, con algunas áreas críticas que requieren intervenciones específicas para garantizar su estabilidad.

Palabras clave: vulnerabilidad sísmica, evaluación estructural, método Benedetti-Petrini, gestión de riesgos, refuerzo estructural.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Abstract

This study addresses the issue of seismic vulnerability at the Casanare Territorial Directorate of the Instituto Nacional de Vías (INVIAS), aiming to support risk management and appropriate planning to mitigate potential structural damage and ensure the safety of its occupants. The core problem lies in the lack of an updated and detailed assessment of the building's structural conditions against a seismic event, posing a significant safety risk for the infrastructure and its personnel.

The research follows a quantitative approach focused on determining a seismic vulnerability index. The methodology includes a review of Colombia's current seismic-resistant regulations, and an assessment of the regional seismic risk based on data from the Colombian Geological Service (SGC). The Benedetti-Petrini method was applied for the structural analysis, allowing for the evaluation of seismic vulnerability through scores assigned to various structural factors.

Results indicate that the building exhibits moderate levels of seismic vulnerability, with some critical areas needing specific interventions to ensure structural stability.

Keywords: seismic vulnerability, structural assessment, Benedetti-Petrini method, risk management, structural reinforcement.

Introducción

La gestión de riesgos sísmicos es un aspecto crítico de la planificación de infraestructuras a nivel global, especialmente en áreas geográficamente propensas a terremotos. En países con altos índices de actividad sísmica, se han implementado diversas estrategias para minimizar el impacto de estos eventos, y la investigación en torno a técnicas de construcción resiliente y evaluación de riesgos ha ganado terreno en las últimas décadas. Estudios recientes han demostrado que un enfoque proactivo en la gestión de riesgos sísmicos, que incluya evaluación estructural puede reducir significativamente las pérdidas materiales y humanas.

En el contexto de América Latina, Colombia se encuentra en una de las zonas sísmicas más activas del mundo, ya que en la región convergen las placas tectónicas de Nazca y del Caribe contra la placa sudamericana (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2024); La continua interacción entre estas placas ha generado una variedad de fenómenos geológicos, entre los cuales se destacan las fallas que producen movimientos sísmicos. Estos eventos, dependiendo de su intensidad y magnitud, pueden ocasionar desde vibraciones leves hasta daños severos en las estructuras, e incluso su colapso.

EL problema de investigación se centra en la identificación de los factores estructurales que contribuyen a la vulnerabilidad sísmica de la sede del Instituto Nacional de Vías en la ciudad de Yopal Casanare; La pregunta de investigación que guía este estudio es: ¿Cuál es el índice de vulnerabilidad sísmica de la sede de la Dirección Territorial Casanare del INVIAS y qué estrategias se pueden implementar para mejorar su gestión de riesgos sísmicos? Este análisis es fundamental para apoyar la toma de decisiones sobre las acciones preventivas necesarias que protejan los recursos y a las personas involucradas en la operación de esta sede.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

El municipio de Yopal Casanare cuenta con una población estimada de 156.942 habitantes según el reporte oficial entregado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2019); se ha identificado una amenaza sísmica ALTA según lo definido por el servicio geológico colombiano mediante su portal de datos abierto y zonas de amenaza NSR10 actualizado por última vez el 22 de julio de 2021. (Servicio Geológico Colombiano, 2021). A pesar de la vulnerabilidad de la región, muchas construcciones, incluidas las de uso público, fueron erigidas en periodos donde no existían normativas sismorresistentes, como es el caso del edificio que alberga la sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías. Esta estructura, construida hace aproximadamente 40 años y remodelada en 1995 para su uso actual, presenta incertidumbres sobre la resistencia sísmica de su diseño original.

Ante esta caracterización, surge la preocupación sobre la capacidad de las construcciones y edificaciones en la ciudad de Yopal para resistir los efectos de un evento sísmico en el caso de que ocurran. Es importante destacar que la ciudad fue fundada en el año 1915 y se convirtió en municipio en 1945, un período en el que en Colombia no existían normativas específicas en materia sismorresistente que regularan la construcción de viviendas y edificaciones, siendo que “El 7 de junio de 1984 se expidió por medio del Decreto 1400 de 1984 la primera normativa colombiana de construcciones sismo resistentes.” (NSR-10, 2010, pág. 3)

Un caso particular es el edificio que actualmente alberga la sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías, construido hace aproximadamente 40 años. Originalmente este edificio fue concebido como residencia oficial del director del Distrito 27 del extinto Ministerio de Obras Públicas. En 1995, fue remodelado para convertirse en la sede de la Dirección Territorial Casanare del INVIAS, función que desempeña hasta el día de hoy. Sin embargo, existe incertidumbre sobre si los métodos constructivos utilizados en su edificación

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

consideraron la resistencia sísmica, lo que resulta preocupante dado que el edificio alberga a una entidad pública y recibe diariamente tanto a funcionarios y contratistas como a la ciudadanía. Un evento sísmico podría poner en riesgo la integridad física de todos los involucrados.

Este estudio tiene como objetivo principal identificar y evaluar el Índice de Vulnerabilidad Sísmica de la sede de INVIAS en Casanare, mediante un análisis que contemple factores estructurales, la calidad de los materiales, técnicas constructivas y las características geológicas del área. Se espera que este análisis proporcione una comprensión general del comportamiento de la estructura ante un evento sísmico y los riesgos asociados a su ubicación en una zona de alta actividad sísmica.

Este trabajo de investigación se estructura en seis capítulos. En el capítulo 1 se plantea el problema de estudio, incluyendo los objetivos y preguntas de investigación. El capítulo 2 desarrolla el marco de referencia, presentando la revisión de literatura y los conceptos clave. En el capítulo 3 se describe la metodología empleada para determinar el índice de vulnerabilidad sísmica de la edificación. El capítulo 4 detalla las variables e hipótesis del estudio. En el capítulo 5 se presentan y analizan los resultados, y finalmente, en el capítulo 6 se exponen las conclusiones generales del estudio.

1 Planteamiento Del Problema

1.1 Descripción del problema

A nivel mundial, las construcciones en zonas sísmicamente activas han sido una preocupación constante debido al riesgo inherente que presentan los eventos sísmicos para las edificaciones y sus ocupantes. Países como Japón, Chile y Nueva Zelanda, ubicados en el "Cinturón de Fuego del Pacífico" (SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES, 1995) han implementado normativas rigurosas en sus códigos de construcción sismorresistente como respuesta a los desastres provocados por terremotos a lo largo de su historia. Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos y normativos, sigue existiendo una gran vulnerabilidad en muchas infraestructuras antiguas que fueron construidas antes de la implementación de estas regulaciones.

En América Latina, Colombia enfrenta una situación similar debido a su ubicación geográfica, que la coloca en una de las regiones sísmicamente más activas del mundo. Según el (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2024) el país se encuentra en la convergencia de las placas tectónicas de Nazca, Caribe y Sudamericana, lo que genera una alta actividad sísmica. En respuesta a este riesgo, Colombia introdujo su primera normativa sismorresistente en 1984 con el Decreto 1400, que posteriormente fue actualizada con la Norma de Construcción Sismo Resistente (NSR-10, 2010). No obstante, muchas edificaciones construidas antes de esta normativa siguen operando bajo condiciones de riesgo sísmico debido a la falta de adaptaciones o refuerzos estructurales.

El municipio de Yopal, en el departamento de Casanare, se encuentra catalogado como una zona de alta amenaza sísmica (Servicio Geológico Colombiano, 2021). A pesar de ello, muchas de sus construcciones más antiguas no cumplen con los estándares sismorresistentes

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

actuales, lo que representa un riesgo potencial para la seguridad de sus habitantes. Según el (DANE, 2019), Yopal tiene una población estimada de 156,942 habitantes, y dada su ubicación geográfica, es una de las zonas más vulnerables ante eventos sísmicos en el país.

Una edificación que genera especial preocupación es la sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías, construida hace aproximadamente 40 años, mucho antes de la promulgación de las normativas sismorresistentes en Colombia. Originalmente concebida como la residencia oficial del director del Ministerio de Obras Públicas, fue remodelada en 1995 para albergar las oficinas del INVIAS. Sin embargo, no existe documentación que certifique si la remodelación o la construcción original de la edificación consideraron criterios de diseño estructural para la resistencia sísmica.

Este edificio, además de las condiciones especiales derivadas de su antigüedad, es de uso público y recibe a diario tanto a funcionarios y contratistas como a ciudadanos que acceden a los servicios de la entidad, esto agrava el riesgo, pues en caso de un evento sísmico de gran magnitud, la integridad estructural del edificio podría verse comprometida, poniendo en peligro la vida de sus ocupantes. El (Servicio Geológico Colombiano, 2021), ha señalado que Yopal está expuesta a sismos de intensidades moderadas a altas, lo que hace urgente la necesidad de evaluar el estado de vulnerabilidad sísmica de esta edificación.

La preocupación por la seguridad de la sede de INVIAS en Casanare no solo radica en la antigüedad del edificio, sino también en la posibilidad de que sus materiales y métodos constructivos no sean adecuados para resistir los efectos de un evento sísmico. Evaluar el índice de vulnerabilidad sísmica de la estructura es un paso crucial para determinar si es pertinente que la entidad nacional competente (INVIAS) realice intervenciones de refuerzo o adapte la

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

infraestructura a las normativas actuales. Además, este estudio contribuirá a la gestión de riesgos, proporcionando una herramienta técnica y objetiva que permita tomar decisiones informadas para proteger tanto a los trabajadores como a los visitantes de esta importante institución pública.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es determinar del Índice de Vulnerabilidad Sísmica de la sede de la Dirección Territorial Casanare del INVIAS. El estudio permitirá identificar los principales riesgos asociados a su diseño estructural y ubicación geográfica, y ofrecerá estrategias.

1.2 La pregunta de investigación

¿Cuál es el índice de vulnerabilidad sísmica de la sede de la Dirección Territorial Casanare del INVIAS y qué estrategias se pueden implementar para mejorar su gestión de riesgos sísmicos?

1.3 Los objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo general

Proponer estrategias para la mejora de la gestión de riesgos y la planificación de acciones preventivas ante eventos sísmicos en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), basada en el análisis del índice de vulnerabilidad sísmica de la edificación.

1.3.2 Objetivos específicos

Describir la ubicación geográfica donde se encuentra edificación para comprender el nivel de riesgo frente a posibles fenómenos sísmicos, utilizando datos del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Determinar el índice de vulnerabilidad sísmica de la edificación donde opera la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías con el fin de conocer el estado de vulnerabilidad sísmica de la estructura frente a eventos sísmicos.

Elaborar recomendaciones basadas en el análisis de la vulnerabilidad sísmica y en revisiones bibliográficas, que permitan mejorar la gestión de riesgos y la planificación de acciones preventivas en la entidad.

1.4 Justificación de la investigación

El proyecto de investigación tiene como propósito evaluar el estado de vulnerabilidad sísmica de la edificación que alberga la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en Yopal, Casanare. Esta evaluación se realizará mediante un análisis de los métodos constructivos y los materiales utilizados en su edificación, con el fin de determinar su nivel de riesgo ante eventos sísmicos. La información técnica recopilada permitirá no solo identificar las áreas de mejora en la infraestructura para mitigar su vulnerabilidad, sino también contribuir al avance del conocimiento en el campo de la ingeniería estructural y la sismo resistencia en ciudades con amenaza sísmica alta.

A nivel internacional, la gestión del riesgo sísmico ha cobrado mayor relevancia en zonas propensas a terremotos, como lo demuestra el informe de evaluación regional sobre el riesgo de desastres en América Latina y el Caribe (Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2021) , el cual subraya la importancia de la evaluación de infraestructuras críticas en áreas de alta actividad sísmica para mitigar desastres. En Colombia, las zonas de alta amenaza sísmica, como el municipio de Yopal, requieren de estudios específicos que evalúen la resistencia de edificaciones, en especial aquellas construidas antes de la implementación de

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

normativas sismorresistentes como la NSR-10. Estas normativas son esenciales para garantizar la seguridad de las infraestructuras, pero, (Servicio Geológico Colombiano, 2021), muchas edificaciones en el país no cumplen con estas regulaciones.

La edificación que alberga la Dirección Territorial Casanare del INVIAS, construida hace aproximadamente 40 años, se enfrenta a una situación crítica. Si bien se han realizado remodelaciones, no existe evidencia documental que garantice que estas adecuaciones hayan considerado parámetros sismorresistentes. Este hecho se agrava aún más debido a que Yopal está clasificada como una zona de alta amenaza sísmica. Un evento sísmico de gran magnitud podría comprometer la estabilidad estructural del edificio, poniendo en peligro la vida de los trabajadores y visitantes, así como los recursos públicos invertidos en su mantenimiento.

La investigación tiene como objetivo determinar el índice de vulnerabilidad sísmica de esta edificación, lo que permitirá evaluar su nivel de riesgo y, en última instancia, ofrecer a la entidad (INVIAS) un marco de referencia técnico que le ayude a tomar decisiones informadas sobre las medidas preventivas y correctivas necesarias, de acuerdo con (Unidad Nacional Para la Gestión de Riesgos de Desastres de Colombia, 2016) la identificación temprana de áreas vulnerables y la implementación de estrategias de mitigación son fundamentales para garantizar la seguridad estructural en zonas de alto riesgo.

