

**DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA
CONSTRUCCIÓN PATRIMONIAL EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO, CASO
DE ESTUDIO: EDIFICIO NACIONAL (DIAN)**



Por:
Kandy Vanessa Sánchez García
Sergio Ospina Cárdenas



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VILLAVICENCIO
2019

**PROYECTO DE APLICACIÓN EN TEMAS DE INGENIERÍA
DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA
CONSTRUCCIÓN PATRIMONIAL EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO, CASO
DE ESTUDIO: EDIFICIO NACIONAL (DIAN)**

Por:

**Kandy Vanessa Sánchez García
Sergio Ospina Cárdenas**

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de
ingeniero civil

Aprobado por:

Ing. Esp. Bregy Hassler Choque Jiménez
Director



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VILLAVICENCIO
2019**

Nota de aceptación

Ing. Ph.D. JHON JAIRO GIL PELÁEZ PhD
Decano Facultad Ingeniería Civil

Ing. Esp. BREGY HASSLER CHOQUE JIMENEZ
Director Trabajo de Grado

Ing. Emiro Andrés López Perez
Jurado

Villavicencio, Mayo 2019

RESUMEN

El siguiente documento expone los resultados de los procesos desarrollados para determinar la necesidad de rehabilitar el sistema estructural del Edificio Nacional en el municipio de Villavicencio, con el propósito de conservar su funcionalidad ante un evento sísmico. Se realizaron los procedimientos descritos en el capítulo A-10 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), donde se define el estado de la construcción a través de la evaluación del comportamiento sísmico.

Para ello se tuvo que realizar el levantamiento arquitectónico del edificio, la configuración estructural y una caracterización físico-mecánica de los materiales usados en su construcción dado la escasa información encontrada acerca de la edificación. Fue necesario hacer una calificación cualitativa respecto a la calidad del diseño y su estado actual teniendo en cuenta las modificaciones, se llevó a cabo un análisis elástico mediante un software computarizado (SAP 2000 V20) simulando el comportamiento de la construcción bajo acciones límites de servicio, también se realizó una inspección visual que permitió identificar los daños presentes en la construcción y consignarlos en fichas de caracterización patológica con las posibles causas y recomendaciones para su tratamiento. Este proyecto tiene como resultado el diagnóstico del estado de la construcción, del cual dependen las acciones que se deben tomar para permitir la conservación del inmueble.

Palabras Clave: *Diagnóstico, vulnerabilidad sísmica, resistencia estructural, conservación del patrimonio, análisis elástico.*

ABSTRACT

The following document presents the results of the processes developed to determine the need to rehabilitate the structural system of the National Building in the municipality of Villavicencio, with the purpose of conserving its functionality in a seismic event. The procedures described in chapter A-10 of the Colombian Seismic Resistance Construction Regulations (NSR-10) were carried out, where the state of the construction is defined through the evaluation of seismic behavior.

For this, the architectural survey of the building, the structural configuration and a physical-mechanical characterization of the materials used for its construction had to be carried out given the scarce information found about the building. It was necessary to make a qualitative qualification regarding the quality of the design and its current status taking into account its modifications, an elastic analysis was carried out using a computerized software (SAP 2000 V20) simulating the behavior of the construction under actions of service limits, an inspection was also carried out visual that allowed to identify the damages present in the construction and to consign them in cards of pathological characterization with the possible causes and recommendations for their treatment. This project has as a goal to make a diagnosis of the state of the construction, on which depends the actions that must be taken to allow the conservation of the property depend.

Key Words: *Diagnosis, seismic vulnerability, structural resistance, heritage conservation, elastic analysis.*

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	10
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
3.	JUSTIFICACIÓN.....	12
4.	OBJETIVOS.....	13
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	13
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
5.	ALCANCE.....	14
6.	MARCO DE REFERENCIA	15
6.1.	DESCRIPCIÓN HISTORICA Y ESTRUCTURAL	15
6.1.1.	Edificio Nacional la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN)	15
6.2.	MARCO TEÓRICO.....	23
6.2.1.	Sistemas Estructurales.....	23
6.2.2.	Procedimiento de Evaluación de la Intervención.....	23
6.2.3.	Estudios e Investigaciones Requeridas.....	24
6.2.4.	Criterios de Evaluación de la Estructura Existente.....	25
6.2.5.	Análisis de Vulnerabilidad	28
6.2.6.	Técnicas Constructivas Tradicionales	29
6.2.7.	Escala de Medición Para la Intensidad de un Sismo.....	29
6.3.	ESTADO DEL ARTE	32
6.4.	MARCO NORMATIVO	34
7.	METODOLOGÍA.....	35
7.1.	CRITERIOS DE DISEÑO.....	35
7.2.	DESCRIPCIÓN DE FASES Y ETAPAS.....	35
7.2.1.	FASE 1 (PRELIMINARES).....	36
7.2.2.	FASE 2 (EVALUACIÓN).....	36
7.2.3.	FASE 3 (RESULTADOS)	37
8.	DESARROLLO METODOLÓGICO.....	38
8.1.	INFORMACIÓN PRELIMINAR	38
8.1.1.	Características físico-mecánicas de la mampostería en adobe	38
8.1.2.	Evaluación cualitativa de la construcción	40
8.1.3.	Localización y zona de amenaza sísmica	40
8.1.4.	Parámetros del perfil de suelo.....	41
8.1.5.	Características de la estructura.....	41
8.1.6.	Espectro de aceleraciones de diseño.....	42
8.2.	EVALUACIÓN.....	43
8.2.1.	Asignación de cargas.....	43
8.2.2.	Peso de la estructura	44
8.2.3.	Centro de gravedad.....	44
8.2.4.	Obtención solicitaciones equivalentes.....	44
8.2.5.	Cargas de viento	46
8.2.6.	Análisis elástico.....	46
8.2.7.	Relación entre demanda y capacidad	47
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
9.1.	FASE DE PRELIMINARES.....	52

9.2. FASE DE EVALUACIÓN	52
9.3. FASE DE DIAGNÓSTICO	54
9.3.1. Alternativas de rehabilitación.....	55
10. DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES	58
11. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	60
11.1. CONCLUSIONES	60
11.2. TRABAJOS FUTUROS.....	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 6-1. Valores de ϕ_c y ϕ_e	28
Tabla 6-2. Comparación entre las escalas de Richter y Mercalli.....	30
Tabla 6-3. Listado de normas.....	34
Tabla 8-1. Valores promedio de densidad de los materiales.....	39
Tabla 8-2. Resultados tomas de esclerometria.	39
Tabla 8-3. Calificación cualitativa de la estructura	40
Tabla 8-4. Parámetros iniciales de diseño	41
Tabla 8-5. Coeficientes de amplificación y tipo de suelo.....	41
Tabla 8-6. Características de diseño estructural	41
Tabla 8-7. Valores de periodo de vibración y aceleración horizontal.	42
Tabla 8-8. Peso total de la estructura.....	44
Tabla 8-9. Cálculo del centro de gravedad.....	44
Tabla 8-10. Centro de gravedad en X e Y.....	44
Tabla 8-11. Valor de cortante basal.	44
Tabla 8-12. Cálculo de la fuerza sísmica por nivel.	45
Tabla 8-13. Valores de coeficientes de discipación y reducción.	45
Tabla 8-14. Fuerza sismica reducida.	45
Tabla 8-15. Valores para carga de viento.	46
Tabla 8-16. Valores de combinaciones de carga.	46
Tabla 8-17. Definición de patrones de carga.....	47
Tabla 8-18. Índice de sobreesfuerzo en muros en sentido X.	49
Tabla 8-19. Índice de sobreesfuerzo en muros en sentido Y.	50
Tabla 8-20. Índice de flexibilidad y deriva en sentido X.....	51
Tabla 8-21. Índice de flexibilidad y deriva en sentido Y.....	51
Tabla 10-1. Indicadores.....	58
Tabla 10-2. Descripción de productos finales.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 6-1. Localización Edificio Nacional.....	16
Figura 6-2. Edificio Nacional, Costado norte parque Santander, década 1950.	17
Figura 6-3. Espécimen típico de bloque usado para la construcción del Edificio Nacional.	18
Figura 6-4. Armado de muro en adobe del Edificio Nacional.	18
Figura 6-5. Entramado de cubierta en madera.....	19
Figura 6-6. Mezzanines adecuados en el segundo piso.	19
Figura 6-7. Pasillo principal segundo piso.....	20
Figura 6-8. Edificio Nacional Fachada Sur y Oriente.....	21
Figura 6-9. Edificio Nacional vista en planta piso 1.....	21
Figura 6-10. Edificio Nacional vista en planta piso 2.....	22
Figura 6-11. Edificio Nacional vista en planta piso 2 con mezzanines.....	22
Figura 7-1. Esquema metodológico.....	35
Figura 8-1. Espectro de aceleración para un coeficiente de amortiguamiento crítico del 5%.	43
Figura 8-2. Modelo 3D costado izquierdo.....	47
Figura 9-1. Esfuerzos en los elementos modelo 3D.....	53
Figura 9-2. Esfuerzos normalizados.....	54
Figura 9-3. Detalle esfuerzos en el elemento 22.....	55
Figura 9-4. Refuerzo con malla en acero.	56
Figura 9-5. Refuerzo con elementos de madera confinantes.	57

1. INTRODUCCIÓN

Es imprescindible para las sociedades reconocer la importancia de su patrimonio, historia y cultura, de esta manera los individuos se incluyen como parte de un grupo significativo y se identifican dentro de un entorno, teniendo como resultado que los miembros de la sociedad se sientan parte de esta y se motiven a conservar sus tradiciones y costumbres.

Villavicencio desde su fundación se erigió como un punto estratégico para el comercio desde los llanos orientales hacia el centro del país, lo que le permitió posicionarse como un referente comercial de la región llanera, la creciente actividad económica y social que se daba entorno al transporte de ganado hacia Bogotá permitió el establecimiento de comerciantes foráneos y locales en asentamientos urbanos en el piedemonte llanero, estos asentamientos se construyeron siguiendo las tradiciones de la época pero reflejando el estilo de vida de la población autóctona.

Ahora bien, es preciso mencionar que por diferentes motivos algunas de las construcciones fundacionales de Villavicencio se han deteriorado o destruido, muchas se encuentran localizadas en el actual centro de la ciudad, entre ellas se destacan la Iglesia Catedral de Nuestra Señora del Carmen, el colegio Nuestra Señora de la Sabiduría, la casona El Samán del parque, la Casa de la Cultura, el Edificio Nacional, el edificio en donde funcionaba el Hotel Meta, entre otras. Muchas de estas han sufrido modificaciones que han permitido adaptar las construcciones con fines comerciales o residenciales, pero por el carácter histórico y por los materiales usados para su construcción, es relevante considerar la necesidad de adaptar estas estructuras a las normas de construcción que garanticen su funcionalidad ante un evento sísmico y permitan preservar la historia de la ciudad que se conserva a través de ellas.