Además de contribuir a la seguridad pública, este estudio aportará al campo de la ingeniería sísmica en Colombia al proporcionar nuevos datos sobre la vulnerabilidad sísmica de edificaciones públicas en ciudades expuestas a altos niveles de actividad sísmica. Estos hallazgos podrán servir como base para futuros estudios y proyectos de mejora de la infraestructura pública en el país.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Desde una perspectiva académica, la investigación también ofrece una valiosa oportunidad para la formación de estudiantes de pregrado y posgrado en el campo de la ingeniería civil y la gestión de riesgos. Involucrar a estudiantes en proyectos de investigación aplicada les permite desarrollar habilidades técnicas y analíticas que son esenciales para su formación profesional, al tiempo que contribuyen a la resolución de problemas relevantes para la sociedad. Esto, a su vez, fortalece la reputación académica de la Especialización y los programas de posgrado de UNIMINUTO Virtual, al demostrar la capacidad de sus estudiantes para abordar problemas complejos en un entorno académico y profesional.

2 Marco De Referencia

2.1 Marco de Antecedentes / Estado del Arte

Ecuación de búsqueda:

Es importante recalcar que para la búsqueda de material bibliográfico que se pudiera emplear dentro del estado del arte de la presente investigación, se emplearon los criterios de búsqueda "vulnerabilidad sísmica" "evaluación de edificaciones" "Colombia" "Latinoamérica", en las bases de datos Google Scholar, Scopus y la Biblioteca Virtual de UNIMINUTO verificando trabajos y/o investigaciones similares con una temporalidad no mayor a 10 años anteriores al año 2024.

(Garcés Mora, 2017); Realizó el estudio de vulnerabilidad sísmica en viviendas de uno y dos pisos de mampostería confinada en el barrio San Judas Tadeo II en la ciudad de Santiago de Cali, y aplicando el método ATC 21, desarrollado por la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA), el Departamento de Seguridad Nacional (DHS) y el Consejo de Tecnología Aplicada (ATC), en la provincia de Baja California, Estado de México, logró

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

identificar edificaciones potencialmente peligrosas ante sismos, este método toma en cuenta diversas características estructurales, como el tipo de estructura, su uso, altura e irregularidades verticales, entre otros, con el objetivo de diagnosticar el estado físico de cada vivienda. Esto facilita una clasificación de su nivel de vulnerabilidad sísmica.

(Castillo y otros, 2018) en su proyecto investigativo Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la tapia en Pasto (Nariño-Colombia) realiza la evaluación de vulnerabilidad sísmica del teatro Imperial construido en el año 1922, encontrando que el comportamiento dinámico del teatro y, en general, de las estructuras históricas, no alcanzan a disipar esfuerzos y ofrecer una respuesta a un período de retorno de 45 años con un ciclo corto.

(Chávez García y otros, 2019); Llevaron a cabo un estudio de vulnerabilidad sísmica y estructural de las instalaciones del antiguo ITUC (Instituto Técnico Universitario de Cundinamarca), por medio de la inspección visual, levantamientos arquitectónicos, topográficos, estudio de suelos y apiques con los cuales se pudo determinar que estas instalaciones cuentan con un sistema estructural de muros portantes (muros de carga), y por medio de la aplicación del método AIS se determinó que las edificaciones no cumplen con parámetros sísmorresistentes.

(Sanchez Garcia & Ospina Garcia, 2019) expusieron los resultados de los procesos desarrollados para determinar la necesidad de rehabilitar el sistema estructural del Edificio Nacional de la DIAN en el municipio de Villavicencio, mediante el diagnóstico y evaluación de vulnerabilidad sísmica para construcción patrimonial en la ciudad de Villavicencio, caso de estudio: edificio nacional (DIAN)

(Criado Rodriguez y otros, 2019) Este trabajo de investigación tuvo por objetivo determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica de las viviendas del barrio Cristo Rey del

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

municipio de Ocaña, Norte de Santander, aplicando la metodología de la Agencia Federal para la Gestión de Emergencias (FEMA), FEMA P-154. El barrio que constituyen el caso de estudio no se aleja de la realidad de cualquier otro barrio en Colombia, donde los asentamientos se han dado sin tener en cuenta ninguna proyección urbanística ni mucho menos estudios más completos como, microzonificación sísmica.

(Zora Mejía & Acevedo Jaramillo, 2019) mediante la investigación “Índice de vulnerabilidad sísmica de escuelas del Área Metropolitana de Medellín, Colombia” presentan la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un inventario de escuelas ubicadas en las ciudades de Medellín, Itagüí y Sabaneta, Colombia, a través de la aplicación del método del Índice Prioritario desarrollado por Hassan y Sözen, en esta investigación se identificó, de acuerdo al método del Índice Prioritario propuesto por Hassan y Sözen (1997), un 61% de las estructuras evaluadas como estructuras que pueden sufrir daño severo o colapso en caso de un evento sísmico consistente con la amenaza de la región. Lo anterior clasifica estas estructuras como prioritarias, es decir estructuras que requieren rápidamente de una evaluación detallada de vulnerabilidad que permita identificar las medidas necesarias para reducir su vulnerabilidad y, por lo tanto, mitigar el riesgo.

(Castaño Castaño & Gallego Higinio, 2022) Realizaron una revisión bibliográfica y caso ejemplo de la identificación de la vulnerabilidad ante eventos sísmicos de edificaciones de baja altura por medio de método cualitativos, con el fin de estimar los posibles daños y sus características más desfavorables.

Adicionalmente, dentro del análisis de antecedentes que pueden aportar valor al proyecto de investigación, se tiene el documento “CONTROL DE CAMBIOS DE PREVENCIÓN, PREPARACIÓN Y RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS” desarrollado por la compañía de

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

seguros Positiva en octubre de 2016 y actualizado en julio de 2018, dentro del plan de emergencias y contingencias desarrollado con el Instituto Nacional de Vías, donde se menciona que:

...El Instituto Nacional de Vías, Yopal se encuentra ubicado en la Zona de riesgo alto debido a la cercanía a fallas geológicas que se encuentran en constante actividad. (Positiva Compañía de Seguros , 2018)

En este documento, en el capítulo 2.4 también se dan algunas generalidades sobre la edificación dentro de las cuales se detalla que, dentro de las características generales de la edificación se menciona que “Es una estructura construida teniendo en cuenta las solicitudes de resistencia y estructurales de hace aproximadamente 35 años, lo cual indica que no cumple con las Normas actuales de Sismo Resistencia” (p.26), y se detallan que sus elementos estructurales corresponden a: Elementos de Construcción, La construcción donde está ubicada la empresa consta de 1 piso adaptado para uso en oficinas con las siguientes características: Cimientos: Cimentación en concreto con vigas de amarre y sobre cimientos, zapatas en concreto armado. Estructura: En ferro concreto, muros en ladrillo. Mampostería: En ladrillo cocido repellados y pintados.

En conclusión, el análisis de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones ha sido objeto de investigación por diversos autores en el contexto colombiano. Los estudios realizados revelan preocupantes niveles de riesgo en diferentes tipos de estructuras, desde viviendas hasta instalaciones institucionales. Las metodologías aplicadas, como el índice de vulnerabilidad sísmica de Benedetti-Petrini, el método AIS y el método ATC 21, ofrecen herramientas para evaluar y clasificar la susceptibilidad de las edificaciones ante eventos sísmicos. Los hallazgos

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

muestran que un alto porcentaje de las edificaciones estudiadas están en riesgo debido a deficiencias en sus métodos constructivos y a la falta de cumplimiento con las normativas sismorresistentes actuales. Estos resultados destacan la importancia de implementar medidas de prevención y adecuación estructural para reducir la vulnerabilidad ante desastres naturales, especialmente en áreas con actividad sísmica significativa como Colombia.

2.2 Marco Teórico

El concepto de vulnerabilidad sísmica se refiere a la capacidad de una estructura para resistir los efectos de un terremoto, y depende de factores como el diseño estructural, los materiales utilizados, las técnicas constructivas y la ubicación geográfica de la edificación (Benedetti & Petrini, 1984). El objetivo de la evaluación de vulnerabilidad es identificar las debilidades de una construcción y proponer medidas para reducir los daños potenciales durante un evento sísmico (García & Moreno, 2015)

En Colombia, la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) establece los requisitos para el diseño, construcción y evaluación de edificaciones en zonas sísmicas (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010). Esta normativa es una herramienta clave para la planificación urbana y la gestión de riesgos en áreas de alta actividad sísmica, como Yopal, Casanare, una zona catalogada de amenaza sísmica alta por el Servicio Geológico Colombiano.

Conceptos Clave:

Sismo: Un sismo es un fenómeno natural causado por la liberación de tensiones acumuladas en la corteza terrestre debido al movimiento de placas tectónicas. Según la (LEY

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

400 , 1997), los sismos son "vibraciones de la corteza terrestre inducidas por el paso de ondas sísmicas provenientes de un lugar donde han ocurrido movimientos súbitos".

Índice de Vulnerabilidad Sísmica: Este índice cuantifica la susceptibilidad de una estructura, región o comunidad a sufrir daños en caso de un evento sísmico. (Basset Salom & Guardiola Villora, 2015) definen la vulnerabilidad sísmica como "la susceptibilidad de una estructura de sufrir un determinado grado de daño en caso de ocurrencia de un evento sísmico". Factores como la ubicación geográfica y el sistema constructivo influyen en este índice.

Estructura Sismorresistente: Una estructura sismorresistente es aquella diseñada para mitigar los efectos de los sismos, cumpliendo con normativas específicas que aseguran su estabilidad durante y después de un terremoto. Estas normativas garantizan que los materiales y técnicas constructivas sean adecuados para resistir la actividad sísmica.

Edificio: Un edificio es una estructura construida para ser habitada o utilizada con diversos fines (residencial, comercial, industrial, etc.). Las características del edificio, como el tamaño, diseño y materiales empleados, influyen directamente en su resistencia estructural frente a eventos sísmicos.

Diseño Estructural: El diseño estructural se refiere a la planificación y creación del sistema de soporte de una edificación. (Reboredo, 2016) define el diseño estructural como "el proceso que, partiendo de los datos del objeto a construir, permite proyectar un sistema estructural completo, estable, permanente y factible". Este proceso incluye el análisis de cargas, la selección de materiales y el cumplimiento de normativas y códigos de construcción.

Zona de Alta Amenaza Sísmica: Es una región que, basándose en la actividad sísmica histórica y las características geológicas, está identificada como propensa a sismos significativos.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

En el caso de estudio, Yopal, Casanare, está ubicada en una zona de amenaza sísmica alta debido a su cercanía al sistema de falla frontal de la Cordillera Oriental.

Falla Geológica Activa: Una falla geológica activa es aquella que ha experimentado desplazamientos recientes o que se espera que se mueva en el futuro debido a las tensiones tectónicas acumuladas. Estas fallas son fuentes potenciales de sismos importantes. (Escobar y otros, 2019)

2.3 Marco Legal

El marco legal relacionado con la vulnerabilidad sísmica en Colombia está principalmente regulado por la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Esta normativa, implementada en 2010, establece los parámetros técnicos y de diseño para garantizar que las edificaciones sean capaces de soportar un evento sísmico sin colapsar, incorporando las mejores prácticas internacionales en la materia. La NSR-10 reemplazó versiones anteriores, como la norma de 1984, y ha sido una herramienta fundamental en la planificación y gestión de la seguridad estructural de edificaciones en zonas de alta amenaza sísmica.

Uno de los hitos regulatorios fue el Decreto 1400 de 1984, que introdujo la obligatoriedad de construir bajo estándares sismorresistentes, tras el terremoto que afectó a Popayán en 1983. Este decreto fue clave para garantizar la seguridad estructural en edificaciones públicas, como la sede del INVIAS en Yopal. A partir de ese momento, todas las edificaciones en zonas sísmicas, especialmente las públicas, deben cumplir con los requisitos de la NSR-10.

Además, la Ley 1523 de 2012, a través del Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD), establece directrices para la evaluación y reforzamiento de infraestructuras

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

públicas en áreas de alta amenaza sísmica, con el objetivo de minimizar los riesgos asociados a desastres naturales. Esto es particularmente relevante para edificaciones críticas como instituciones públicas, incluidas las oficinas del INVIAS en Casanare.

Marco Normativo:

Ley 400 de 1997: Establece las normas para la organización del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD), regulando la gestión del riesgo sísmico y definiendo las responsabilidades de entidades públicas y privadas para garantizar la seguridad ante eventos sísmicos.

Decreto 1400 de 1984: Reglamenta la Ley 400 y fue la primera norma sismorresistente en Colombia, estableciendo cargas de diseño, requisitos para concreto estructural y mampostería, y sanciones por incumplimiento. Fue emitido tras el terremoto de 1983 y sentó las bases para la regulación sismorresistente en el país.

Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10): Esta norma, adoptada en 2010, es la principal regulación técnica que rige el diseño y la construcción de edificaciones sismorresistentes en Colombia. Cubre desde edificaciones pequeñas hasta estructuras complejas, proporcionando criterios para el diseño sismorresistente y ajustándose a los avances técnicos y científicos.