En el proyecto se llevó a cabo una valoración cualitativa y cuantitativa del Edificio Nacional de Villavicencio ubicado en la esquina de la calle real, declarado como bien inmueble de interés cultural de la nación, se identificaron las características de esta edificación, su estabilidad estructural, los daños presentes, las causas y el desarrollo de la patología a través del tiempo y las acciones de intemperismo; con los datos recopilados se realizó análisis elástico y otros procedimientos que permitieron evaluar técnicamente la vulnerabilidad a la que se encuentra expuesta dicha construcción.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las construcciones patrimoniales representan la historia de una población y permiten apreciar el comportamiento social y económico de los diferentes periodos en los que se han visto involucradas, por este motivo la ciudadanía debe tomar conciencia de la importancia que representa su conservación para el desarrollo de nuestra sociedad.

La ciudad de Villavicencio en las últimas décadas ha tenido un acelerado crecimiento urbanístico y demográfico causado por la exploración y explotación de recursos pétreos en la región, la ciudad se ha convertido en un centro de acopio y de distribución de materias primas para esta industria y un centro de comercialización de productos agrícolas, el incremento de la población ha causado la necesidad de generar proyectos urbanísticos fomentando la transformación de la ciudad.

En Colombia y específicamente en Villavicencio el patrimonio histórico construido se tiene relegado a un segundo plano, solo algunos predios con importante valor histórico pertenecen al municipio y debido a su uso institucional aparentan estar en buenas condiciones, la mayoría de los inmuebles que representan importancia para la historia de la ciudad son de personas que han destinado estas construcciones para uso comercial y las han adaptado para esta función modificando sus características, sin valorar el estado de las mismas y el impacto al patrimonio que estas modificaciones representa, otras simplemente se encuentran abandonadas o deterioradas.

En función de preservar las construcciones que representan los inicios de los asentamientos en la ciudad, la forma de vida que se tenía y teniendo en cuenta la latente amenaza a la que se encuentra expuesta la región de la altillanura ante un fenómeno sísmico como el que se presentó en el Calvario Meta en el año 2008, con una intensidad de 5.7 en la escala de Richter causando graves daños en las construcciones de dicho municipio, es importante determinar el comportamiento que tendrían las edificaciones históricas ante uno de estos eventos, con la finalidad de conservar la historia de la ciudad y salvaguardar la vida de la población que se pueda ver afectada.

3. JUSTIFICACIÓN

Resulta indispensable conservar y mantener el valor del patrimonio histórico y cultural del municipio de Villavicencio, puesto que es un legado que nos han dejado las generaciones pasadas que permite conocer la historia de la ciudad desde sus inicios, las costumbres y tradiciones que allí se formaron, los bienes iniciales que intervinieron con el desarrollo de la economía y que fueron evolucionando con el paso de los años, en este sentido, la ciudad se puede convertir en un atractivo turístico y cultural.

Ahora bien, la ubicación que ocupa el municipio de Villavicencio en la región de la Orinoquia hace que éste se encuentre en una zona de amenaza sísmica alta, por lo cual, fue necesario llevar a cabo un diagnóstico y una evaluación de vulnerabilidad sísmica para el Edificio Nacional en Villavicencio, siguiendo los parámetros establecidos por el NSR-10 título A-10, donde se describen específicamente los procedimientos para evaluar el comportamiento sísmico de edificaciones construidas antes de la vigencia de dicha versión del reglamento, así mismo se menciona el tratamiento que se le debe dar a las construcciones de carácter patrimonial como es el caso del Edificio Nacional en Villavicencio, catalogada como bien de interés cultural (BIC) por el ministerio de cultura. Así pues, resulta necesario garantizar su conservación y funcionalidad a través del tiempo.

El desarrollo metodológico del proyecto se encuentra directamente relacionado con la línea de investigación (Modelación de programas complejos y minería de datos en ingeniería civil).

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación de vulnerabilidad sísmica y un diagnóstico, para el Edificio Nacional en la ciudad de Villavicencio, determinando su estado y comportamiento actual en máximas condiciones de servicio siguiendo los parámetros establecidos por el NSR-10 título A-10.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar una calificación cualitativa del edificio Nacional teniendo en cuenta el estado del sistema estructural y la calidad de los materiales.
2. Evaluar el comportamiento sísmico de la estructura por medio del procedimiento descrito en el Título A-10 del NSR-10.
3. Definir la necesidad de realizar una rehabilitación en la construcción basándose en los resultados de la evaluación sísmica.

5. ALCANCE

El presente proyecto de grado tiene como finalidad identificar el estado actual en el que se encuentra el Edificio Nacional ubicado en Villavicencio/Meta donde actualmente funcionan las oficinas de correos nacionales y que se encuentra bajo la administración de la DIAN seccional Meta, esta construcción es de carácter patrimonial y se clasifica como bien inmueble de interés cultural de la nación. Con la necesidad de preservarla fue necesario revisar las condiciones actuales de los materiales y de los diferentes elementos estructurales que la componen, para ello se llevó a cabo un ensayo no destructivo con esclerómetro que permitió identificar la resistencia de dichos materiales, se realizó la evaluación de vulnerabilidad sísmica a partir de la descripción de las lesiones encontradas y el análisis del comportamiento de la construcción bajo condiciones de servicio, siguiendo los procedimientos mencionados en el título A-10 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

Se realizó un modelo computarizado por elementos finitos a través de un software especializado (SAP 2000 V20), que permitió analizar el comportamiento que podría tener la estructura ante los esfuerzos generados por un fenómeno sísmológico buscando determinar la eficiencia de la construcción en dichas condiciones e identificar el estado de vulnerabilidad al que se encuentra expuesta, esto con el propósito de cumplir con las disposiciones del NSR-10, así pues, se presenta como resultado final el diagnóstico que indica si resultaría necesario realizar un refuerzo o rehabilitación estructural a la edificación.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. DESCRIPCIÓN HISTORICA Y ESTRUCTURAL

En aras de preservar las construcciones patrimoniales de la ciudad de Villavicencio se realizó un análisis del estado estructural en que se encuentra una de ellas, es el caso del Edificio Nacional, la mayoría de estas edificaciones están ubicadas en el centro histórico y comercial de la ciudad, tienen algunas características en común que son representativas de la tipología arquitectónica de la región llanera.

En algunos casos es evidente el deterioro de este tipo de construcciones en la ciudad, por ello surge la necesidad de identificar las condiciones estructurales en el que se encuentran y las medidas que se pueden tomar para evitar que se sigan deteriorando.

"Los sitios culturales y naturales forman el entorno del que los seres humanos dependen psicológica, religiosa, educacional y económicamente. Su destrucción, e incluso su deterioro, serán perjudiciales para la supervivencia de nuestra identidad, nuestro país y nuestro planeta. Tenemos la responsabilidad de preservar estos sitios para las futuras generaciones". [1]

De los materiales usados para la construcción fundacional de Villavicencio se dijo que "Para algunos edificios de adobe inventaron un enlucimiento con cemento, lo que permite reemplazar la cal por barniz. Entre los edificios de la década del 40, menciona el Nacional, hoy Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN) y el de Rentas Intendenciales (Demolido) y otros que llevan el nombre de los propietarios: Machado, Rueda, Novoa y Eslava." [2]

6.1.1. Edificio Nacional la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN)

6.1.1.1. Localización

El edificio Nacional se encuentra ubicado en el centro fundacional de la ciudad de Villavicencio, en la esquina de la calle 39 con carrera 32, a la derecha de la catedral Nuestra Señora del Carmen, frente a la esquina nor-oriental de la Plaza de los Libertadores, en la siguiente imagen se puede evidenciar su ubicación de una forma más clara.

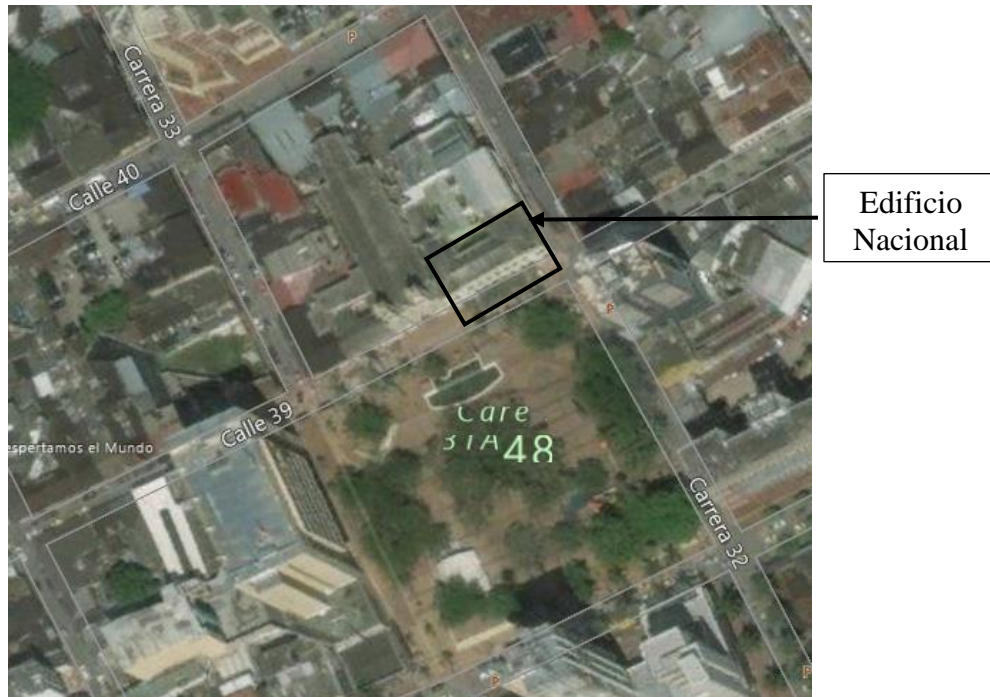


Figura 6-1. Localización Edificio Nacional.
Fuente: [3]

6.1.1.2. Historia

Se presenta un recuento histórico encontrado en el libro “Centro Fundacional” en que se exponen algunas fechas y detalles de importancia histórica con referencia al Edificio Nacional.

De la investigación realizada en los archivos de la DIAN, se extrae una información que permite conocer el origen de dicho inmueble y según la cual en 1908, el señor Ernesto Lozada, en carácter de administrador general de las Rentas Reorganizadas de Arauca y Casanare y autorizado por el banco Central, compra al general Max Carriazo, una casa de tapia y teja de madera, situada en el área de población de esta ciudad.

Acerca de su construcción no fue posible conseguir información. No obstante, la revisión bibliográfica realizada, arroja una información que corresponde a la década de 1904 y que aparece consignada en el libro “Lo que nos contó el abuelito”, del padre Mauricio Diéres Monplaisir y que se refiere a las oficinas que funcionaba en dicho edificio: “En la planta baja, la Administración de Hacienda Nacional, la auditoría Fiscal, el teléfono Intendecial, el correo Nacional y la Dirección de Higiene; en el 2° piso el Juzgado del Circuito, el telégrafo Nacional y los servicios administrativos de la Intendencia Nacional del Meta”.

En el año 1993 se suscribe un acta de entrega y recibo donde se registra el estatus del edificio como Patrimonio Arquitectónico e Histórico de la Nación, convirtiéndose así en el primero en recibir esta categoría en el departamento del Meta. Al respecto dice “que deberá reservarse y conservarse de tal suerte, que para cualquier tipo de

intervención ya sea restauración o adecuación, que se pretenda llevar a cabo en el mismo, debe consultarse previamente con la Subdirección de Monumentos del Instituto Nacional de Vías”.

No obstante la nota aclaratoria contenida en el acta mencionada, en 1993 el inmueble fue sometido a una severa remodelación. Lo más evidente en toda la remodelación, según el criterio de algunas personas entrevistadas fue el cambio que se hizo de los pisos de madera por cerámica en la segunda planta y las puertas también de madera de todo el edificio. La fachada de ladrillo se recubrió con un barniz de color amarillo y azul fuerte. [2]

La siguiente imagen muestra el estado del Edificio Nacional en la década de 1950.



Figura 6-2. Edificio Nacional, Costado norte parque Santander, década 1950.

Fuente: [2]

6.1.1.3. Características del sistema constructivo

Se realizó una visita al Edificio Nacional con el propósito de identificar los principios estructurales y los materiales usados en su construcción, se pudo observar que esta edificación se encuentra hecha con muros de mampostería que corresponden a uno de los sistemas constructivos usados para la época (1904), los ladrillos tiene un tamaño de 24 cm de largo, 12 cm de ancho y 6 cm de alto aproximadamente, estas medidas corresponden a las dimensiones típicas encontradas y teniendo en cuenta el contexto histórico bajo el cual se construyó la edificación, se induce que las técnicas constructivas son semejantes a las usadas en construcciones del mismo tipo en la región andina de Colombia. En la siguiente imagen se puede evidenciar uno de los bloques de mampostería usados para la construcción del edificio.



Figura 6-3. Espécimen típico de bloque usado para la construcción del Edificio Nacional.

Fuente: Edición propia, 2018.

Se observaron muros robustos y continuos, con un ancho típico de 30 cm, los ladrillos se colocaron de puntas a tizón, entrabados y aglutinados con barro usado como mortero de pega.



Figura 6-4. Armado de muro en adobe del Edificio Nacional.

Fuente: Edición propia, 2018.

La cubierta está constituida por un entramado con madera rolliza sobre la cual descansan tejas de Eternit con las que se remplazaron las originales de zinc y que a su vez se apoyan en vigas de madera hincadas en agujeros en los muros o colocadas sobre los muros y fijadas con alambre, el cieloraso original era en estera este fue removido y remplazado por uno con estructura en aluminio y láminas de asbesto-cemento.



Figura 6-5. Entramado de cubierta en madera.
Fuente: Edición propia 2018.

Se hicieron modificaciones en el entrepiso como se menciona en los antecedentes históricos encontrados en la bibliografía, se colocaron cielorrasos nuevos en la primera y segunda planta, se cambiaron las puertas, se hicieron adaptaciones para baños, se construyeron mezzanines en la segunda planta, entre otras modificaciones realizadas para adecuar la edificación al uso que se le daba. En las siguientes imágenes se puede observar el estado actual en el pasillo principal del segundo piso del edificio, los pisos, las puertas, el cielorraso y las escaleras de acceso fueron modificados.



Figura 6-6. Mezzanines adecuados en el segundo piso.
Fuente: Edición propia, 2018.



Figura 6-7. Pasillo principal segundo piso

Fuente: Edición propia, 2018.

6.1.1.3.1. Inspección visual

Para realizar una descripción detallada del estado de la construcción y de las lesiones encontradas a partir de las visitas de campo, se plantearon dos fichas de caracterización patológica, una de ellas es la ficha general donde se realiza una descripción constructiva de la edificación, contiene datos generales, características, datos complementarios y modificaciones del estado original, el estado de conservación y los síntomas observados, la otra es la ficha por elemento estructural, en donde se consignan los daños encontrados por elemento analizado, el tipo y la agresividad de la lesión, se plantean unas posibles causas y recomendaciones finales. (Ver anexo A).

6.1.1.4. Distribución arquitectónica y configuración estructural

Debido a la escasa información documental se hizo necesario realizar procedimientos de medición y fotografía de toda la construcción para obtener bocetos y posteriormente planos sobre los cuales se realizó la modelación computarizada.

Se obtuvo un área de 430.979 m².

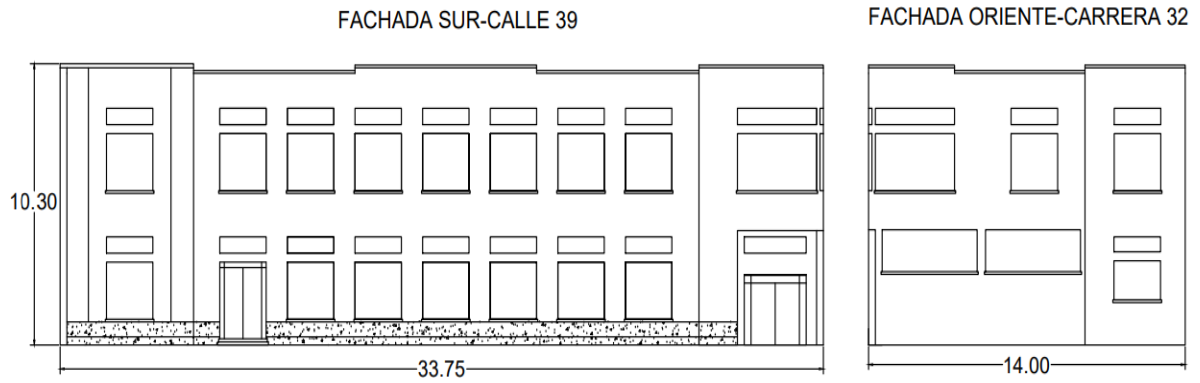


Figura 6-8. Edificio Nacional Fachada Sur y Oriente.
Fuente: Edición propia, 2018.

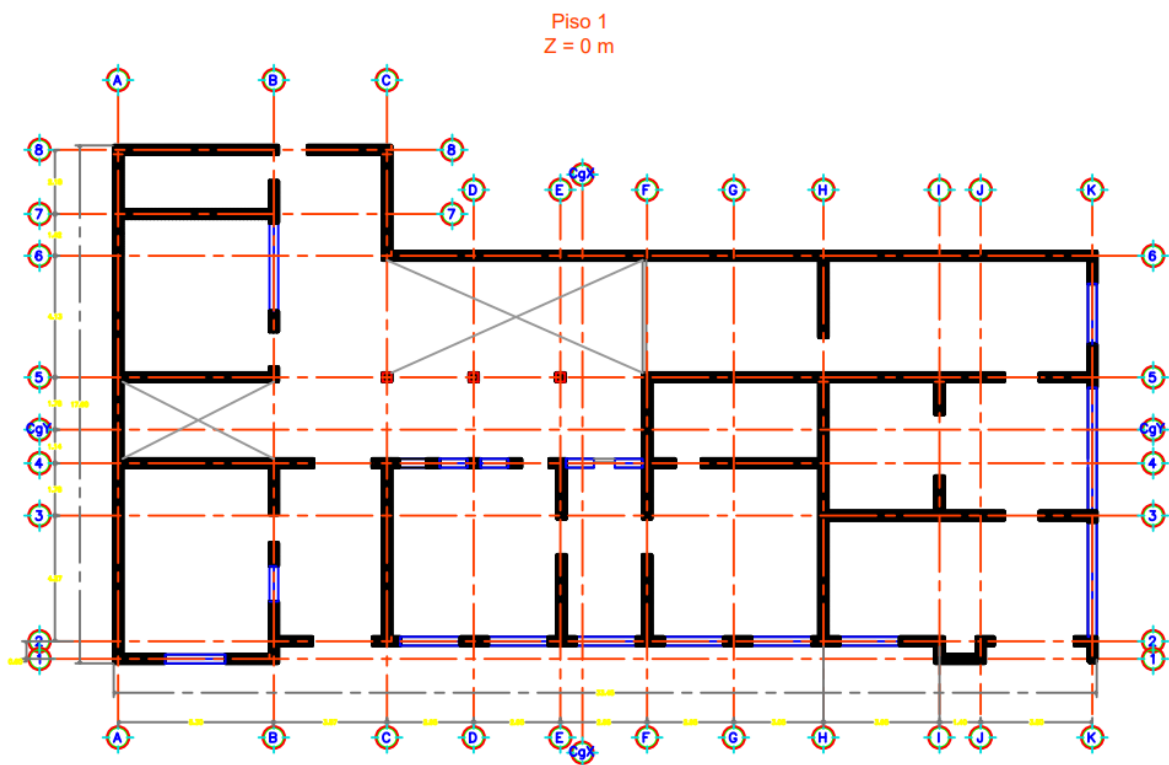


Figura 6-9. Edificio Nacional vista en planta piso 1.
Fuente: Edición propia 2018.