Normas Técnicas Colombianas (NTC): Emitidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), estas normas complementan la NSR-10, regulando aspectos específicos como la selección de materiales, métodos de ensayo y cálculos estructurales necesarios para garantizar edificaciones seguras en zonas sísmicas.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Reglamentos Municipales y Departamentales: Dependiendo de la ubicación geológica y sísmica, los municipios y departamentos pueden emitir reglamentos adicionales que complementen las normativas nacionales, adaptándose a las necesidades locales para garantizar la sismorresistencia de las edificaciones.

Este proyecto investigativo se enmarca en las normativas mencionadas, con especial énfasis en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), particularmente en su capítulo A, que establece los requisitos generales de diseño y construcción sismorresistente. Estas regulaciones serán fundamentales para la evaluación de la edificación objeto de estudio y la determinación del índice de vulnerabilidad sísmica.

3 Metodología

El proyecto de investigación se desarrollara mediante análisis de diferentes variables indicadoras que permitirán la obtención de un índice de vulnerabilidad sísmica de las instalaciones de la dirección territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías, dentro de estas variables de análisis, se realizará la evaluación de la ubicación geográfica donde se ubica el edificio, con la finalidad de obtener el grado de riesgo sísmico (bajo, intermedio o alto) asociado a la ubicación geográfica en el territorio nacional, esto se realizará mediante el uso de los mapas de zonificación sísmica de Colombia extraídos directamente de la página del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

Por medio del análisis de los métodos constructivos y calidad de los materiales implementados en construcción de la edificación y apoyados en el material de consulta denominado “Grado de Vulnerabilidad Sísmica con la aplicación del método italiano en el colegio Nacional la victoria de Ayacucho-huancavelica,2019” desarrollado por (William

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Edilberto & Calderón, 2019), de determinará el índice de vulnerabilidad sísmica de la estructura, con el cual se identificará que tan propensa al colapso es la edificación.

3.1 Enfoque y alcance de la investigación

La investigación se llevará a cabo con un enfoque cuantitativo, ya que su objetivo es determinar un índice de vulnerabilidad sísmica para la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Este índice se desarrollará utilizando métodos que incluyen la revisión de documentos y estado estructural de la edificación objeto del estudio, además, se evaluarán índices específicos del estado estructural del edificio de acuerdo con la metodología escogida.

Aunque el enfoque principal de la investigación es la obtención del índice de vulnerabilidad sísmica, se espera que los resultados también proporcionen información valiosa para el INVIAS. Este análisis permitirá al Instituto considerar el estado sísmico de sus instalaciones y, en función del grado de vulnerabilidad identificado, tomar las medidas necesarias para garantizar la seguridad de los funcionarios y del público que frecuenta el edificio. Así, la investigación no solo contribuirá a la evaluación técnica del edificio, sino que también orientará la toma de decisiones en la gestión de riesgos y la planificación de acciones preventivas.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Definición de la población

Para llevar a cabo el proyecto de investigación titulado " Análisis del estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación. ", se considerará como población

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

objeto de estudio la edificación que conforma la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías. Dado el enfoque específico de la investigación, no se requiere la definición de una muestra adicional.

“Cabe señalar que no todo tipo de investigación requiere estimar la población o la muestra de sujetos participantes del estudio” (Bernal Torres, 2022)

La población en este caso es el edificio en cuestión, presente en una ubicación específica, el cual se compone de una sola planta con diferentes áreas tal como se muestra en la *Figura 1*.

Población y muestra del proyecto de investigación.

3.2.2 Cálculo y selección de la muestra

El enfoque de este proyecto investigativo se centra en el análisis de una única entidad: la edificación que alberga la sede de la Dirección Territorial Casanare del INVIAS. Dado este enfoque particular, no es necesario realizar ningún tipo de muestreo probabilístico para determinar el tamaño de la muestra, ya que la misma está predefinida.

La muestra en este contexto corresponde a la mencionada edificación, la cual se encuentra ubicada en una posición específica. Esta edificación, de una sola planta, está dividida en distintas áreas, como se detalla en la *Figura 1 'Población y muestra del proyecto de investigación'.*”

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Figura 1

Población y muestra del proyecto de investigación



Nota. Vista en planta de la sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías, Fuente: Propia.

Figura 2

Ubicación Geográfica de la Población y muestra del proyecto de Investigación.



Nota. Ubicación geográfica de la sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías, Fuente: Google Earth.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

3.3 Instrumento(s)

Para la recolección de información en el presente proyecto investigativo se proponen los siguientes instrumentos de recolección de información:

3.3.1 Revisión Documental:

Se llevará a cabo una búsqueda y análisis de documentos previos relevantes, tales como planos de construcción, permisos de edificación, informes de inspección, registros de mantenimiento, y cualquier otra documentación relacionada con la estructura. Esta revisión permitirá obtener un contexto histórico y técnico del edificio, identificando cualquier información relevante que pueda influir en su vulnerabilidad sísmica.

3.3.2 Inspección Visual:

Se realizará una inspección visual detallada de la estructura para evaluar su estado actual, identificar puntos de vulnerabilidad y recopilar información sobre la calidad de los materiales y métodos constructivos utilizados. La inspección incluirá observación de posibles grietas, deformaciones, corrosión y desgaste, así como la integridad de elementos estructurales clave, esta información es de vital relevancia para el cálculo de los parámetros necesarios para la determinación del índice de vulnerabilidad sísmica de acuerdo con el método seleccionado.

3.3.3 Índice de Vulnerabilidad:

Se utilizará el índice de vulnerabilidad sísmica como instrumento de evaluación, empleando el método Benedetti-Petrini, el cual permite cuantificar el nivel de riesgo estructural frente a un evento sísmico. Este método facilita la identificación de factores críticos que incrementan la vulnerabilidad de la estructura y proporciona una medida numérica que ayudará a propiciar la toma de decisiones para la gestión del riesgo de la estructura.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Este índice clasifica la vulnerabilidad sísmica de una edificación en diferentes categorías, a partir de una serie de parámetros que incluyen el tipo de materiales de construcción, la regularidad en planta y altura, la calidad de los detalles constructivos, las características del suelo, y el estado de conservación. Cada parámetro es evaluado y ponderado en función de su relevancia en la resistencia sísmica de la estructura, asignando un valor numérico que se suma al total del índice.

El valor obtenido permite clasificar la edificación dentro de un rango de vulnerabilidad (baja, media o alta), ayudando a determinar el nivel de riesgo estructural y proporcionando información clave para la planificación de acciones preventivas o correctivas. Este índice es ampliamente utilizado en estudios de vulnerabilidad sísmica debido a su capacidad de identificar puntos críticos de debilidad en las edificaciones y su aplicabilidad en estructuras de diversa tipología y antigüedad.

Incluir el índice de Benedetti y Petrini en un trabajo de investigación permitirá contar con una metodología reconocida y probada para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, contribuyendo a una mejor gestión de riesgos y a la implementación de medidas de mitigación.

3.3.4 Bases de Datos Gubernamentales:

Se realizará la consulta en la base de datos del Servicio Geológico Colombiano (SGC), para obtener información sobre la actividad sísmica en la región, y con el cual se podrá determinar el nivel de amenaza sísmica en el cual se encuentra la estructura, lo que permitirá una evaluación detallada del riesgo sísmico asociado a la ubicación del edificio.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

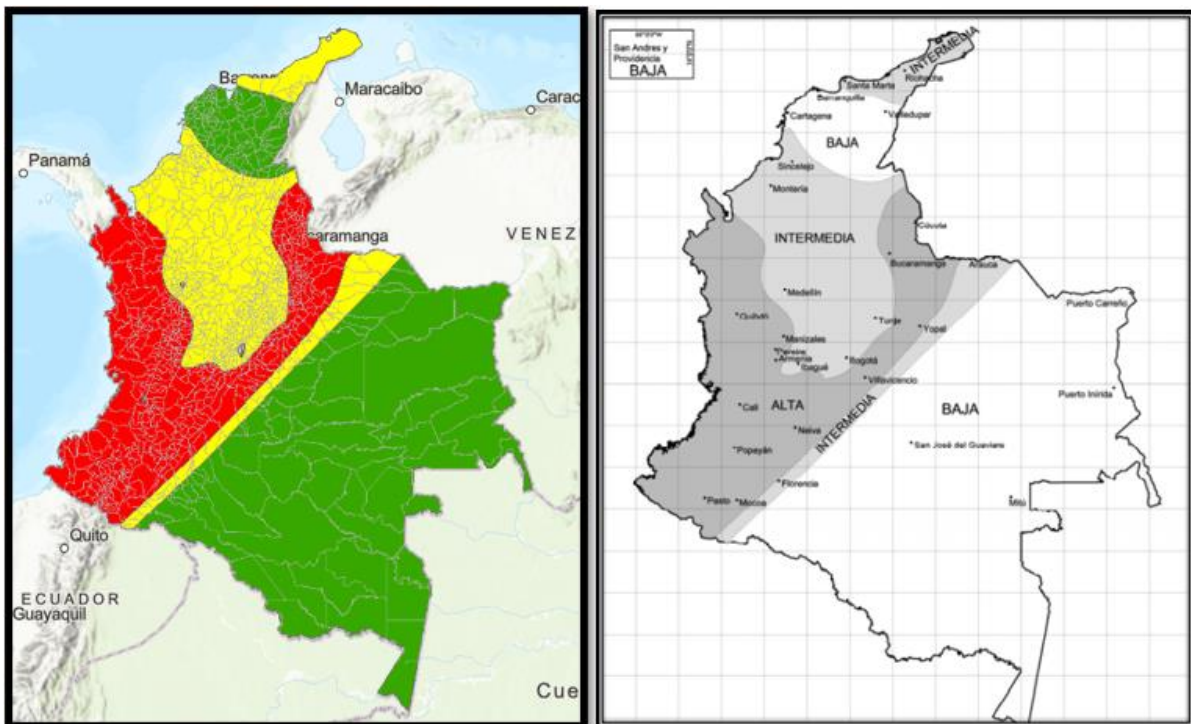
3.4 Descripción de procedimientos

De acuerdo con las herramientas e instrumentos para la recolección de información relacionados con anterioridad, se deberá tener en cuenta el siguiente procedimiento para la obtención de la información.

Inicialmente, se realiza la consulta en la página del Servicio Geológico Colombiano (SGC) en el cual se verifica el nivel de amenaza sísmica en el que se encuentra la estructura, conforme con su ubicación geográfica.

Figura 3

Zonificación Sísmica de Colombia



Mapa de zonificación sísmica de Colombia en el cual evidencia que el municipio de Yopal Casanare se encuentra ubicado en una zona de amenaza alta, recuperado de:

<https://datos.sgc.gov.co/maps/7c4b089f9a7d4635b9aa1a1fdb18b794/explore?location=3.915468%2C-76.614018%2C5.33>

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Posteriormente, se realiza el procedimiento para establecer el índice de vulnerabilidad sísmica del edificio que alberga la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Este procedimiento incluye la obtención de información estructural, la revisión documental y el análisis de la resistencia de los materiales empleados en la construcción, siguiendo los pasos definidos en cada uno de los subapartados, el procedimiento se toma de acuerdo con lo aplicado en el trabajo *“Grado de Vulnerabilidad Sísmica con la aplicación del método italiano en el colegio Nacional la victoria de Ayacucho-huancavelica,2019”* desarrollado por (William Edilberto & Calderón, 2019).

3.4.1 Organización del sistema resistente

Se evaluará la disposición de los elementos estructurales verticales (muros y columnas) para verificar su interconexión y comportamiento estructural bajo cargas sísmicas. La calificación se otorgará en función de la calidad y disposición de las conexiones entre paredes y otros elementos estructurales.

- Edificio construido de acuerdo con normativas sismo-resistentes
- Edificio que presenta conexiones realizadas mediante vigas o collares de amarre y enmarque de muros, utilizadas para transmitir las cargas verticales aplicadas a los muros en todos los niveles de la estructura.
- Edificio que no presenta el tipo de conexiones del punto B en todos sus niveles, pero presenta buena ligazón entre sus paredes ortogonales resistentes.
- Edificio que no tiene sus paredes resistentes bien ligadas

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

3.4.2 Calidad del sistema resistente

Se evaluará la calidad de la mampostería empleada en la construcción del edificio. Se analizará el tipo de material, la uniformidad de las piezas y la calidad del mortero utilizado. Esta información se recopilará mediante inspecciones visuales y la consulta de documentación técnica. El sistema resistente será calificado según su capacidad de proporcionar estabilidad estructural ante un sismo.

Para llevar a cabo esta evaluación, se examina el tipo de mampostería utilizada, sin centrarse exclusivamente en su resistencia, y se evalúa la regularidad de los muros de mampostería, observando cuán uniforme podría ser su comportamiento. También se toma en cuenta la calidad del material y el nivel de ejecución en la construcción del edificio. La calificación dependerá de las condiciones identificadas.

A. El sistema resistente del edificio presenta las siguientes tres características

- Mampostería en ladrillo de buena calidad con piezas homogéneas y de dimensiones constantes por toda la extensión del muro
- Presencia de verticalidad entre las unidades de albañilería
- Mortero de buena calidad con espesor de la mayoría de las pegas entre 1.0 y 1.5cm

B. El sistema resistente del edificio no presenta una de las características de la clase

A.

C. El sistema resistente del edificio no presenta dos de las características de la clase

A.

D. El sistema resistente del edificio no presenta ninguna de las características de la

clase A.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

3.4.3 Resistencia convencional

Este parámetro, aunque requiere cálculos relativamente simples, es fundamental desde el punto de vista conceptual. Se parte de la suposición de que toda la estructura presenta un buen comportamiento tipo "cajón". Se aplica un concepto comúnmente utilizado en el diseño estructural y en las normativas de construcción: el **coeficiente sísmico C**, el cual se define como la relación entre la máxima fuerza horizontal que puede resistir la estructura y el peso total del edificio.

$$c = \frac{a_o \cdot t_k}{q \cdot N} \sqrt{1 + \frac{q \cdot N}{1.5 \cdot a_o \cdot t_k \cdot (1 + \gamma)}}$$

$$q = \frac{(A + B) \cdot h}{A_t} \cdot P_m + P_s$$

$$\alpha = \frac{C}{C'}$$

Donde:

N: Número de Pisos

t_k : Resistencia a cortante del muro de mampostería

A= min [Ax; Ay]

B= máx. [Ax; Ay]

$a_0 = A/AT$

$\gamma = B/A$

$q = ((A+B) \cdot h) / A_t \cdot P_m + P_s$

AT: Área total cubierta en planta (m²)

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Ax: Área total resistente de los muros en la dirección x (m²)

Ay: Área total resistente de los muros en la dirección y (m²)

h: Altura promedio de entrepisos (m)

Pm: Peso Específico de la mampostería (T/m³)

Ps: Peso por unidad de área de forjado (T/m²)

Tabla 1

Resistencia al cortante materiales

TIPO DE MATERIAL	ESFUERZO CORTANTE
Ladrillo macizo, calidad regular	6-12 T/m ²
Piedra mal tallada	2 T/m ²
Piedra bien tallada	7-9 T/m ²
Ladrillo macizo, buena calidad	18 T/m ²
Bloque ladrillo, mortero-cemento	18 T/m ²
Mampostería nueva, ladrillo macizo	20 T/m ²
Mampostería nueva, bloque macizo	20 T/m ²
Mampostería nueva, ladrillo/bloque hueco	18 T/m ²

Cuando los paneles resistentes no siguen las direcciones ortogonales x o y, sino que forman un ángulo β diferente de 0 con dichos ejes, los valores de Ax y de Ay se evalúan multiplicando dichas áreas por $(\cos \beta)^2$

El valor de q representa el peso de un piso por unidad de área cubierta, y es igual al peso de los muros más el peso del diafragma horizontal

El coeficiente sísmico C, se define como el factor entre la fuerza horizontal resistente al pie del edificio dividido entre el peso del mismo.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

El valor de C' es un coeficiente que se toma según la zona sísmica a la que pertenece la edificación Finalmente para determinar el valor normalizado para la calificación de este parámetro, se usa la siguiente expresión: $\alpha=C/C'$

La calificación final dependerá de las siguientes condiciones:

- A. Estructura con un valor de $\alpha \geq 1$
- B. Estructura para valores comprendidos entre $0.6 \leq \alpha \leq 1$
- C. Estructura para valores comprendidos entre $0.4 \leq \alpha \leq 0.6$
- D. Estructura con un valor de $\alpha < 0.4$

3.4.4 Posición del Edificio y de la Cimentación

El cuarto parámetro evalúa la ubicación del edificio y su cimentación, mediante una inspección visual que analiza el impacto del terreno y las condiciones de la cimentación. Las edificaciones son penalizadas si el suelo presenta malas condiciones o si están construidas sobre terrenos con una pendiente pronunciada. Sin embargo, esta evaluación puede resultar incompleta y compleja, ya que no siempre es posible observar las cotas de cimentación a simple vista. En muchos casos, es necesario revisar los planos estructurales de la cimentación, lo cual puede ser difícil, especialmente cuando se trata de edificaciones antiguas cuyos planos son inexistentes o están incompletos.

Se clasifica de la siguiente manera:

- A. Edificio cimentado sobre terreno estable con pendiente inferior o igual al 10%
- B. Edificio cimentado sobre roca con pendiente comprendida entre un 10% y un 30%
o sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 10% y un 20%

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

- C. Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 20% y un 30% o sobre terreno rocoso con pendiente comprendida entre un 30% y un 50%
- D. Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente mayor al 30% o sobre terreno rocoso con pendiente mayor al 50%

3.4.5 Diafragmas Horizontales:

El quinto parámetro se refiere al forjado horizontal, donde se evalúa la calidad del sistema resistente de la losa entre pisos. Se analiza la eficiencia de la conexión entre la losa y los muros, así como la ausencia de desniveles.

La calidad del sistema resistente del piso es crucial, ya que afecta el correcto desempeño de los elementos estructurales verticales. Para una buena evaluación, se debe garantizar una deformabilidad despreciable en el plano del forjado, una conexión eficiente entre el diafragma y la mampostería, y la ausencia de desniveles en los pisos.

- A. Edificio con diafragmas, de cualquier naturaleza que satisfacen las condiciones:
 - 1. Ausencia de planos a desnivel
 - 2. La Deformabilidad del diafragma es despreciable
 - 3. La conexión entre el diafragma y los muros es eficaz
- B. Edificio con diafragma como los de la clase A, pero que no cumplen con una de las condiciones pasadas
- C. Edificio con diafragma como los de la clase A, pero que no cumplen con dos de las condiciones pasadas³
- D. Edificio cuyos diafragmas no cumplen ninguna de las tres condiciones

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

3.4.6 Configuración en planta

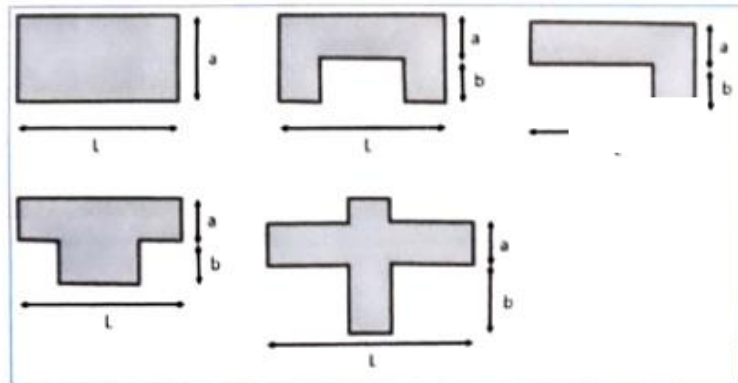
El comportamiento sísmico de una estructura depende de la forma en planta del mismo. En el caso de estructuras rectangulares es significativo la relación $\beta_1 = a/L$ entre las dimensiones en planta del lado menor y mayor. También es necesario tener en cuenta las protuberancias del cuerpo principal mediante la relación $\beta_2 = b/L$

Las condiciones para la calificación son las siguientes:

- A. Edificio con $\beta_1 \geq 0.8$ ó con $\beta_2 \leq 0.1$
- B. Edificio con $0.8 \geq \beta_1 \geq 0.6$ ó con $0.1 \leq \beta_2 \leq 0.2$
- C. Edificio con $0.6 \geq \beta_1 \geq 0.4$ ó con $0.2 \leq \beta_2 \leq 0.3$
- D. Edificio con $0.4 \geq \beta_1$ ó con $0.3 \leq \beta_2$

Figura 4

Tipos de Configuración en planta



3.4.7 Configuración en elevación

La presencia de torretas de altura y masa significativa respecto a la parte restante del edificio se reporta mediante la relación $1/H$.

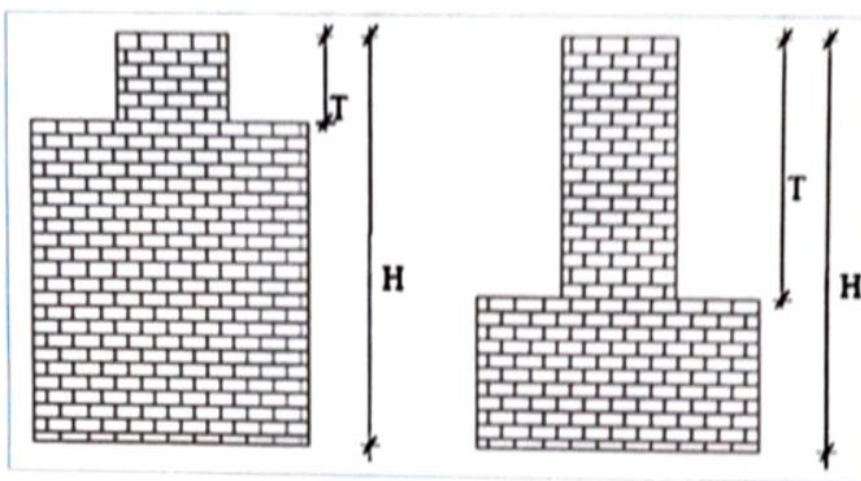
Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Se consideró lo siguiente:

La presencia de protuberancias o discontinuidades de los elementos estructurales verticales son condiciones principales para la evaluación de este parámetro. Para cuantificarlo se determinará la siguiente relación. T/H

Figura 5

Configuración en elevación



Fuente: *Guía de aplicación método Benedetti y petrini (vulnerabilidad sísmica)*

La calificación dependerá de las siguientes condiciones:

- A. si $0.75 < T/H$
- B. si $0.50 < T/H \leq 0.75$
- C. si $0.25 < T/H \leq 0.50$
- D. si $T/H \leq 0.25$

Adicionalmente se consideran factores como la variación de la masa ($\pm (\Delta M/M)\%$) o la superficie de pisos consecutivos, especialmente para evaluar porches ($\pm (\Delta A/A)\%$), donde A es la superficie del piso inferior. Se considerará para la calificación el factor más desfavorable.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

- A. Estructura con $-\Delta M/M < 10\%$
- B. Estructura con una superficie de porche menor al 10% o con $10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$
- C. Estructura con una superficie de porche entre 10% y 20% o con $-\Delta M/M > 20\%$ o $T/H < 2/3$
- D. Estructura con una superficie de porche mayor al 20% con $\Delta M/M > 0$ o con $T/H > 2/3$

3.4.8 Separación Máxima entre Muros

El Octavo parámetro es sobre el espaciamiento máximo entre muros, el cual tiene en cuenta el espaciamiento excesivo posible entre muros ubicados transversalmente a los muros maestros.

Se consideró lo siguiente:

Este factor se define mediante la siguiente relación L/S, donde:

L: Espaciamiento máximo entre muros transversales 63

S: Espesor del muro

- A. si $L/S \leq 15$
- B. si $15 < L/S \leq 18$
- C. si $18 < L/S \leq 25$
- D. si $25 \geq L/S$

3.4.9 Tipos de Cubierta

El noveno parámetro es sobre el tipo de cubierta en la que factores como la tipología de la cubierta y su peso, determinan la influencia de ella ante el comportamiento sísmico del edificio.

Se consideró lo siguiente:

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

los tipos de cubiertas debe ser lo suficientemente resistente ante un evento sísmico, el peso y la forma de la cubierta determinan dicho comportamiento. La calificación dependerá de:

A. Presencia de cubierta estable con viga cumbrera o de soporte. Edificio con cubierta plana.

B. Presencia de cubierta estable y bien conectada a los paneles de mampostería, sin viga de soporte. Edificio con cubierta parcialmente estable provista de viga de soporte.

C. Presencia de cubierta inestable, pero con viga de soporte.

D. Presencia de cubierta inestable sin viga de soporte.

3.4.10 Elementos no Estructurales

El décimo parámetro es sobre los elementos no estructurales y su importancia ante la presencia de un sismo, que influye en el efecto de un peligro colateral.

Se consideró lo siguiente:

Los elementos que no forman parte de los elementos estructurales principales también se deben ser evaluados, pues sus efectos después de la ocurrencia de un sismo pueden generar accidentes. Los elementos no estructurales por considerar son. Cornisas, parapetos, balcones o cualquier elemento que sobresalga de la estructura. Su calificación dependerá de:

A. Edificio sin cornisas, parapetos ni balcones. Edificios con cornisas bien conectadas a los muros, con chimeneas de pequeña dimensión y bajo peso.

B. Edificio con balcones que son extensiones de los diafragmas.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

C. Edificios con elementos externos a la estructura, de pequeña dimensión y mal conectados a la estructura principal.

D. Edificio con chimeneas o cualquier elemento externo a la estructura principal, de peso considerable y mal conectado a la estructura que pueden caer en caso de terremotos. Edificio con balcones sin conexión a los diafragmas o con balcones construidos en etapas posteriores a la de la construcción de la estructura, existiendo por ello un vínculo deficiente de dichos elementos a los muros de albañilería.

3.4.11 Estado de Conservación

El onceavo y último parámetro es sobre el estado de conservación actual de la estructura, ya que esta influye directamente en el comportamiento de la estructura ante la presencia de un sismo.

Se consideró lo siguiente:

El estado de conservación de la estructura se califica teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

A. Muros de mampostería en buenas condiciones, sin daño visible.

B. Muros con presencia de agrietamiento, tipo capilar no extendido en todo el muro, con la excepción de los casos en que dicho agrietamiento ha sido provocado por terremotos.