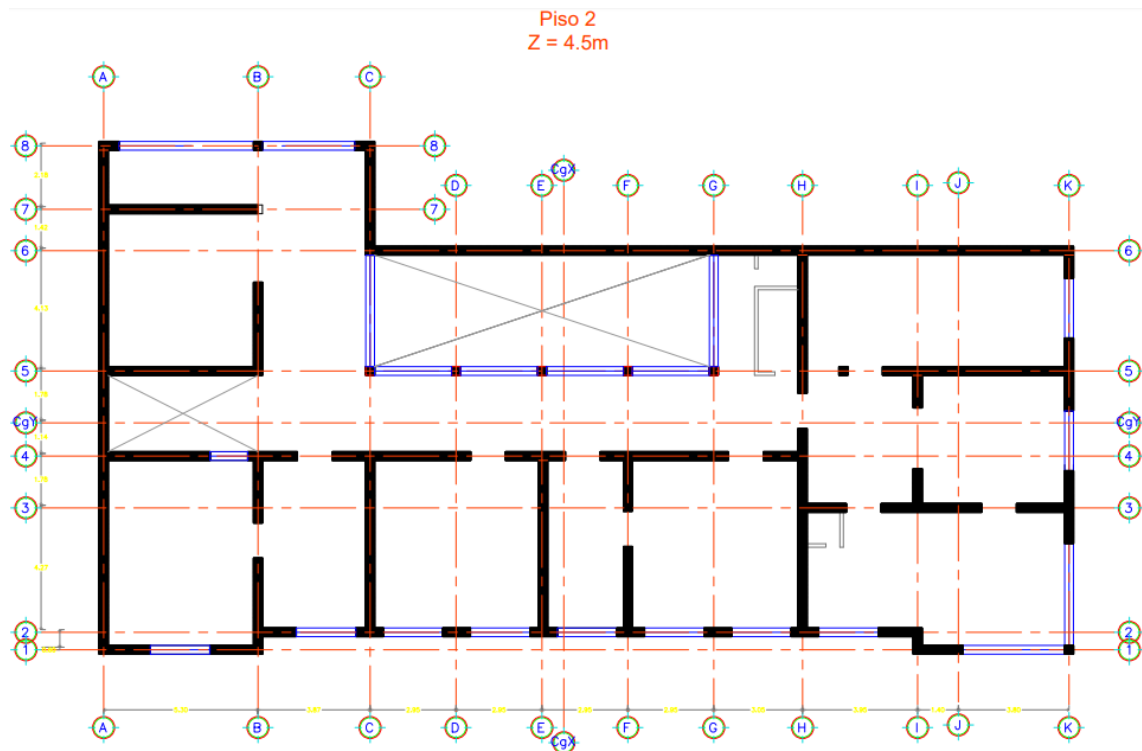


Figura 6-10. Edificio Nacional vista en planta piso 2.
Fuente: Edición propia 2018.

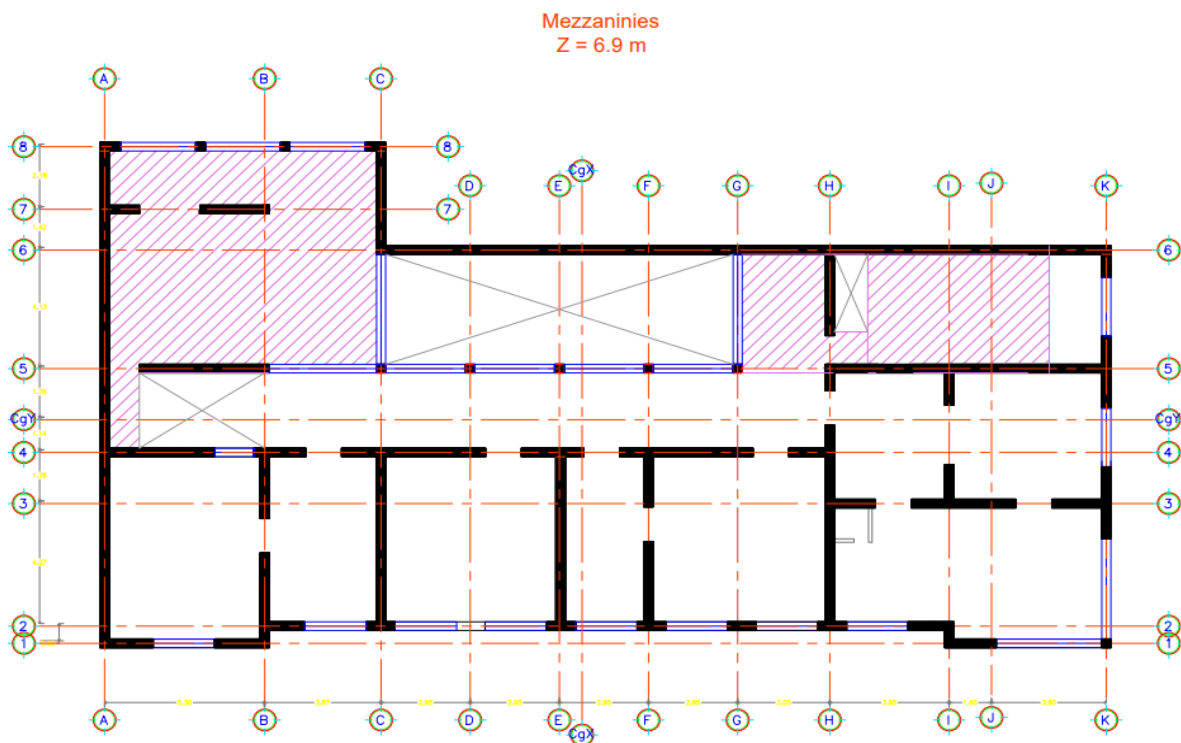


Figura 6-11. Edificio Nacional vista en planta piso 2 con mezzaninies
Fuente: Edición propia 2018.

6.2. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo del proyecto es necesario tener en cuenta en el marco teórico diferentes aspectos, parámetros y procedimientos que servirán como guía para el cumplimiento de los objetivos y el alcance de la investigación.

6.2.1. Sistemas Estructurales

La NSR-10 identifica cuatro tipos de sistemas estructurales de resistencia sísmica, cada uno de ellos se subdivide según los tipos de elementos verticales utilizados para resistir las fuerzas sísmicas y el grado de capacidad de disipación de energía del material estructural empleado. [4]

6.2.1.1. Sistema de muros de carga

Es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual las cargas verticales son resistidas por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales.

6.2.2. Procedimiento de Evaluación de la Intervención

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

6.2.2.1. Información Preliminar

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

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

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

6.2.2.2. Evaluación de la Estructura Existente

Etapa 4: Deben determinarse unas solicitaciones equivalentes de acuerdo con los requisitos de A.10.4.2.

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

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

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

Etapa 8: Debe determinarse un índice de sobreesfuerzo como el máximo cociente obtenido para cualquier elemento o sección de éste, entre las fuerzas internas solicitadas obtenidas del análisis estructural realizado en la Etapa 5 para las

solicitaciones equivalentes definidas en la Etapa 4 y la resistencia efectiva obtenida en la Etapa 7.

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

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

6.2.3. Estudios e Investigaciones Requeridas

6.2.3.1. Información Previa

Deben realizarse investigaciones sobre la construcción existente, tendientes a determinar los siguientes aspectos acerca de ella:

- a) Cuando se disponga de documentos descriptivos del diseño de la estructura y su sistema de cimentación original, debe constatarse en el sitio su concordancia con la construcción tal como se encuentra en el momento. Deben hacerse exploraciones en lugares representativos y dejar constancia del alcance de estas exploraciones.
- b) La calidad de la construcción de la estructura original debe determinarse de una manera cualitativa.
- c) El estado de conservación de la estructura debe evaluarse de una manera cualitativa.
- d) Debe investigarse la estructura con el fin de determinar su estado a través de evidencia de fallas locales, deflexiones excesivas, corrosión de las armaduras y otros indicios de su comportamiento.
- e) Debe investigarse la ocurrencia de asentamientos de la cimentación y su efecto en la estructura.
- f) Debe determinarse la posible ocurrencia en el pasado de eventos extraordinarios que hayan podido afectar la integridad de la estructura, debidos a explosión, incendio, sismo, remodelaciones previas, colocación de acabados que hayan aumentado las cargas, y otras modificaciones.

6.2.3.2. Estado del Sistema Estructural

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

6.2.3.2.1. Calidad del diseño y la construcción de la estructura original

Esta calificación se define en términos de la mejor tecnología existente en la época en que se construyó la edificación. Al respecto se puede utilizar información tal como: registros de interventoría de la construcción y ensayos realizados especialmente para ello. Dentro de la calificación debe tenerse en cuenta el potencial del mal comportamiento de la edificación debido a distribución irregular de

la masa o la rigidez, ausencia de diafragmas, anclajes, amarres y otros elementos necesarios para garantizar su buen comportamiento ante las distintas sollicitaciones. La calidad del diseño y la construcción de la estructura original deben calificarse como buena, regular o mala.

6.2.3.2.2. Estado de la estructura

Debe hacerse una calificación del estado actual de la estructura de la edificación, basada en aspectos tales como: sismos que la puedan haber afectado, fisuración por cambios de temperatura, corrosión de las armaduras, asentamientos diferenciales, reformas, deflexiones excesivas, estado de elementos de unión y otros aspectos que permitan determinar su estado actual. El estado de la estructura existente debe calificarse como bueno, regular o malo.

6.2.4. Criterios de Evaluación de la Estructura Existente

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

6.2.4.1. Sollicitaciones Equivalentes

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

6.2.4.1.1. Movimientos sísmicos para un nivel de seguridad equivalente al de una edificación nueva

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

6.2.4.1.2. Movimientos sísmicos para un nivel de seguridad limitada

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

6.2.4.1.3. Clasificación del sistema estructural

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

6.2.4.1.4. Coeficiente de capacidad de disipación de energía, R'

De acuerdo con el sistema estructural a que corresponda la edificación y a los requisitos constructivos y de diseño que se hayan seguido en la ejecución de la estructura original debe asignarse un valor del coeficiente de capacidad de

disipación de energía, \mathbf{R} ($\mathbf{R} = \phi_a \phi_p \phi_r \mathbf{R}_0$), el cual se denominará \mathbf{R}' dentro del presente Capítulo. La asignación debe hacerse de acuerdo con la información disponible sobre la estructura.

- a) Cuando se disponga de buena información sobre el diseño original, tal como planos y memorias, se permite, de acuerdo con el mejor criterio del ingeniero que lleva a cabo la evaluación, determinar un valor de coeficiente de capacidad de disipación de energía, \mathbf{R}' , por comparación con los requisitos que para el material y el sistema estructural fija el Reglamento. La selección del coeficiente de capacidad de disipación de energía, \mathbf{R}' , cuando haya cumplimiento parcial de los requisitos puede aproximarse interpolando entre los valores de \mathbf{R} que da el Capítulo A.3.
- b) Cuando no se disponga de buena información sobre el diseño original, o ésta sea incompleta o fragmentaria, el ingeniero que lleve a cabo la evaluación debe definir un valor de \mathbf{R}' de acuerdo con su mejor criterio. Este valor no puede ser mayor que el valor que el Capítulo A.3 establezca para mismo sistema estructural y el mismo material.
- c) Cuando no exista ningún tipo de información, se permite utilizar un valor de \mathbf{R}' correspondiente a tres cuartos del valor que fija el Capítulo A.3 para el mismo sistema estructural y el mismo material. El valor así obtenido no hay necesidad de que sea menor que la unidad.
- d) Cuando se trate de edificaciones de mampostería no reforzada, el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía, \mathbf{R}' , debe ser igual a la unidad.

6.2.4.1.5. Fuerzas sísmicas

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

6.2.4.1.6. Cargas diferentes a las solicitaciones sísmicas

Las otras solicitaciones diferentes a las solicitaciones sísmicas deben determinarse siguiendo los requisitos del Título B, con excepción de las cargas muertas, las cuales deben evaluarse con base en observaciones y mediciones de campo. Las cargas muertas en ningún caso, para efectos de determinar las solicitaciones equivalentes, pueden ser menores a las prescritas en el Título B.