C. Muros con grietas de mediano tamaño (2 o 3 mm de espesor) o con agrietamiento tipo capilar de origen sísmico. Estructura que no presentan agrietamiento, pero se caracterizan por un estado mediocre de conservación de los paneles.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

3.4.12 Revisión Documental:

a. Identificación de documentos relevantes: Se inicia el proceso identificando los documentos pertinentes, como planos de construcción, informes de inspección previa, registros de mantenimiento y cualquier otra documentación relacionada con la estructura.

b. Recopilación de documentos: Se realiza la obtención de copias de los documentos identificados, ya sea a través de archivos electrónicos o físicos, según su disponibilidad y contando con la autorización pertinente de las partes, en este caso del INVIAS.

c. Análisis de documentos: Se examina minuciosamente cada documento para extraer información relevante sobre la historia de la estructura, los materiales utilizados en su construcción, los procedimientos de mantenimiento anteriores y cualquier otro detalle que pueda influir en su vulnerabilidad sísmica.

d. Registro de hallazgos: Se registran todos los hallazgos importantes y guarde copias de los documentos para su referencia futura.

3.4.13 Inspección Visual:

a. Preparación para la inspección: Se reúne el equipo necesario, como cámaras fotográficas, herramientas de medición y equipo de seguridad personal.

b. Realización de la inspección: Se realiza un recorrido tanto al interior como al exterior de la estructura, observando cuidadosamente cada área en busca de posibles puntos de vulnerabilidad, como grietas, deformaciones, corrosión o desgaste de materiales.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

c. Documentación visual: Se toman fotografías de acuerdo con lo solicitado para el análisis de las variables expuestas en el método de Benedetti-Petrini, mencionadas con anterioridad.

d. Evaluación de hallazgos: Se analizan los resultados de la inspección visual y se emplean como herramienta para la determinación de las diferentes variables expuestas en el método.

3.4.14 Bases de Datos Gubernamentales:

a. Acceso a las bases de datos: Acceso a las bases de datos gubernamentales pertinentes, en este caso específico a la página del Servicio Geológico Colombiano (SGC), utilizando los canales de acceso autorizados.

b. Consulta de información: Se realizan búsquedas en la base de datos utilizando criterios relevantes, como la ubicación geográfica de la estructura o el período de tiempo de interés.

c. Recopilación de datos: Extracción de datos sobre la actividad sísmica en la región donde se encuentra la estructura.

d. Análisis de datos: Análisis de la información recopilada para determinar el nivel de riesgo sísmico asociado a la ubicación geográfica de la estructura y su impacto potencial en su vulnerabilidad sísmica.

Al seguir estos procedimientos detallados para cada herramienta de recolección de información, se puede obtener una base sólida de datos para evaluar la vulnerabilidad sísmica de la estructura de acuerdo con los métodos de análisis de información contemplados para el presente proyecto.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

3.4.15 Índice de Vulnerabilidad Sísmica

a. Cálculo del índice: Aplicando el Método de Benedetti y Petrini, y de acuerdo al procedimiento establecido se asignarán puntajes a las características del edificio (tipo de construcción, estado de mantenimiento, geometría, etc.).

b. Interpretación del índice: El puntaje total se interpretará para determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica del edificio. Cuanto mayor sea el índice, mayor será el riesgo de sufrir daños ante un sismo.

3.5 Análisis de información

Para la determinación del índice de vulnerabilidad sísmica se implementará el Método de Benedetti y Petrini, una técnica que permite evaluar rápidamente la vulnerabilidad sísmica de edificios, particularmente aquellos construidos con mampostería. Este método consiste en asignar puntajes basados en diversas características estructurales del edificio, tales como el tipo de construcción, la geometría, los detalles constructivos y el estado de mantenimiento. Los puntajes se suman para obtener un índice que indica el nivel de vulnerabilidad del edificio ante un sismo: cuanto mayor es el índice, mayor es el riesgo de sufrir daños durante un terremoto.

3.5.1 Enfoque de análisis

El análisis de los datos se realizará mediante un enfoque cuantitativo. Los datos serán recolectados a través de inspecciones visuales, revisión documental y el cálculo del índice de vulnerabilidad sísmica utilizando el Método de Benedetti y Petrini.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

3.6 Consideraciones éticas

3.6.1 Análisis de consideraciones éticas

Para la realización del proyecto de investigación se deberá tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Consentimiento informado: Obtener el consentimiento informado de todas las partes involucradas en el proyecto, incluyendo a los empleados de la sede y a los responsables del Instituto Nacional de Vías.

Confidencialidad: Garantizar la confidencialidad de la información recopilada durante la evaluación, protegiendo los datos personales y cualquier otra información sensible.

Imparcialidad y objetividad: Realizar la evaluación de manera imparcial y objetiva, evitando cualquier sesgo que pueda influir en los resultados.

Transparencia: Ser transparente en todas las etapas del proyecto, desde la recopilación de datos hasta la presentación de los resultados, proporcionando información clara y accesible a todas las partes interesadas.

Propiedad intelectual: Se debe respetar la propiedad intelectual, realizando de forma adecuada las citas y referencias de los documentos consultados.

Formato de Consentimiento Informado

A continuación, se presenta un ejemplo del formato de consentimiento informado que será utilizado en la recolección de datos:

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Título del Proyecto: Evaluación del Índice de Vulnerabilidad Sísmica de la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

Investigador Principal: John Fredy Pachón Sánchez

Institución: Dirección Territorial Casanare del INVIAS

Descripción del Proyecto: Este proyecto tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad sísmica de la sede de la Dirección Territorial Casanare del INVIAS. Para ello, se llevará a cabo una inspección visual de la estructura, revisión documental y análisis técnico de los datos.

Procedimiento: Como parte del estudio, se recopilará información sobre la infraestructura del edificio y su estado actual. No se solicitará información personal de los empleados o responsables del edificio, salvo que sea necesario para aclarar aspectos técnicos relacionados con la estructura.

Riesgos y Beneficios: No se prevén riesgos significativos asociados a su participación en este proyecto. Los resultados del estudio proporcionarán una evaluación técnica que contribuirá a mejorar la seguridad del edificio en caso de un sismo.

Confidencialidad: Los datos recolectados serán tratados de manera confidencial y solo se utilizarán para los fines de este estudio. No se divulgará ninguna información que pueda identificar a los participantes o al INVIAS sin su consentimiento previo.

Voluntariedad: Su participación en este proyecto es completamente voluntaria y tiene derecho a retirarse en cualquier momento sin que ello afecte su relación con la institución o el proyecto.

Firma del Participante: _____

Fecha: _____

4 Variables e Hipótesis

El diseño de esta investigación se basa en el análisis de las siguientes variables e hipótesis:

4.1 Variables

Variable Dependiente: Índice de vulnerabilidad sísmica del edificio.

Definición: Nivel de susceptibilidad de la estructura ante un evento sísmico, calculado a través del Método de Benedetti y Petrini, utilizando diferentes factores estructurales y geográficos.

Unidad de Medida: Escala cualitativa y cuantitativa según las puntuaciones del método.

VARIABLES INDEPENDIENTES:

Condición de los elementos estructurales: Calidad y disposición de los muros de carga, columnas, diafragmas, y cimentación.

Materiales de construcción: Tipo y resistencia de los materiales utilizados, evaluados a través de inspección visual y revisión documental.

Posición y condiciones del terreno: Ubicación geográfica y características del suelo donde se asienta el edificio, basado en las bases de datos del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

4.2 Hipótesis

Hipótesis Principal:

Si el edificio presenta una organización estructural deficiente y utiliza materiales de baja calidad, entonces el índice de vulnerabilidad sísmica será alto, lo que incrementa el riesgo de daño significativo ante un evento sísmico.

Hipótesis Secundarias:

Si las conexiones entre los elementos estructurales del edificio no cumplen con las normativas sismorresistentes, la estructura será más vulnerable a un sismo.

Si el edificio está ubicado en un terreno inestable o con una inclinación superior al 30%, la vulnerabilidad sísmica será mayor debido a la baja capacidad del suelo para soportar la estructura en caso de un sismo.

Si los diafragmas horizontales presentan irregularidades, la distribución de las cargas sísmicas será ineficaz, aumentando el riesgo de colapso en la estructura.

4.3 Consideraciones Finales del Procedimiento

La integración de los datos (inspección visual, revisión documental y cálculo del índice de vulnerabilidad) permitirá generar un análisis del estado de la estructura. Las recomendaciones derivadas del análisis final serán utilizadas para proponer a la entidad responsable de la estructura estrategias para la mejora de la gestión del riesgo en la sede del INVIAS en Casanare.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

5 Resultados

De acuerdo con el procedimiento establecido en el capítulo 3.4 de la presente investigación, a continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los instrumentos:

5.1 Interpretación de Resultados y análisis de resultados

5.1.1 Revisión base de datos gubernamentales

Se realizó la consulta en el base de datos del Servicio Geológico Colombiano mediante el portal de datos abiertos – zonas de Amenaza sísmica, identificando que el municipio de Yopal Casanare se encuentra ubicado en zona de amenaza sísmica alta, lo que quiere decir que de igual forma la estructura donde funciona la sede de la dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de vías se encuentra en una zona de **RIESGO ALTO SISMICAMENTE**, tal como se detalla en la *figura 3. Zonificación Sísmica de Colombia*

Según el (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2024), el riesgo sísmico son las posibles pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, causadas por un sismo que es una de las manifestaciones propias de la dinámica de la tierra, y que se constituye en la amenaza sísmica al encontrar condiciones de vulnerabilidad de las personas, los bienes, la infraestructura o los medios de subsistencia.

La amenaza sísmica dicta en gran medida la intensidad de movimiento esperada a nivel de roca para un sitio, sin embargo, el movimiento que se puede llegar a sentir en diferentes puntos de la ciudad también está influenciado por el tipo de suelo en cada uno de ellos debido a los efectos locales.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

5.1.2 Calificación de parámetros de índice de vulnerabilidad según el método de Benedetti-Petrini.

5.1.2.1 Organización del Sistema Resistente

Consideramos lo siguiente.

A. Edificación construida de acuerdo con normativas sismo resistentes.

B. Edificación que presenta conexión mediante vigas o collares de amarre y enmarque de muros, utilizadas para transmitir las cargas verticales aplacadas a los muros en todos los niveles de la estructura.

C. Deficiencia respecto al punto B, pero presenta buena ligazón entre sus paredes ortogonales resistentes.

D. Edificio que no tiene sus paredes resistentes bien ligadas

Las instalaciones fueron construidas hace aproximadamente 40 años, es decir en el año 1983, lo anterior indica que la estructura fue construida sin tener en cuenta los parámetros de sismorresistencia colombianos, lo anterior teniendo en cuenta que el 7 de junio de 1984 se expidió por medio del Decreto 1400 de 1984 la primera normativa colombiana de construcciones sismo resistentes, fecha la cual sería posterior a la construcción de la estructura.

De acuerdo con (Positiva Compañía de Seguros , 2018) La estructura cuenta con las siguientes características de construcción:

(...) Cimientos: Cimentación en concreto con vigas de amarre y sobre cimientos, zapatas en concreto armado.

Estructura: En ferro concreto, muros en ladrillo.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Mampostería: En ladrillo cocido repellados y pintados.

Cubiertas: Teja de asbesto-cemento...

De acuerdo con lo anterior, se establece que en cuanto al parámetro de “Organización del sistema resistente”, la estructura se encuentra ubicada en el parámetro **C. Deficiencia respecto al punto B, pero presenta buena ligazón entre sus paredes ortogonales resistentes.**

Figura 6

Organización del sistema resistente



Nota. Organización del Sistema Resistente, fuente: propia

5.1.2.2 Calidad del Sistema Resistente

Consideramos lo siguiente.

A. El sistema resistente de la edificación presenta tres características: - Mampostería en ladrillo de buena calidad con piezas homogéneas y de dimensiones constantes por toda la extensión del muro - Presencia de verticalidad en las unidades de albañilería - Mortero de buena calidad con espesor de la mayoría de las pegas entre 1 y 1.5 cm.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

B. El sistema resistente del edificio no presenta una de las características de la clase A.

C. El sistema resistente del edificio no presenta dos de las características de la clase A.

D. El sistema resistente del edificio no presenta ninguna de las características de la clase A.

De acuerdo con la verificación visual realizada en tanto en el exterior como en el interior de los muros de la estructura, se llega a la conclusión que el parámetro adecuado para calificar la calidad del sistema resistente es la **C. El sistema resistente del edificio no presenta dos de las características de la clase A**, Lo anterior teniendo en cuenta que la estructura fue construida hace alrededor de 40 años, y se evidencian que los ladrillos tienen cierto desgaste por el transcurso del tiempo, y la pega (mortero) entre ellos es inferior a 1 cm.