6.2.4.1.7. Análisis estructural

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

6.2.4.1.8. Obtención de las solicitaciones equivalentes

Las diferentes solicitaciones que se deben tener en cuenta, se combinan para obtener las fuerzas internas equivalentes que se emplean en la evaluación de la estructura existente. Esta combinación debe realizarse de acuerdo con los requisitos del Capítulo B.2 del Reglamento, por el método de diseño propio de cada material estructural. En cada una de las combinaciones de carga requeridas, las solicitaciones se multiplican por el coeficiente de carga prescrito para esa combinación en el Capítulo B.2 del Reglamento. En los efectos causados por el sismo de diseño se tiene en cuenta la capacidad de disipación de energía del sistema estructural, lo cual se logra empleando unos efectos sísmicos reducidos de revisión, **E**, obtenidos dividiendo las fuerzas sísmicas **F_s**, por el coeficiente de capacidad de disipación de energía **R'** (**E = F_s/ R'**).

6.2.4.2. Relación Entre Demanda y Capacidad

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

6.2.4.2.1. Definición del índice de sobreesfuerzo

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

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

6.2.4.2.2. Determinación del índice de sobreesfuerzo

Para todos los elementos de la estructura y para todos los efectos tales como cortante, flexión, torsión, etc., debe dividirse la fuerza o esfuerzo que se le exige al aplicarle las solicitaciones equivalentes, mayoradas de acuerdo con el procedimiento dado en el Título B del Reglamento y para las combinaciones de carga dadas allí, por la resistencia efectiva del elemento. El índice de sobreesfuerzo para toda la estructura corresponderá al mayor valor obtenido de estos cocientes, entre los elementos que puedan poner en peligro la estabilidad general de la edificación.

6.2.4.2.3. Resistencia existente de los elementos

La resistencia existente de los elementos de la estructura, **N_{ex}**, debe ser determinada por el ingeniero que hace la evaluación con base en la información disponible y utilizando su mejor criterio y experiencia. Por resistencia se define el nivel de fuerza o esfuerzo al cual el elemento deja de responder en el rango elástico o el nivel al

cual los materiales frágiles llegan a su resistencia máxima o el nivel al cual los materiales dúctiles inician su fluencia. En general la resistencia existente corresponde a los valores que se obtienen para cada material estructural al aplicar los modelos de resistencia que prescribe el Reglamento en los títulos correspondientes.

6.2.4.2.4. Resistencia efectiva

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

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

Donde a ϕ_c y ϕ_e se les asigna el valor dado en la Tabla A.10.4-1, dependiendo de la calificación de la calidad y estado de la estructura definida en A.10.2.2.1 y A.10.2.2.2. Del presente reglamento.

Tabla 6-1. Valores de ϕ_c y ϕ_e .

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

Fuente: [4]

6.2.4.2.5. Definición del índice de flexibilidad

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

- a) **Índice de flexibilidad del piso:** el cual se define como el cociente entre la deflexión o deriva obtenida del análisis de la estructura, y la permitida por el Reglamento, para cada uno de los pisos de la edificación, y
- b) **Índice de flexibilidad de la estructura:** definido como el mayor valor de los índices de flexibilidad de piso de toda la estructura. Se debe evaluar para las deflexiones verticales y para las derivas.

6.2.5. Análisis de Vulnerabilidad

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

- a. Determinación de los índices de sobreesfuerzo individual de todos los elementos estructurales de la edificación considerando las relaciones entre demanda sísmica de esfuerzos y la capacidad de resistirlos.
- b. Formulación de una hipótesis de secuencia de falla de la edificación con base en la línea de menor resistencia, identificando la incidencia de la falla

- progresiva de los elementos, iniciando con aquellos con un mayor índice de sobreesfuerzo,
- c. Definición de un índice de sobreesfuerzo general de la edificación, definido con base en los resultados de (b). El inverso del índice de sobreesfuerzo general expresa la vulnerabilidad de la edificación como una fracción de la resistencia que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del Reglamento, y
 - d. Obtención de un índice de flexibilidad general de la edificación, definido con base en el procedimiento definido en A.10.4.3.5. El inverso del índice de flexibilidad general expresa la vulnerabilidad sísmica de la edificación como una fracción de la rigidez que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del Reglamento. [4]

6.2.6. Técnicas Constructivas Tradicionales

6.2.6.1. Adobe

Esta técnica se basa en piezas macizas o unidades de barro sin cocer. Las dimensiones de las piezas son muy variables y responden tanto a la tradición como a criterios constructivos. Las dimensiones promedio pueden variar desde 0.30 m de largo x 0.15 m de ancho y 0.07 m de alto hasta dimensiones del orden de 0.40 m de largo x 0.20 m de ancho x 0.10 m de alto. En general los ladrillos de adobe se elaboran manteniendo una proporción de 1: ½: ¼, entre el largo, el ancho y la altura de la pieza. [5]

Para elaborar los ladrillos lo que se hace es colocar el barro húmedo sobre moldes de madera con las dimensiones específicas para el diseño que se quiere hacer, se deja durante un par de días hasta que alcancen su punto de secado óptimo para ser retirados de los moldes y dejar secar al aire libre con exposición indirecta al sol, durante 15 días o 1 mes aproximadamente.

El procedimiento para unir los bloques se hace con un mortero de pega con el mismo material usado en la elaboración de estos, se debe verificar que provea una cohesión adecuada, de no ser así, se mejora con cal hasta conseguir una buena cohesión, para optimizar las características del suelo se puede optar por agregar paja o estiércol de caballo, se debe respetar un espesor de junta de 2 cm.

6.2.7. Escala de Medición Para la Intensidad de un Sismo

Resulta indispensable identificar y establecer la magnitud e intensidad de un sismo, puesto que esto permitirá considerar el peligro que representa para la sociedad y el grado de atención que requiere, tomando como referencia los fenómenos sismológicos que se han presentado a lo largo de la historia se establecieron diferentes escalas de magnitud e intensidad definidas por Richter y Mercalli.

6.2.7.1. Escalas de Richter y Mercalli

Las escalas de Mercalli y Richter se utilizan para evaluar y comparar la intensidad de los terremotos. La escala de Richter mide la energía de un temblor en su centro, o foco, y la intensidad crece de forma exponencial de un número al siguiente; es decir que un sismo de siete grados en la escala Richter, es diez veces más intenso que uno de seis grados. La escala de Mercalli es más subjetiva, puesto que la intensidad aparente de un terremoto depende de la distancia entre el centro y el observador. Varía desde I hasta XII, describe y evalúa los terremotos más en función de las reacciones humanas y en observaciones que la escala de Richter, basada más en las matemáticas. [6]

Se presenta la siguiente tabla que especifica la comparación entre las escalas de Richter y Mercalli.

Tabla 6-2. Comparación entre las escalas de Richter y Mercalli.

Magnitud en Escala Richter		Intensidad en Escala de Mercalli	
Menos 3.5	Generalmente no se siente pero es registrado	Grado I	Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables
		Grado II	Sacudida sentida solo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios, los objetos suspendidos pueden oscilar.
		Grado III	Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente, vibración como la originada por el paso de un carro pesado, duración estimable.
3.5-5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores	Grado IV	Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior, por la noche algunas despiertan, vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen, sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.
		Grado V	Sacudida sentida casi por todo el mundo, muchos despiertan, algunas piezas de vajilla, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen, pocos casos de agrietamiento de aplanados, caen objetos inestables, se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos.

Magnitud en Escala Richter		Intensidad en Escala de Mercalli	
5.5-6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios	Grado VI	Sacudida sentida por todo mundo, muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera, algunos muebles pesados cambian de sitio, pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas, daños ligeros.
		Grado VII	Advertido por todos, la gente huye al exterior, daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción, daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas, daños considerables en las débiles o mal planeadas, rotura de algunas chimeneas, estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.
6.1-6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas	Grado VIII	Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno, considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras, caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros, Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectado en pequeñas cantidades, cambio en el nivel del agua de los pozos, pérdida de control en las personas que guían vehículos motorizados.
		Grado IX	Daño considerable en las estructuras de diseño bueno, las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman, grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos, el terreno se agrieta notablemente, las tuberías subterráneas se rompen.
7.0-7.9	Terremoto mayor, causa graves daños	Grado X	Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.

Magnitud en Escala Richter		Intensidad en Escala de Mercalli	
8 o mas	Gran terremoto, destrucción total a comunidades cercanas	Grado XI	Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos, anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave, gran torsión de vías férreas
		Grado XII	Destrucción total. Ondas visibles sobre el terreno, perturbaciones de las cotas de nivel (ríos, lagos y mares). Objetos lanzados en el aire hacia arriba.

Fuente: [6]

6.3. ESTADO DEL ARTE

Para realizar un diagnóstico, evaluación e intervención a cualquier tipo de edificación es indispensable seguir el proceso normativo correspondiente y dotarse de información que resulte siendo necesaria y que pueda aportar con el desarrollo de la investigación, pueden ser proyectos que se encuentren directa o indirectamente relacionados con el tema de estudio o las metodologías empleadas, se entiende que cuando se habla de edificaciones de carácter patrimonial y para casos como el Edificio Nacional se cuenta muy pocos registros que tengan información pertinente y útil, por lo cual se realizó una recolección de datos netamente por parte del grupo investigador que permitieron el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Como punto de referencia se tienen algunas investigaciones y estudios realizados a bienes de interés cultural en diferentes sectores, con distintas metodologías aplicadas dependiendo el tipo de sistema estructural analizado que se encuentran descritas en el NSR-10 título A-10, recordemos que este título está diseñado específicamente para describir procedimientos, evaluaciones, tratamientos, intervenciones, entre otros, que se le debe dar a las edificaciones construidas antes de la vigencia de la versión del 2010 del reglamento y que servirán como guía para el desarrollo del proyecto.

En el año 2009 Carlos Díaz investigó a través de una valoración arquitectónica, con el nombre “En busca de la protección del patrimonio construido en adobe. Estudio de caso del centro histórico de Villavicencio, Colombia, siglos XIX – XX” [7], que se encuentra directamente relacionada con el sector en el cual se enfoca el proyecto, a partir de ella se amplió la visión con respecto al desarrollo histórico y cultural del municipio, las técnicas constructivas de la época y los materiales usados en las construcciones.

Se tiene la “Metodología para estudios de vulnerabilidad sísmica y patología estructural para edificaciones con carácter patrimonial. Caso de estudio: Edificio 21 complejo hospitalario San Juan de Dios” [8]. Un estudio realizado a nivel

arquitectónico y urbano en el año 2015 en la ciudad de Bogotá, para preservar y restaurar el complejo hospitalario declarado como bien de interés cultural.