Figura 7

Calidad del sistema resistente



Nota. Calidad del Sistema Resistente, fuente: propia

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

5.1.2.3 Resistencia Convencional

Consideramos lo siguiente:

Estructura con un valor de $\alpha \geq 1$

Estructura para valores comprendidos entre $0.6 \leq \alpha \leq 1$

Estructura para valores comprendidos entre $0.4 \leq \alpha \leq 0.6$

Estructura con un valor de $\alpha < 0.4$

Para el análisis de este parámetro de debe tener en cuenta nuevamente las características de construcción en cuanto a los materiales con los que está construida la estructura y adicionalmente se llevó a cabo un levantamiento en planta de las instalaciones con el fin de poder obtener los valores de áreas en el eje X y áreas en el eje Y, tal como se detalla en la *figura 1*, necesarias para la aplicación de la ecuación que se muestra a continuación,

La evaluación de este parámetro está en función de la siguiente expresión:

$$c = \frac{a_o \cdot t_k}{q \cdot N} \sqrt{1 + \frac{q \cdot N}{1.5 \cdot a_o \cdot t_k \cdot (1 + y)}}$$

$$q = \frac{(A + B) \cdot h}{A_t} \cdot P_m + P_s$$

$$\alpha = \frac{C}{\bar{C}}$$

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Donde:

N: Número de Pisos

tk: Resistencia a cortante del muro de mampostería

At: Área total cubierta en planta (m²)

Ax: Área total resistente de los muros en la dirección x (m²)

Ay: Área total resistente de los muros en la dirección y (m²)

h: Altura promedio de entrepisos (m)

Pm: Peso Específico de la mampostería (T/m³)

Ps: Peso por unidad de área del diafragma (T/m²)

$A = \min [Ax; Ay]$

$B = \max [Ax; Ay]$

$a_0 = A/At$

$\gamma = B/A$

Tabla 2

Áreas resistentes en dirección AX, AY

AREA TOTAL RESISTENTE EN LA DIRECCION AX, AY							
MURO	L	T	L*T	MURO	L	T	L*T
X1	7.81	0.2	1.562	Y1	4.72	0.2	0.944
X2	1.38	0.2	0.276	Y2	1.6	0.2	0.32
X3	7.61	0.2	1.522	Y3	8.16	0.2	1.632
X4	5.89	0.2	1.178	Y4	2.97	0.2	0.594
X5	9.21	0.2	1.842	Y5	3	0.2	0.6
X6	2.21	0.2	0.442	Y6	2.03	0.2	0.406
X7	10.65	0.2	2.13	Y7	2.23	0.2	0.446
X8	5	0.2	1	Y8	8.03	0.2	1.606
X9	10.87	0.2	2.174	Y9	4.12	0.2	0.824
X10	2.47	0.2	0.494	Y10	2.38	0.2	0.476
X11	2.47	0.2	0.494	Y11	3.77	0.2	0.754
X12	2.25	0.2	0.45	Y12	4.08	0.2	0.816
X13	0.77	0.2	0.154	Y13	0.96	0.2	0.192
				Y14	1.55	0.2	0.31
	AX		13.718		AY		9.92

Fuente: Elaboración propia

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

A= 9.92 y B= 13.718

Tabla 3

Calculo resistencia convencional

Datos	Valores
N: Número de pisos	1.000
Tk: Resistencia cortante, característica del tipo de mampostería en ton/m2.	18.000
Pm: Peso específico de la mampostería ton/m3	1.800
Ps: Peso por unidad de área del diafragma ton/m2	0.400
H: Altura de entrepiso(m)	4.000
At: Área total cubierta	192.000
Amin	9.920
Bmáx	13.718
α_0	0.052
γ	1.383
Q	4085.046
C	0.008
C'	0.350
$\alpha=C/C'$	0.023
α	0.023

De acuerdo con lo anterior, se determina que para el parámetro de Resistencia Convencional la opción adecuada es la **A. Estructura con un valor de $\alpha < 0.4$.**

5.1.2.4 Posición del Edificio y de la Cimentación

Para la evaluación de este parámetro se considera.

A. Edificio cimentado sobre terreno estable con pendiente inferior o igual al 10 %

B. Edificio cimentado sobre roca con pendiente comprendida entre un 10 % y un 30% o sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 10% y un 20%.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

C. Edificio con diafragma como los de la clase A, pero que no cumplen con dos de las condiciones.

D. Edificio cuyos diafragmas no cumplen ninguna de las tres condiciones.

Teniendo en cuenta las condiciones geológicas del terreno donde se encuentra construida la estructura, la cual es en zona plana (Llano) se considera que la opción más factible para este parámetro es la **A. Edificio cimentado sobre terreno estable con pendiente inferior o igual al 10 %.**

Figura 8

Posición del edificio y de la cimentación



Nota. Posición del Edificio y de la Cimentación, fuente: propia

5.1.2.5 Diafragmas Horizontales

Consideraciones para este parámetro.

A. Edificio con diafragmas de cualquier naturaleza que satisfacen las condiciones:

1. Ausencia de planos de desnivel y placas de concreto

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

2. La deformabilidad del diafragma es despreciable

3. La conexión entre el diafragma y los muros es eficaz.

B. Edificio con diafragma como los de la clase A, pero no cumplen con una de las condiciones.

C. Edificio con diafragma como los de la clase A, pero que no cumplen con dos de las condiciones.

D. Edificio cuyos diafragmas no cumplen ninguna de las tres condiciones.

De acuerdo con la verificación visual realizada a la infraestructura de la edificación, se aprecia que no se cuenta con diafragmas horizontales, lo anterior teniendo en cuenta que la edificación se compone de muros de mampostería en ladrillo doble, el cual genera un soporte para la estructura de viguetas y vigas sobre la cual se encuentra apoyada la cubierta compuesta de teja de ternit, por lo cual no se forman diafragmas horizontales, de acuerdo con lo anterior la opción para este parámetro sería **C. Edificio con diafragma como los de la clase A, pero que no cumplen con dos de las condiciones.**

Figura 9

Diagramas horizontales



Nota. Diafragmas Horizontales, fuente: propia

5.1.2.6 Configuración en Planta

Consideraciones para este parámetro.

- A. Edificio con $\beta_1 \geq 0.8$ ó $\beta_2 \leq 0.1$
- B. Edificio con $0.8 \geq \beta_1 \geq 0.6$ ó $0.1 \leq \beta_2 \leq 0.2$
- C. Edificio con $0.6 \geq \beta_1 \geq 0.4$ ó $0.2 \leq \beta_2 \leq 0.3$
- D. Edificio con $0.4 \geq \beta_1$ ó $0.3 \leq \beta_2$

La irregularidad en planta β_1 determina el buen o mal comportamiento ante los eventos sísmicos, este índice se determina mediante la relación del ancho y el largo de la edificación objeto de estudio, para la presente, los datos de ancho y largo son los siguientes:

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Tabla 4

Irregularidad en planta

Ancho (mts)	15.36
Largo (mts)	30.92
β_1	0.4967

De acuerdo con lo anterior, la opción para este parámetro es la **C. Edificio con $0.6 > \beta_1 > 0.4$ ó $0.2 < \beta_2 < 0.3$**

5.1.2.7 Configuración en Elevación

Consideraciones para este parámetro.

A. si $0.75 < T/H$

B. si $0.50 < T/H \leq 0.75$

C. si $0.25 < T/H \leq 0.50$

D. si $T/H \leq 0.25$

De acuerdo con las medidas en planta de la estructura objeto de estudio, se tiene una altura de 3.5 mts y una distancia desde las vigas a la cubierta de 0.5 m, por lo cual la relación T/H quedaría de la siguiente forma:

$$\frac{T}{H} = \frac{0.5 \text{ mts}}{3.5 \text{ mts}} = 0.14$$

Por lo cual la opción que más se ajusta para este parámetro es la **D. si $T/H \leq 0.25$**

Es importante mencionar, que la distancia T no se aprecia adecuadamente en el registro fotográfico debido a que está cubierta por cielo Razo tipo drywall.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Figura 10

Configuración en elevación



Nota. Configuración en Elevación, fuente: propia

5.1.2.8 Separación Máxima Entre Muros.

Para la ecuación se consideró

A. si $L/S \leq 15$

B. si $15 < L/S \leq 18$

C. si $18 < L/S \leq 25$

D. si $25 < L/S$

Para este parámetro se consideró que el método constructivo de la edificación contemplo muros de carga, los cuales soportan el peso máximo de la estructura de las vigas longitudinales y

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

transversales y de la cubierta de la edificación, de tal modo que para el presente parámetro se tomara la longitud máxima de un muro continuo que se encuentra entre la zona compartida entre el área técnica y el área administrativa del edificio, la longitud de este muro es de 6.4 mts con un espesor de 0.2 mts, de tal forma que se tiene la siguiente relación:

$$\frac{L}{S} = \frac{6.4 \text{ mts}}{0.2 \text{ mts}} = 32$$

De acuerdo con lo anterior, la opción que más se adapta a este parámetro es la **D. si 25 <**

L/S.

Figura 11

Separación máxima entre muro - longitud



Nota. Separación Máxima Entre Muros- longitud, fuente: propia

Figura 12

Separación máxima entre muros - grosor



Nota. Separación Máxima Entre Muros – grosor, fuente: propia

5.1.2.9 Tipos de Cubierta.

Consideraciones para este parámetro son:

- A. Presencia de cubierta estable con viga cumbre o de soporte. Edificio con cubierta plana.
- B. Presencia de cubierta estable y bien conectada a los paneles de mampostería, sin viga de soporte.
- C. Presencia de cubierta inestable, pero con viga de soporte.
- D. Presencia de cubierta inestable sin viga de soporte.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

La edificación cuenta con cubierta en teja de Eternit antigua, la cual por su antigüedad es inestable incluso presentando agrietamiento y ahuecamiento, esta se encuentra soportada sobre una viga soporte que a su vez se encuentra soportada por los muros de carga, de tal modo que la opción que más se ajusta para este parámetro es la **C. Presencia de cubierta inestable, pero con viga de soporte.**

Figura 13

Tipos de Cubierta



Nota. Tipos de Cubierta, fuente: propia

5.1.2.10 Elementos no Estructurales.

Consideremos los siguientes criterios:

A. Edificio sin cornisas, parapetos ni balcones. Edificio con cornisas bien conectadas a los muros, con chimeneas de pequeña dimensión y bajo peso.

B. Edificio con balcones que son extensiones de los diafragmas

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

C. Edificios con elementos externos a la estructura, de pequeña dimensión y mal conectados a la estructura principal.

D. Edificio con chimeneas o cualquier elemento externo a la estructura principal, de peso considerable y mal conectado a la estructura que pueden caer en caso de terremotos. Edificio con balcones sin conexión a los diafragmas o con balcones construidos en etapas posteriores a la de la construcción de la estructura, existiendo por ello un vínculo deficiente de dichos elementos a los muros de albañilería.

Si bien la edificación no cuenta con balcones ni cornizas, lo anterior por ser una estructura de una sola planta, si cuenta con extensiones adicionales que extiende la cubierta alrededor de 2 metros por cada cara, los cuales se encuentran soportados sobre columnas de mampostería en ladrillo y mortero de doble fila, por lo cual se considerara como mejor opción para el décimo parámetro la **D. Edificio con chimeneas o cualquier elemento externo a la estructura principal, de peso considerable y mal conectado a la estructura que pueden caer en caso de terremotos. Edificio con balcones sin conexión a los diafragmas o con balcones construidos en etapas posteriores a la de la construcción de la estructura, existiendo por ello un vínculo deficiente de dichos elementos a los muros de albañilería.**

5.1.2.11 Estado de Conservación.

Consideraciones para este parámetro.

A. Muros de mampostería en buenas condiciones, sin daño visible.

B. Muros con presencia de agrietamiento, tipo capilar no extendido en todo el muro, con la excepción de los casos en que dicho agrietamiento ha sido provocado por terremotos.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

C. Muros con grietas de mediano tamaño (2 o 3 mm de espesor) o con agrietamiento tipo capilar de origen sísmico. Estructura que no presentan agrietamiento, pero se caracterizan por un estado mediocre de conservación de los paneles.

D. Muros que presentan un grave deterioro en las características físicas de los materiales de construcción o con agrietamiento superior a 3mm

Dentro del análisis de este parámetro se debe tener en cuenta que si bien el Instituto Nacional de Vías anualmente le realiza mantenimiento a la edificación, las condiciones de antigüedad pueden generar ciertos estados de riesgo sobre la estructura, de forma general no se observan agrietamientos en las vigas ni en los muros, no obstante, en la sala técnica si se observa una fisura de alrededor de 1 mm, la cual se puede haber presentado debido a algún movimiento sísmico, debido a lo anterior, se determina que la mejor opción para categorizar este parámetro es la opción **D. Muros que presentan un grave deterioro en las características físicas de los materiales de construcción o con agrietamiento superior a 3mm.**

Figura 14

Estado de Conservacion



Nota. Estado de Conservación, fuente: propia.

5.1.3 Análisis de Resultados

De acuerdo con el análisis realizado con anterioridad, se tienen los siguientes resultados para cada uno de los once parámetros de escala de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini, y de igual forma, se presenta la sumatoria obtenida la cual me determinar el tipo de vulnerabilidad en el que se encuentra la estructura.

Tabla 5

Escala de vulnerabilidad

ESCALA DE VULNERABILIDAD DE BENEDETTI Y PETRINI						
PARÁMETROS	CLASE Ki				PESO WI	VALOR OBTENIDO
	A	B	C	D		
1. Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1	20
2. Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25	6.25
3. Resistencia convencional	0	5	25	45	1.5	0
4. Posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75	0
5. Diafragma horizontal	0	5	15	45	1	15
6. Configuración en planta	0	5	25	45	0.5	12.5
7. Configuración en elevación	0	5	25	45	1	45
8. Distancia máxima entre muros	0	5	25	45	0.25	11.25
9. Tipos de cubierta	0	15	25	45	1	25
10. Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25	11.25
11. Estado de conservación	0	5	25	45	1	45
					Sumatoria	191.5

Los parámetros se dividen en cuatro clases: A, B, C y D, las cuales se asignan según un estudio detallado. Estas clases tienen valores que oscilan entre 0 y 45, representados por "Ki" en función de la clase. Por ejemplo, si al evaluar el parámetro 2 se obtiene la clase "C", el valor de Ki sería 25.

Como se puede observar en la Tabla anterior, el Coeficiente de Peso "Wi" puede fluctuar entre 0.25 y 1.50, siendo un dato relevante para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad "Vi", utilizando la ecuación correspondiente.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

En cuanto a los parámetros, algunos son de naturaleza descriptiva, como los parámetros 1, 2, 4, 5, 9, 10 y 11, mientras que otros, como los parámetros 3, 6, 7 y 8, son obtenidos mediante cálculos matemáticos.

El índice de vulnerabilidad que tiene la Sede de la Dirección Territorial Casanare del INVIAS frente a eventos sísmicos se puede clasificar de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 6

Rangos de vulnerabilidad sísmica

VULNERABILIDAD	RENGOS Iv
VULNERABILIDAD BAJA	0-95.63
VULNERABILIDAD DE MEDIA A BAJA	95.63-191.30
VULNERABILIDAD DE MEDIA A ALTA	191.30-286.30
VULNERABILIDAD ALTA	286.30-382.50

De acuerdo con lo anterior, se tiene que la edificación se encuentra en un riesgo **medio alto de vulnerabilidad sísmica**.

5.2 Propuesta de Estrategias para la Mejora de la Gestión de Riesgos Sísmicos

En base al índice de vulnerabilidad sísmica de la sede de la Dirección Territorial Casanare del INVIAS el cual posiciona a la Estructura existente con un riesgo **medio alto de vulnerabilidad** (puntaje de 191.5), se presentan las siguientes estrategias de forma general, las cuales deberán ser estudiadas y aterrizadas por la entidad competente, en este caso el INVIAS.

5.2.1 Refuerzo Estructural de Componentes Críticos

De acuerdo con la página web (Desarrollosesc1:100, 2023), Hay diversas maneras de reforzar una estructura, y la elección de la técnica de refuerzo adecuada depende de varios

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

factores, como el tipo de estructura, la causa de la debilidad y la magnitud de las cargas a las que estará sometida. En general, el objetivo del reforzamiento es mejorar la capacidad de una estructura para resistir cargas o deformaciones, lo que puede lograrse de varias maneras. Una de las formas más comunes de reforzar una estructura es mediante la adición de elementos estructurales. Esto puede incluir la instalación de vigas y columnas adicionales, refuerzos de acero o concreto, cables de tensión y otros componentes que aumenten la resistencia y la rigidez de la estructura.

✓ **Incorporación de Columnas y Zapatas en Puntos Estratégicos**

Dado que la estructura depende exclusivamente de los muros de mampostería para su estabilidad, un primer paso crítico es la instalación de elementos verticales de soporte (columnas) y fundaciones adecuadas (zapatas) en puntos clave, como las esquinas y otros lugares estratégicos de la edificación. Las columnas de concreto armado, diseñadas según las especificaciones de resistencia de materiales y cargas estimadas, pueden ayudar a redistribuir las cargas verticales y laterales, mitigando el riesgo de colapso de los muros de mampostería.

Para ello, se debe:

Diseñar zapatas aisladas o corridas de dimensiones adecuadas para soportar el peso combinado de los muros y la cubierta. Esto implica un estudio del suelo para determinar su capacidad de carga y así calcular las dimensiones de las zapatas.

Instalar columnas de concreto armado en las esquinas y, si es posible, a intervalos regulares a lo largo de los muros más largos, conectándolas a los muros de mampostería mediante anclajes y mallas de acero.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Integrar las columnas con la viga aérea existente mediante conexiones de acero para garantizar una transferencia efectiva de las cargas.

Las columnas permiten transformar la estructura en un sistema más resistente a fuerzas horizontales (sismos) y reducen significativamente el riesgo de fallos en los muros de mampostería que, por sí solos, tienen una baja capacidad de resistencia sísmica.

✓ **Refuerzo de Muros con Encamisado Estructural de Mallas Electrosoldadas**

Otra técnica efectiva es el encamisado de los muros de mampostería mediante mallas de acero electrosoldadas, que se fijan sobre la superficie exterior de los muros y se recubren con una capa de mortero estructural o concreto lanzado. Este sistema de refuerzo incrementa tanto la rigidez como la ductilidad de los muros, mejorando su comportamiento bajo cargas sísmicas al evitar desprendimientos y grietas.

Para implementar este método, es necesario:

Instalar mallas de acero electrosoldadas (de diámetro adecuado según el cálculo estructural) sobre ambas caras de los muros. Las mallas deben fijarse a los muros mediante pernos o anclajes químicos, asegurando una buena adherencia.

Aplicar un recubrimiento de concreto o mortero de alta resistencia con un espesor mínimo de 3-5 cm, dependiendo del diseño estructural. El recubrimiento encapsula las mallas y aumenta la capacidad portante del muro, reduciendo su vulnerabilidad sísmica.

Considerar el uso de fibras de refuerzo en el mortero para incrementar la resistencia a la tracción y reducir la posibilidad de fisuración bajo cargas cíclicas.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

El encamisado es particularmente útil para estructuras de mampostería en zonas sísmicas, ya que dota a los muros de una capacidad de deformación inelástica controlada, lo cual permite que absorban y disipen energía sísmica de manera más eficiente.

✓ **Refuerzo de la Cubierta para Crear un Diafragma Rígido**

El refuerzo de la viga aérea y la cubierta para que funcionen como un diafragma rígido es esencial en una edificación de este tipo, ya que el diafragma permite distribuir de forma uniforme las cargas horizontales (por ejemplo, fuerzas sísmicas) hacia todos los muros. Un diafragma rígido limita los movimientos diferenciales entre muros, evitando que trabajen de forma independiente y mitigando el riesgo de colapsos parciales.

Para lograr un diafragma rígido:

Refuerza la viga aérea con materiales de alta resistencia, como platinas de acero o fibra de carbono, que aumentan su capacidad de carga y rigidez. Este refuerzo debe diseñarse para soportar las cargas combinadas de los muros y la cubierta.

Instala un sistema de rigidización de la cubierta, utilizando materiales como placas de acero o madera contrachapada estructuralmente tratada y atornillada a la viga. Esto crea un plano de rigidez adicional que ayuda a redistribuir cargas laterales y mejora la estabilidad de la estructura.

Conecta el diafragma rígido a los muros y columnas, utilizando anclajes o conectores de acero. Las conexiones deben ser calculadas para soportar las cargas de corte inducidas durante un evento sísmico, lo cual asegura que el sistema funcione como un conjunto integrado.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

La instalación de un diafragma rígido es crucial para evitar la deformación en planta de la estructura, lo cual es una de las principales causas de daños en edificaciones de mampostería en zonas sísmicas.

✓ **Refuerzo de la Viga Aérea para Soportar Cargas Adicionales**

Dado que la viga aérea es el elemento principal de soporte en la estructura, es fundamental reforzarla para mejorar su capacidad de carga y reducir las deformaciones. Esto puede lograrse mediante el refuerzo con materiales de alta resistencia, lo cual incrementa su capacidad flexural y le permite soportar las demandas de carga impuestas por la cubierta y las fuerzas laterales.

Para el refuerzo de la viga aérea:

Implementa platinas de acero en la cara inferior de la viga mediante pernos o anclajes químicos, lo cual aumenta la resistencia a flexión.

Considera el uso de sistemas de refuerzo con fibra de carbono aplicados en capas en las zonas de mayor esfuerzo. Las fibras de carbono son ligeras y altamente resistentes, y se adhieren directamente a la superficie de la viga, aumentando su capacidad sin añadir un peso considerable.

Conecta la viga a los muros y columnas adyacentes mediante anclajes laterales, mejorando la estabilidad lateral de la estructura.

Este refuerzo es especialmente útil para reducir la posibilidad de colapso progresivo en caso de sismo, ya que refuerza el punto de soporte principal de la cubierta.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

✓ **Conexión de Muros y Viga Aérea con Anclajes de Acero**

Finalmente, para garantizar que los muros de mampostería no se desplomen bajo la acción de cargas laterales, es esencial instalar anclajes de acero que vinculen firmemente la viga aérea con los muros. Este sistema de conexión ayuda a evitar movimientos diferenciales y garantiza que los muros trabajen de manera conjunta con el diafragma y las columnas.

El procedimiento para esta conexión incluye:

Insertar anclajes de acero de alta resistencia en la viga aérea y en puntos estratégicos de los muros de mampostería. Estos anclajes deben diseñarse para resistir las cargas de tracción y compresión que puedan generarse durante un evento sísmico.

Sellar las conexiones con resinas epóxicas o anclajes químicos para asegurar una unión robusta y duradera. La resina contribuye a mantener la adherencia del acero al muro de mampostería, aumentando su resistencia.

Utilizar placas de acero en los puntos de anclaje para distribuir de forma uniforme las fuerzas de conexión y reducir el riesgo de daño local en la mampostería.

Estas conexiones ayudarán a que los muros, la viga y el diafragma actúen como un solo sistema estructural, lo cual es crucial para mejorar el comportamiento sísmico de la estructura y reducir su vulnerabilidad ante eventos extremos.

5.2.2 Recomendaciones generales para mejorar la gestión del riesgo

5.2.2.1 Capacitación del Personal en Gestión de Riesgos

Como una recomendación general, y de acuerdo con las condiciones de vulnerabilidad y amenaza sísmica determinadas con anterioridad y expuestas en el apartado de resultados, se

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

recomienda a la entidad correspondiente, capacitar al personal que se encuentra en la sede de la dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías en temas de evacuación y seguridad sísmica, ya que ante la evidencia de posible afectación sísmica, mantener al personal capacitado garantiza una respuesta rápida y eficiente ante cualquier emergencias. La (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - Colombia, 2024) enfatiza la importancia de la formación en gestión de riesgos en instituciones públicas para asegurar la preparación ante desastres naturales, y también es importante tener presente, que aunque no se conozca el detalle de cómo, cuándo y dónde será el próximo sismo, si se puede conocer las regiones expuestas a la amenaza sísmica, por lo que es necesario conocer las condiciones de riesgo y tomar medidas de reducción del riesgo y preparación para la respuesta en todos los niveles.

5.2.2.2 Planificación de Mantenimiento Preventivo

Se recomienda establecer un programa regular de mantenimiento preventivo para evaluar continuamente el estado de conservación de la edificación, con especial atención a los muros, techos y cimentación. Este mantenimiento preventivo busca asegurar la identificación temprana y reparación oportuna de cualquier daño, alineándose con las normativas aplicables, especialmente en zonas de alta amenaza sísmica,

✓ Frecuencia de Inspección

Trimestralmente: Realizar inspecciones visuales generales de la estructura.

Anualmente: Ejecutar una revisión exhaustiva y detallada de los elementos estructurales críticos, con la participación de un ingeniero estructural si es necesario. Esta revisión anual incluye pruebas técnicas para identificar daños menos evidentes.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

✓ **Evaluación de Muros**

Objetivo: Monitorear la integridad de los muros portantes y divisores, evaluando la presencia de grietas, fisuras o deformaciones que pudieran comprometer la estructura.

Método: Inspección visual y, si se detectan fisuras, el uso de testigos de yeso o dispositivos de monitoreo para observar cambios. Registrar y hacer seguimiento a grietas que puedan crecer o ensancharse con el tiempo.

Acciones Correctivas: Reparar inmediatamente fisuras menores con mortero o sellador. Para daños estructurales significativos, reforzar el área afectada de acuerdo con recomendaciones técnicas y normativas.

✓ **Inspección y Mantenimiento de Techos y Cubiertas**

Objetivo: Asegurar que los techos estén en condiciones óptimas, evitando problemas de sobrecarga o filtraciones que podrían afectar la estructura y resistencia general.

Método: Realizar inspecciones visuales para identificar filtraciones, signos de corrosión, o acumulación de residuos. Revisar y limpiar el sistema de drenaje en techos, incluyendo canaletas y bajantes.

Acciones Correctivas: Reparar o sellar filtraciones inmediatamente. Aplicar revestimientos impermeabilizantes si es necesario y mantener el sistema de drenaje limpio para evitar acumulaciones de agua.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

✓ **Monitoreo y Registro del Estado Estructural**

Objetivo: Llevar un registro detallado de cada inspección, reparación y mantenimiento realizado.

Método: Documentar las condiciones observadas en cada inspección, registrar fotografías y detalles de los trabajos de mantenimiento, y mantener un historial que permita evaluar patrones de desgaste o vulnerabilidad.

Acciones Correctivas: Revisar el plan de mantenimiento preventivo anualmente para ajustar frecuencias o métodos de inspección, según el historial y condiciones observadas en el edificio.