“El hospital San Juan de Dios, es una de las instituciones hospitalarias más emblemáticas e importantes a nivel nacional, cuya historia data de la época colonial. Es un hospital que por sus avances científicos y por su valor arquitectónico y paisajístico, fue declarado como Bien de Interés Cultural, mediante la ley 735 de 2.002”. [8]

La Sociedad Colombiana de Arquitectos en compañía con el Ministerio de Cultura realizó un estudio estructural en el año 2012, “Memorias de diseño y cálculo estructural 26-CA-Corinto Casa de la Cultura” [9], donde analizan cuatro aspectos fundamentales resistencia, ductilidad, comportamiento y estabilidad de la estructura, para realizar la rehabilitación posterior a la evaluación de vulnerabilidad sísmica según la NSR-10 titula A-10.

Además de las investigaciones mencionadas anteriormente se cuenta con un estudio realizado en el año 2006 por Juan Forero y Jorge Gómez titulado “Comportamiento estructural de alternativas de mejoramiento sísmico. Caso de estudio: Edificios aporticados de 8 o más pisos en la zona 2 de la ciudad de Bucaramanga” [10]. Donde se utilizan algunas metodologías de análisis con diferentes especificaciones de acuerdo con los siguientes documentos técnicos, ATC 40 (Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings), FEMA 273-274 (Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings) y NSR-98 (Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente). Para lo cual se realiza un procedimiento estático y dinámico linealmente elástico y un análisis estático no lineal (pushover), que permite determinar el desplazamiento lateral en función de la fuerza aplicada a la estructura.

Para el cálculo del índice de flexibilidad y sobreesfuerzo además de seguir las especificaciones del NSR-10 se tuvieron en cuenta algunos aportes mencionados en dos investigaciones de vulnerabilidad sísmica para construcciones de dos o más pisos, en el año 2003 se realizó el “Estudio de vulnerabilidad sísmica del Liceo Isabel la Católica sección primaria bloque norte en la ciudad de Manizales” [11], este proyecto se ejecutó siguiendo la versión NSR-98 y en el año 2012 el “Estudio de vulnerabilidad y reforzamiento de una estructura de tres pisos y cubierta en placa” [12], para este caso se tuvieron en cuenta los parámetros de la norma vigente.

6.4. MARCO NORMATIVO

Tabla 6-3. Listado de normas.

Marco Normativo			
Título de la Norma	Entidad	Numeral, Artículo o Título	Descripción
Ley 1185 de 2008	Congreso de la Republica de Colombia	Artículo 1	Definición de los elementos que constituyen el patrimonio cultural de la nación.
Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10	Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial	Título A-10, H -10	Se presentan requisitos mínimos que, en alguna medida, garantizan que se cumpla el fin primordial de salvaguardar las vidas humanas ante la ocurrencia de un sismo.
ASTM-C805-02	American Society for Testing and Materials	Paginas 2-4	Procedimiento para determinar el índice de rebote con esclerómetro, cálculo y análisis de resultados.
Lineamientos para la rehabilitación sísmica de edificaciones.	Agencia federal de gestión de emergencias (FEMA), Consejo de seguridad sísmica en construcciones (BSSC)	Capítulo 7	Este capítulo describe los procedimientos de ingeniería para estimar el rendimiento sísmico de la resistencia a la fuerza lateral vertical en mampostería.
Ley 45 de 1983	Congreso de la Republica de Colombia	Artículo 4-5	Aprobatoria de la convención para la protección del patrimonio Cultural y Natural.

Fuente: Edición propia, 2018.

7. METODOLOGÍA

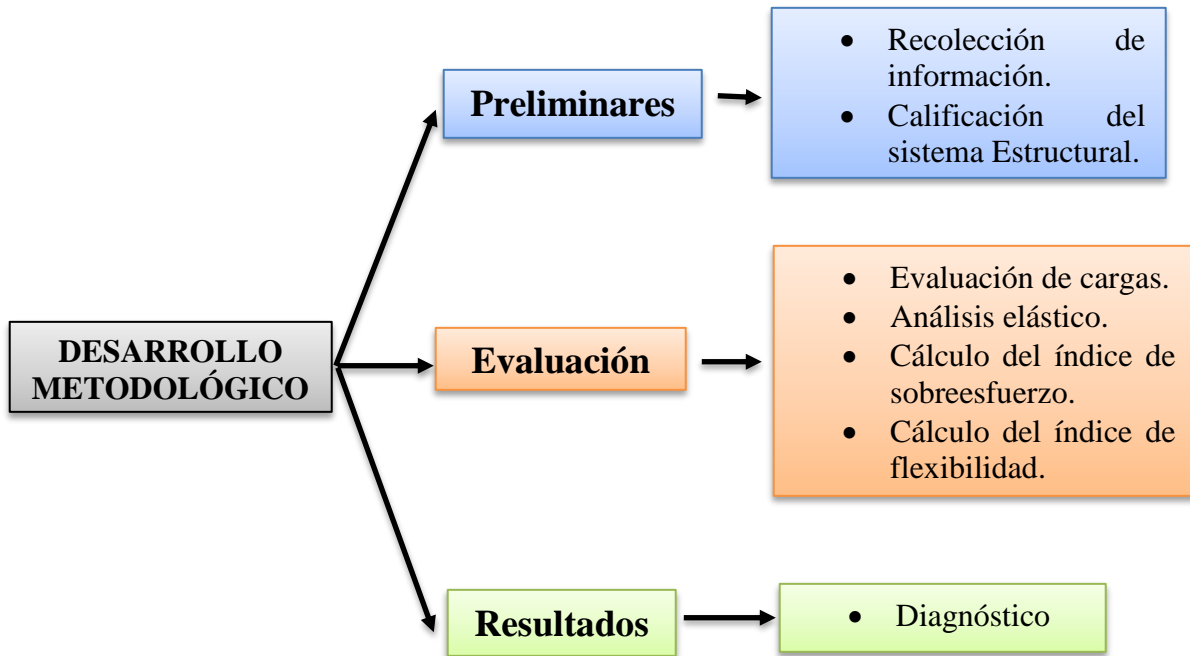


Figura 7-1. Esquema metodológico
Fuente: Edición propia, 2018.

7.1. CRITERIOS DE DISEÑO

El diseño de la metodología se divide en tres fases consecutivas: preliminares, evaluación y resultados, desarrolladas a partir de los lineamientos establecidos por el NSR-10 título A-10, donde se describen los procesos para realizar la evaluación de una edificación construida antes de la vigencia del reglamento, los estudios e investigaciones requeridas, criterios de evaluación de las construcciones, métodos para realizar un análisis de vulnerabilidad y determinación de la necesidad de intervenir una estructura existente.

La metodología planteada se desarrolla siguiendo la normativa vigente aplicable para este caso y teniendo las consideraciones necesarias al tratarse de una construcción de carácter patrimonial también mencionadas en el capítulo A.10.9.2.5. Es importante resaltar que la misma norma permite tener un nivel de seguridad menor al exigido para las construcciones de carácter patrimonial, como es el caso de estudio. Los resultados aquí presentados pueden usarse para llevar a cabo una propuesta de rehabilitación sísmica.

7.2. DESCRIPCIÓN DE FASES Y ETAPAS

El desarrollo del proyecto está conformado por tres fases, cada una de ellas cuenta con diferentes etapas que permitieron la realización y el cumplimiento de los objetivos planteados, así:

7.2.1. FASE 1 (PRELIMINARES)

En esta fase se recopiló la información necesaria y requerida para el desarrollo del proyecto.

7.2.1.1. Recolección de Información

Este es el punto de partida del proyecto, es una etapa investigativa y práctica, puesto que fue necesario consultar datos históricos acerca de la construcción objeto de estudio y de otras similares para complementar información, la información técnica tuvo que ser generada, se definieron parámetros sísmicos de diseño, se realizó un levantamiento arquitectónico y una configuración estructural de la edificación, para conocer las características físico-mecánicas de los materiales, en esta etapa se usaron fichas de caracterización patológica, también fue necesario realizar ensayos con esclerómetro para calcular la resistencia a la compresión de la mampostería.

7.2.1.2. Calificación del Sistema Estructural (bueno, regular o malo)

El sistema estructural se califica según la calidad de diseño de la construcción original y el estado de la estructura, para hacer la calificación se tomó la información obtenida en la etapa anterior.

7.2.2. FASE 2 (EVALUACIÓN)

La evaluación sísmica busca determinar el estado actual de la edificación, el comportamiento ante acciones sísmicas y la necesidad de realizar una intervención que permita mejorar y conservar la construcción, esta evaluación se desarrolló siguiendo los parámetros dados por el NSR-10.

7.2.2.1. Evaluación de Cargas

Las cargas vivas y muertas del edificio se identificaron analizando los elementos que lo constituyen, la cubierta, el entrepiso, el peso de los muros y de sus componentes, el uso que se le da a los espacios de la construcción permite asignar un valor de carga viva, con estas cargas se calculó el peso de la construcción y la fuerza sísmica actuante, se realizó el análisis de cargas de viento para la cubierta calculando la carga de presión y succión, por último se definieron las combinaciones de carga usadas para realizar el análisis elástico.

7.2.2.2. Análisis Elástico

El análisis elástico es un procedimiento desarrollado mediante un software computarizado (SAP 2000 V20) que permite simular el comportamiento de la construcción bajo acciones sísmicas.

7.2.2.3. Cálculo del Índice de Sobre esfuerzo

El índice de sobre esfuerzo permite medir la relación entre la demanda y la capacidad de los elementos estructurales. El índice de sobre esfuerzo para toda la estructura corresponderá al mayor valor obtenido de estos cocientes, entre los elementos que puedan poner en peligro la estabilidad general de la edificación. Este análisis se llevó a cabo bajo los valores de las sollicitaciones equivalentes mayoradas y las combinaciones de carga dadas por el NSR-10.

7.2.2.4. Cálculo del Índice de Flexibilidad

Se determinó un índice de flexibilidad, el cual indica la susceptibilidad de la estructura a tener deflexiones o derivas excesivas, con respecto a las permitidas por el reglamento.

7.2.3. FASE 3 (RESULTADOS)

Todos los cálculos realizados en las anteriores etapas son insumos fundamentales para realizar el diagnóstico del estado de la construcción, aquí se incluyen los cálculos de las derivas, los índices de flexibilidad y sobre esfuerzo y la resistencia efectiva de los elementos, estos resultados son indispensables para determinar la necesidad de realizar una intervención en la estructura.

7.2.3.1. Diagnóstico

Basándose en los procedimientos realizados en las etapas anteriores se presentó un diagnóstico del estado de la construcción y del posible comportamiento que esta tendría ante un evento sísmico, a partir del cual se determina si existe la necesidad de realizar una intervención que permita rehabilitar o mejorar las condiciones estructurales del Edificio Nacional o si su estado actual le permite resistir acciones sísmicas y conservarse en buenas condiciones, así como también se plantea una propuesta de las posibles técnicas que pudieran ser utilizadas para dicha rehabilitación donde fuera necesario.