5.3 Discusión

Los resultados obtenidos en el análisis de vulnerabilidad sísmica de la sede de la Dirección Territorial Casanare del INVIAS, con un índice total de 191.5 en la escala Benedetti-Petrini, indican una clasificación de vulnerabilidad media-alta. Este hallazgo concuerda con estudios previos que sugieren que edificaciones construidas antes de la implementación de normativas sísmicas, como la NSR-10, tienden a presentar deficiencias estructurales. En este sentido, (Garcés Mora, 2017) resalta que las viviendas de mampostería confinada en Colombia, similares en antigüedad y características a la edificación evaluada, suelen ser susceptibles a daños durante eventos sísmicos, especialmente por irregularidades en su configuración.

Al comparar estos resultados con los estudios de Rodríguez et al. (2021), quienes analizaron edificaciones de características similares en el mismo contexto geográfico, se observa que los elementos no estructurales, como cubiertas y muros, suelen ser los principales factores de

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

riesgo en la mayoría de los casos. Esto concuerda con el análisis presentado, en el que la cubierta y los elementos no estructurales obtuvieron clasificaciones de alta vulnerabilidad (Clase D).

Los resultados también contradicen parcialmente la investigación de Gómez (2019), que argumenta que la configuración en planta es usualmente el factor determinante en el colapso estructural de edificaciones durante eventos sísmicos en Colombia. En este análisis, aunque la configuración en planta presentó una vulnerabilidad moderada (Clase C), la configuración en elevación fue el parámetro con mayor riesgo, sugiriendo que las fallas estructurales en altura podrían representar un mayor peligro para esta edificación específica.

Además, el análisis también se enriquece con la información contenida en el documento de Positiva Compañía de Seguros (2018), que menciona que la ubicación de la edificación está en una zona de riesgo alto debido a la cercanía de fallas geológicas activas. Esto subraya la importancia de no solo considerar las características constructivas, sino también el contexto geológico, como se evidenció en los estudios de (Zora Mejía & Acevedo Jaramillo, 2019), quienes analizaron la vulnerabilidad sísmica de escuelas en el Área Metropolitana de Medellín y encontraron patrones similares de riesgo.

En resumidas cuentas, mientras que los resultados obtenidos se alinean con las conclusiones de varios estudios sobre la vulnerabilidad sísmica y la calidad del sistema estructural, destacan áreas de preocupación adicionales, especialmente en relación con la configuración en elevación y la distancia entre muros. Esto sugiere que las intervenciones deben enfocarse en estos aspectos para mejorar la capacidad sísmica de la edificación y mitigar los riesgos. Asimismo, es crucial alinear las estructuras existentes con las normativas sísmicas

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

actuales para garantizar la seguridad de los ocupantes y la continuidad operativa de la Dirección Territorial Casanare del INVIAS.

6 Conclusiones

El cálculo del índice de vulnerabilidad sísmica utilizando el método de Benedetti-Petrini refleja que el edificio se encuentra en un nivel de vulnerabilidad medio alto. Esto se debe a las deficiencias estructurales, tales como la antigüedad de la construcción, los materiales empleados, y la falta de diseño sismorresistente. Estos factores indican una susceptibilidad significativa a daños en caso de un sismo de magnitud considerable.

La sede del INVIAS se encuentra en una zona de alta amenaza sísmica, de acuerdo con la revisión realizada a los mapas de amenaza sísmica del Servicio Geológico Colombiano, lo que aumenta la probabilidad de exposición a eventos sísmicos significativos. Este factor geográfico, combinado con las debilidades estructurales detectadas, destaca la urgencia de fortalecer el edificio conforme a las normativas actuales. Esta situación plantea la necesidad de implementar programas de capacitación en gestión de riesgos para el personal, con el fin de garantizar una respuesta adecuada en caso de un sismo.

La ubicación geográfica de la sede del INVIAS en una zona de alta amenaza sísmica incrementa de forma considerable el riesgo para la estructura y sus ocupantes. La alta probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos en esta área, sumada a la vulnerabilidad estructural identificada, subraya la necesidad urgente de adoptar medidas de mitigación para reducir el riesgo de colapso o daños severos.

El índice de vulnerabilidad sísmica calculado sugiere que, ante un sismo, la sede presenta una probabilidad alta de sufrir daños estructurales significativos, debido a que las características de construcción y el estado de conservación no cumplen con los estándares actuales de sismo-

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

resistencia. Esto implica que incluso sismos de intensidad moderada podrían ocasionar deterioros graves, exacerbados por la clasificación de amenaza sísmica alta en la región.

Dada la alta vulnerabilidad sísmica y la clasificación de riesgo en Yopal, es esencial implementar un plan de reforzamiento estructural que aborde las debilidades en elementos clave del edificio, como los diafragmas horizontales y las conexiones de muros. Estas intervenciones son críticas para mejorar la resistencia de la estructura y reducir el índice de vulnerabilidad ante un evento sísmico.

Considerando el alto índice de vulnerabilidad sísmica y el riesgo asociado con la amenaza sísmica alta en Yopal, es crucial que el personal del INVIAS reciba capacitación en gestión de riesgos y procedimientos de emergencia. Esta formación contribuirá a la preparación ante un sismo y facilitará una respuesta eficiente y organizada para proteger la seguridad de los ocupantes y visitantes del edificio.

Este análisis y la determinación del índice de vulnerabilidad sísmica para la sede del INVIAS en Yopal destacan la importancia de realizar evaluaciones similares en otras edificaciones públicas en zonas de alta amenaza sísmica. Los resultados de este estudio pueden servir como referencia para mejorar la seguridad estructural en otros edificios públicos, contribuyendo a una planificación de infraestructura resiliente y segura en el contexto colombiano.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Referencias

Basset Salom, L., & Guardiola Villora, A. (01 de junio de 2015). *Escenarios de riesgo sísmico del distrito del Eixample de la ciudad de Valencia*. Obtenido de 3. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica: https://www.scipedia.com/public/Guardiola-Villora_Basset-Salom_2014a

Bernal Torres, C. A. (2022). *Metodología de la investigación Administración, economía, humanidades y ciencias sociales. Quinta edición colombiana*. Pearson Educación. Obtenido de <http://www.ebooks7-24.com.ezproxy.uniminuto.edu/stage.aspx?il=19299&pg=1&ed=>

Castaño Castaño, L. M., & Gallego Higinio, A. (2022). REVISION BIBLIOGRAFICA Y CASO EJEMPLO PARA LA ESTIMACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y SU POTENCIAL RIESGO DE FALLA EN EDIFICACIONES DE HASTA TRES NIVELES POR MEDIO DE MÉTODOS CUALITATIVOS.

Castillo, W., Palma, G., & Moncayo, H. (2018). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la tapia en Pasto (Nariño, Colombia). Caso Teatro Imperial – Ingeniería y Patrimonio. *Trabajo de investigación*, 12(24). Obtenido de <https://research-ebSCO-com.ezproxy.uniminuto.edu/c/7boqt4/viewer/pdf/jheu4px6nn?modal=cite>

Ceballos Cifuentes, C. A. (Agosto de 2003). Estudio de Vulnerabilidad Sísmica del Liceo Isabel La Católica Sección Primaria Bloque Norte en la ciudad de Manizales .

Chávez García, C. A., Herrera Bautista , L. M., & Rodríguez Villanueva, M. S. (2019).

EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y ESTRUCTURAL DE LAS

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

INSTALACIONES DEL ANTIGUO INSTITUTO TECNICO UNVERSITARIO DE CUNDINAMARCA (ITUC) EN EL MINUCIPIO DE GIRARDOT. *Monografía como*

requisito para optar al título de Ingeniero Civil. Corporación Universitaria

UNIMINUTO, Cundinamarca. Obtenido de

https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/13627/2/T.IC_ChavezCamila_HerreraLina_RodriguezMichael_2019.pdf

Criado Rodriguez, D. M., Pacheco Vergel, W., & Afanador Garcia, N. (14 de Noviembre de 2019). Vulnerabilidad sísmica de centros poblados: estudio de caso.

DANE. (30 de agosto de 2019). *Censo Nacional de Población y vivienda 2018-Colombia.*

Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/cuantos-somos>

Departamento Nacional de Planeacion. (2020). *DNP* . Obtenido de

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Participacin%20privada%20en%20proyectos%20de%20infraestructu/PDR%20Manual.pdf>

Desarrollosesc1:100. (18 de 02 de 2023). *¿Que es un reforzamiento estructural y como hacerlo?*

Obtenido de *¿Que es un reforzamiento estructural y como hacerlo?:*

<https://desarrollosesc.com/que-es-un-reforzamiento-estructural-y-como-hacerlo/>

Escobar, C., Garcia, B., & Rosell, L. (2019). *Informe neotectonico de la falla geologica activa*

Chololo. INGEMMET. Obtenido de

<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/2060/1/A6881->

[Informe_neotect% c3% b3nico_falla_geol% c3% b3gica_Chololo-Moquegua.pdf](https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/2060/1/A6881-Informe_neotect%c3%b3nico_falla_geol%c3%b3gica_Chololo-Moquegua.pdf)

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Garcés Mora, J. R. (2017). Estudio de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de uno y dos pisos de mampostería confinada en el barrio San Judas Tadeo II en la ciudad de Santiago de Cali. *Trabajo de grado*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/16248>

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (1 de 11 de 2024). Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/rsismico>

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (24 de marzo de 2024). *Caracterización General del Escenario de Riesgo Sísmico*. Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/rsismico>

Instituto Nacional de Vías. (07 de Febrero de 2013). *INVIAS*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/sala/noticias/466-infraestructura-vial-pieza-clave-en-el-desarrollo-logistico#:~:text=INVIAS%20contribuye%20al%20desarrollo%20vial,de%20sus%20procesos%20y%20contando>

Larson, E., & Gray, C. (2021). *Administración de proyectos*. Ciudad de México: McGraw Hill.

LEY 400 . (1997). *LEY 400 DE 1997*. El Congreso de Colombia. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=336>

NSR-10, R. C. (2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTE NSR-10*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. (2021). *Informe de evaluación regional sobre el riesgo de desastres en América Latina y el Caribe*. Naciones

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Unidas. Obtenido de

<https://www.undrr.org/media/76541/download?startDownload=20241104>

Positiva Compañía de Seguros . (2018). *CONTROL DE CAMBIOS DE PREVENCIÓN, PREPARACIÓN Y RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS*. Positiva Compañía de Seguros

Reboredo, A. (2016). *EL DISEÑO ESTRUCTURAL*. Bibliografika de Voros S.A. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=irszEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=Que+es+dise%C3%B1o+estructural%3F&ots=TyKDHZ_n7e&sig=0KO_SepiWtgiYr5-uy0tYnov62g#v=onepage&q=Que%20es%20dise%C3%B1o%20estructural%3F&f=false

Sanchez Garcia, K. V., & Ospina Garcia, S. (Mayo de 2019). *DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA CONSTRUCCIÓN PATRIMONIAL EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO, CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO NACIONAL (DIAN)*.

Sapag, N. (2020). *Proyectos de inversión Formulación y evaluación*. Naucalpan de Juárez: Pearson.

Servicio Geologico Colombiano. (22 de marzo de 2021). *Zonas amenaza NSR 10*. Obtenido de https://datos.sgc.gov.co/datasets/56414abc854c4575882e0c7fc8c745b4_1/explore?location=3.774119%2C-71.450939%2C7.26

SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES. (1995). *Curso seguridad sísmica de las construcciones para*

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

directores responsables de obra. CENAPRED. Obtenido de

<https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/187->

CURSOSOBRESEGURIDADSSMICADELASCONSTRUCCIONESPARADIRECTOR
ESRESPONSABLESDEOBRA.PDF

Unidad Nacional Para la Gestión de Riesgos de Desastres de Colombia. (2016). *Guía para la*

Implementación de Sistemas de alerta temprana. Bogotá: Status publicidad. Obtenido de

<https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/bitstream/handle/20.500.11762/18505/V>

OL-9-GUIA-PARA-LA-IMPLEMENTACION-DE%20SISTEMAS-DE-ALETA-

TEMPRANA.pdf?sequence=18

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - Colombia. (2024). INFORMACIÓN

DE PREPARATIVOS ANTE SISMO. *INFORMACIÓN DE PREPARATIVOS ANTE*

SISMO, 7. Obtenido de

https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/preparativos_frente_sismo_UNGRD.pdf

f

UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTION DEL RIESGO DE DESASTRES. (2011). Obtenido de

https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/preparativos_frente_sismo_UNGRD.pdf

f

William Edilberto , H. B., & Calderón, J. (2019). *GRADO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA*

CON LA APLICACIÓN DEL MÉTODO ITALIANO EN EL COLEGIO NACIONAL LA

VICTORIA DE AYACUCHO-HUANCAVELICA, 2019. UNIVERSIDAD NACIONAL

DE HUANCAVELICA.

Análisis del Estado de Vulnerabilidad Sísmica en la Sede de la Dirección Territorial Casanare del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para la Gestión de Riesgos y Planificación.

Zora Mejía, F. N., & Acevedo Jaramillo, A. B. (2019). Índice de vulnerabilidad sísmica de escuelas del Área Metropolitana de Medellín, Colombia. *Artículo en prensa*, 16(32), 195-207. Obtenido de <https://research-ebSCO-com.ezproxy.uniminuto.edu/c/7boqt4/viewer/pdf/ajsd73gu2z?route=details>