8. DESARROLLO METODOLÓGICO

8.1. INFORMACIÓN PRELIMINAR

A partir de la inspección visual realizada por parte del grupo investigador y los resultados de las fichas de caracterización patológica creadas mediante un análisis cualitativo al Edificio Nacional (ver anexo A), se pudo observar que las patologías presentes en la edificación no constituyen un riesgo representativo en el funcionamiento del sistema estructural (sistema de muros de carga), se encontraron pequeñas deflexiones en el pasillo del segundo piso relacionadas con la losa y el acabado en cerámica que no hacen parte del sistema estructural, algunas fisuras en el costado de la fachada que se presumen pudieran ser ocasionadas por problemas de asentamientos debido a la dirección de propagación de las mismas es por ello que se sugiere un ensayo de asentamientos, también en el frente de la fachada se observaron grietas que se propagan desde la parte superior en el sentido del terreno y de la ventana, se intuye que pudieron presentarse debido al desprendimiento de la parte del muro con el que se completó la fachada hasta el edificio de la catedral, recordemos que estos edificios tienen una separación aproximada de 30 cm y que pudo haberse completado posterior a la construcción original, para ello se recomienda determinar la profundidad de las grietas e identificar si se encuentra afectando el muro estructural o si solo son superficiales, en cuanto al entramado en madera de la cubierta se ve que ha presentado un comportamiento óptimo en relación al tiempo de servicio que ha tenido, se evidenciaron algunas fendas por secado que fueron mitigadas con flejes restringiendo su propagación, adicionalmente se tienen las modificaciones que se hicieron en la segunda planta, mezzanines y escaleras metálicas para acceder a ellos, no se toman como una patología pero se debe tener en cuenta que así sean construcciones livianas compradas con lo robusto del sistema estructural original podrían llegar a influir con las deflexiones es por ello que se hace énfasis en seguir las recomendaciones mencionadas para corroborar las afirmaciones expuestas en las fichas de caracterización patológica.

8.1.1. Características físico-mecánicas de la mampostería en adobe

El edificio nacional está construido por un sistema de muros estructurales con unidades macizas de bloques en adobe, para determinar la resistencia a la compresión de los muros, debido a las limitaciones que supone analizar construcciones de carácter patrimonial como en el caso y a las recibidas por parte de la DIAN donde restringen la ejecución de ensayos invasivos, tuvo que determinarse mediante ensayos de esclerometría siguiendo los parámetros establecidos en la guía técnica c-805 de la ASTM.

Tabla 8-1. Valores promedio de densidad de los materiales

Espécimen	γ_{PROM} (Ton/m³)
Unidades de adobe	1.82
Muretes de adobe	1.78
Muretes de tapia pisada	1.93

Fuente: [13]

- Determinación del módulo de resistencia a la compresión en los muros de mampostería mediante ensayo de esclerometría

Se deben descartar lecturas que difieran de la media de 10 lecturas en más de 6 unidades del promedio y determinar el promedio de las lecturas restantes. Si más de 2 lecturas difieren del promedio de 6 unidades, descartar el conjunto completo de lecturas y determinar los números de rebote en nuevas ubicaciones en la zona de prueba. [14]

Se realizaron 10 golpes con el esclerómetro en diferentes elementos de la edificación en zonas previamente preparadas, limpias y sin fisuras, si durante la toma de las muestras se fisuraba la región en donde se practicaba el ensayo este se descartaba, al igual que las medidas que se encontraran en un rango mayor o menor a 6 unidades del promedio de cada toma, los resultados se relacionan en la siguiente tabla.

Tabla 8-2. Resultados tomas de esclerometría.

Lugar de toma	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{X}
Muro piso 1	20	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Columna 1P	28	26	22	20	24	26	28	26	24	28	25
Muro fachada 2P	22	20	29	22	28	30	30	38	26	34	28
Muro Divisor 2P	16	18	14	16	16	18	16	14	16	18	16
Muro Unimeta	20	18	20	18	18	24	20	22	22	20	20
Muro Fachada 1P	24	24	24	20	22	24	24	22	30	26	24
Muro P2	20	24	23	23	23	21	24	22	23	26	23
Columna 2P	22	22	26	32	34	24	24	22	22	28	26
Promedio (N/mm ² o Mpa)											24

Fuente: Edición propia, 2019.

Como resultado del ensayo se obtuvo un módulo de resistencia a la compresión para la mampostería $f'_m = 24$ Mpa, lo que indica una buena resistencia de los muros, comparado con los resultados obtenidos de la investigación realizada por los ingenieros Carballo y Navas "Propiedades mecánicas de la mampostería con bloques sólidos de arcilla" [15] en donde se lleva a cabo un ensayo de compresión a unidades solidas de mampostería que arrojó una resistencia a la compresión de 226 kg/cm² o 22,6 MPa.

- Módulo de elasticidad de la mampostería en adobe

El módulo de elasticidad de la mampostería fue determinado a partir de la ecuación D.5.2-3, expuesta en el capítulo D.5.2.1.2 del NSR-10.

$$E_m = 750 \cdot f'_m \leq 20000 \text{ Mpa}$$

$$E_m = 750 \cdot 24 \text{ Mpa}$$

$$E_m = 18000 \text{ Mpa}$$

- Módulo de cortante de la mampostería

El módulo de cortante fue determinado con la ecuación D.5.2-5, expuesta en el capítulo D.5.2.2 de la NSR-10.

$$G_m = 0.4 \cdot E_m$$

$$G_m = 0.4 \cdot 18000 \text{ Mpa}$$

$$G_m = 7200 \text{ Mpa}$$

8.1.2. Evaluación cualitativa de la construcción

La calificación del estado del sistema estructural se hizo de manera totalmente cualitativa tal como se describe en A.10.2.2 del NSR-10 a partir de una inspección visual realizada en las visitas técnicas donde se define el estado de la estructura como bueno, a simple vista no se observaron patologías severas que pudieran comprometer su desempeño, en este sentido se registraron las observaciones de las visitas en fichas de caracterización patológica en las que se muestra el estado de algunos elementos afectados, la causa de la lesión observada y se hacen recomendaciones para su tratamiento, en cuanto a la calificación del diseño y los materiales se estima como buena pues la resistencia obtenida con el ensayo de esclerometría de la mampostería es de 24 Mpa lo que supone un buen desempeño de los materiales.

Tabla 8-3. Calificación cualitativa de la estructura

Coeficiente de estado Φ_e	1
Coeficiente de calidad Φ_c	1

Fuente: Edición propia, 2019.

El valor de los coeficientes es usado para obtener la resistencia efectiva en el cálculo del índice de sobreesfuerzo.

8.1.3. Localización y zona de amenaza sísmica

Los valores de A_a y A_v son reemplazados por A_e cuando se trata de edificaciones existentes con seguridad limitada.

Tabla 8-4. Parámetros iniciales de diseño

Ciudad	Villavicencio
Amenaza sísmica	Alta
Aa	0.35
Av	0.30
Ae	0.20

Fuente: Edición propia, 2019.

Aa: Coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva

Av: Coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva

Ae: Coeficiente que representa la aceleración pico efectiva reducida para diseño con seguridad limitada

8.1.4. Parámetros del perfil de suelo

Tabla 8-5. Coeficientes de amplificación y tipo de suelo

Tipo de perfil de suelo	D
Fa	1.6
Fv	1.8

Fuente: Edición propia, 2019.

Fa: Coeficiente de Amplificación (periodos cortos)

Fv: Coeficiente de Amplificación (periodos intermedios)

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por el “Estudio geotécnico para el proyecto estudios y diseños para la construcción del edificio de la gobernación del meta ubicado en carrera 33 N° 38-45 en la plazoleta de los libertadores municipio de Villavicencio meta” [16], se realizó el análisis para un perfil de suelo tipo D.

8.1.5. Características de la estructura

Tabla 8-6. Características de diseño estructural

Grupo de Uso	II
I	1.1
Sistema estructural	Muros estructurales de hormigón o mampostería
Disipación de Energía	DMI

Fuente: Edición propia, 2019.

I: Coeficiente de importancia

DMI: Capacidad mínima de disipación de energía

8.1.6. Espectro de aceleraciones de diseño

Tabla 8-7. Valores de periodo de vibración y aceleración horizontal.

T (s)	S_a
0.000	0.880
0.113	0.880
0.282	0.880
0.540	0.880
0.660	0.720
0.860	0.553
1.060	0.448
1.260	0.377
1.460	0.325
1.660	0.286
1.860	0.255
2.060	0.231
2.260	0.210
2.460	0.193
2.660	0.179
2.860	0.166
3.060	0.155
3.260	0.146
3.460	0.137
3.660	0.130
3.860	0.123
4.060	0.117
4.320	0.110
4.400	0.108
4.500	0.106
4.600	0.103
4.700	0.101
4.800	0.099
4.900	0.097
5.000	0.095

T=T_a [s]	0.282
T₀ [s]	0.113
T_c [s]	0.540
T_L [s]	4.320

Fuente: Edición propia, 2019.

T: Periodo de vibración sistema elástico
 S_a: Máxima aceleración horizontal de diseño

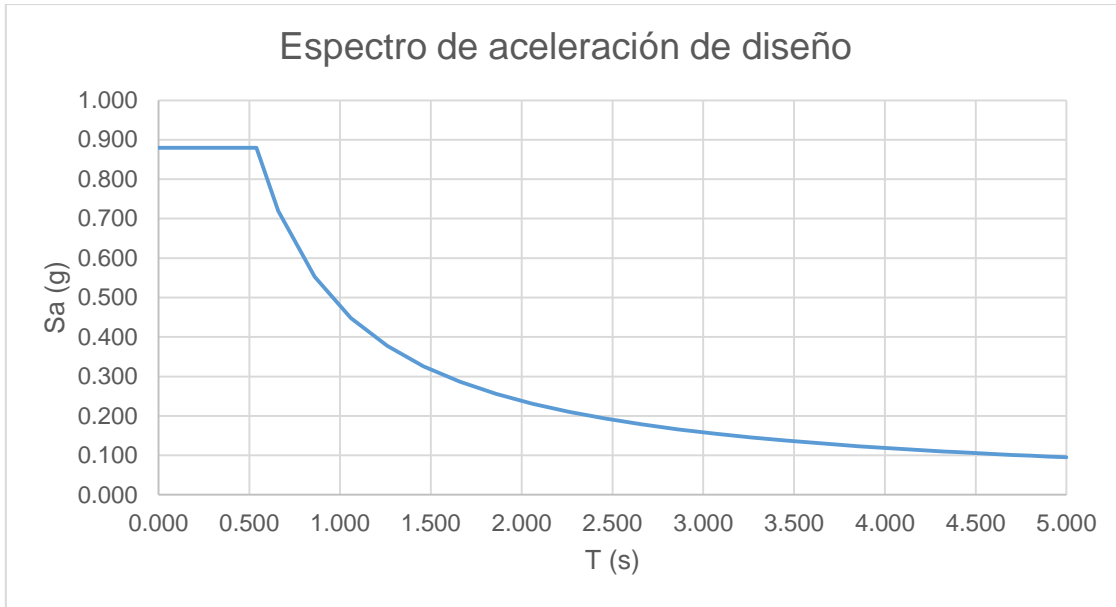


Figura 8-1. Espectro de aceleración para un coeficiente de amortiguamiento crítico del 5%.

8.2. EVALUACIÓN

8.2.1. Asignación de cargas

- Carga viva de cubierta

Cubierta con inclinación > 15°: 0.35 KN/ m² (TABLA B.4.2.1-2 NSR-10)

- Carga muerta de cubierta

Carga por m²: 1.8 KN/m² (Tabla B.3.4.3-1)

- Carga viva de entrepiso y mezzanines

Corredores y escaleras: 3 KN/ m² (TABLA B.4.2.1-1 NSR-10)

Oficinas: 2 KN/m² (TABLA B.4.2.1-1 NSR-10)

- Carga muerta de entrepiso

Carga Muerta Sobreimpuesta

Losa, vidrios y muretes con espesor de 0,15 m: 4,03811 KN/m²

Mezzanines: 3,582 KN/m²

Carga Muerta Peso Propio

Carga por m² muretes con espesor de 0,30 m: 14,348 KN/M²
Ver anexo B (especificaciones de asignación cargas).

8.2.2. Peso de la estructura

Tabla 8-8. Peso total de la estructura

W Cubierta (KN)	775.762
W Entrepiso (KN)	9467.747
W Total (KN)	10243.509

Fuente: Edición propia, 2019.

Ver anexo B (especificaciones de asignación cargas).

8.2.3. Centro de gravedad

Tabla 8-9. Cálculo del centro de gravedad

ELEMENTO	X (m)	Y (m)	AREA (m ²)	\bar{X} (m)	\bar{Y} (m)	$A\bar{X}$ (m ³)	$A\bar{Y}$ (m ³)
1	5.5	14	77	30.7	7	2363.9	539
2	18.5	13.4	247.9	18.7	7.3	4635.73	1809.67
3	3.85	17	65.45	7.525	9.1	492.51125	595.595
4	5.6	17.6	98.56	2.8	8.8	275.968	867.328
5	11.5	3.83	-44.045	5.75	1.915	-253.2588	-84.34618
6	5.3	2.62	-13.886	2.65	1.31	-36.7979	-18.19066
			430.979			7478.053	3709.0562

Fuente: Edición propia, 2019.

Tabla 8-10. Centro de gravedad en X e Y.

CGX (m)	17.351
CGY (m)	8.606

Fuente: Edición propia, 2019.

8.2.4. Obtención solicitaciones equivalentes

- Cortante sísmico en la base (A.4.3.1 NSR-10)

Tabla 8-11. Valor de cortante basal.

Sa (s)	0.88
Vs (KN)	9014.288

Fuente: Edición propia, 2019.

- Fuerza sísmica horizontal por nivel (A.4.3-2 NSR-10)

Tabla 8-12. Cálculo de la fuerza sísmica por nivel.

PISO	W (KN)	k	h (m)	h^k (m)	$w \cdot h^k$ (KN*m)	Cu %	Sa	F _s (KN)
CUBIERTA	775.76	1.00	10.30	10.30	7990.35	0.13	0.88	1145.048
ENTREPISO	9467.75	1.00	5.80	5.80	54912.93	0.87	0.88	7869.239
Σ	10243.51				62903.28	1.00		9014.288

Fuente: Edición propia, 2019.

- Coeficientes de disipación de energía

Tabla 8-13. Valores de coeficientes de discipación y reducción.

R₀	1
φ_a	1
φ_p	1
φ_r	1
R	1

Fuente: Edición propia, 2019.

Se toma el mínimo valor de R_0 permitido por la norma para el tipo de sistema estructural que se está trabajando (muros de mampostería no reforzada), los valores de irregularidades se asumen como 1 porque el coeficiente de diseño R no debe ser menor que la unidad.

R: $\phi_a \phi_p \phi_r R_0$ (A.3.3.3 NSR-10)

R: Coeficiente de capacidad de disipación de energía de diseño

R_0 : Coeficiente de capacidad de disipación de energía básico

ϕ_a : Reducción por irregularidad en altura

ϕ_p : Reducción por irregularidad en planta

ϕ_r : Reducción por ausencia de redundancia

- Fuerza sísmica reducida de diseño (A.5.0 NSR-10)

Como el valor de R es 1 la fuerza sísmica de diseño no se reduce, por tanto toma el valor de F_s para cada nivel.

Tabla 8-14. Fuerza sismica reducida.

E (KN) Cubierta	1145.048
E (KN) Entrepiso	7869.239

Fuente: Edición propia, 2019.

8.2.5. Cargas de viento

Las presiones de viento positivas y negativas se definieron a partir del título B.6.5. Procedimiento analítico del NSR-10. Ver anexo C.

Tabla 8-15. Valores para carga de viento.

Carga por presión (KN/m ²)	-0.925
Carga por succión (KN/m ²)	0.40

Fuente: Edición propia, 2019.

8.2.6. Análisis elástico

Para realizar el análisis y modelamiento en SAP además de la configuración estructural y las características del material se tuvieron en cuenta los siguientes datos de entrada.

Tabla 8-16. Valores de combinaciones de carga.

COMBINACIONES DE CARGA	
Combinación 1	1.4D
Combinación 2	1.2D + 1.6L + 0.5L _r
Combinación 3	1.2D + 1.6L _r + 1.0L
Combinación 4	1.2D + 1.6L _r + 0.5W _p
Combinación 5	1.2D + 1.6L _r + 0.5W _s
Combinación 6	1.2D + 1.0L + 0.5L _r
Combinación 7	1.2D + 1.0W _p + 1.0L + 0.5L _r
Combinación 8	1.2D + 1.0W _s + 1.0L + 0.5L _r
Combinación 9	1.2D + 0.19Q _x + 1.0L
Combinación 10	1.2D + 0.19Q _x + 0.043Q _y + 1.0L
Combinación 11	1.2D + 0.143Q _y + 1.0L
Combinación 12	1.2D + 0.143Q _y + 0.057Q _x + 1.0L
Combinación 13	0.9D
Combinación 14	0.9D + 1.0W _p
Combinación 15	0.9D + 1.0W _s
Combinación 16	0.9D + 0.19Q _x
Combinación 17	0.9D + 0.19Q _x + 0.043Q _y
Combinación 18	0.9D + 0.143Q _y
Combinación 19	0.9D + 0.143Q _y + 0.057Q _x
Combinación 20 (Envoltente)	1(C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7+C8+C9+C10+C11+ C12+C13+C14+C15+C16+C17+C18+C19)

Fuente: Edición propia, 2019.

Tabla 8-17. Definición de patrones de carga.

Carga	Tipo de carga	Nomenclatura	Factor
Carga Muerta	Dead	DEAD	1
Carga Viva	Live	L	0
Carga Viva de cubierta	Live	Lr	0
Sismo en X	Quake	Qx	0
Sismo en Y	Quake	Qy	0
Succión de viento	Wind	Ws	0
Presión de viento	Wind	Wp	0

Fuente: Edición propia, 2019.

En la figura 8-2 se puede observar el resultado del modelo en 3D para el Edificio Nacional, en el anexo E se encuentran las vistas en X e Y por piso y por eje.

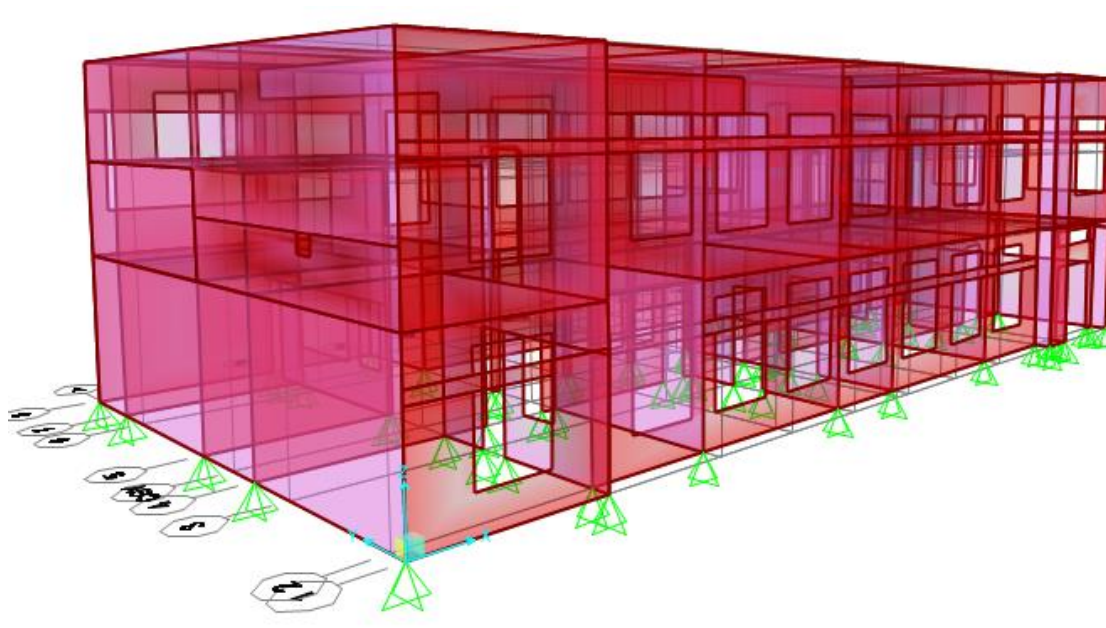


Figura 8-2. Modelo 3D costado izquierdo.

8.2.7. Relación entre demanda y capacidad

Se determina la capacidad de la estructura de soportar y responder ante las sollicitaciones equivalentes anteriormente definidas.

8.2.7.1. Cálculo del índice de sobreesfuerzo

Define la capacidad de cada elemento estructural de soportar los esfuerzos generados por las sollicitaciones equivalentes.

- Resistencia existente en los elementos N_{ex}

Se define como la resistencia a esfuerzos cortantes en los muros de mampostería no reforzada mediante la siguiente ecuación.

$$F_v = \frac{\sqrt{f'm}}{40} \leq 0.56 \text{ MPa} \quad (1)$$

Con la resistencia a la compresión de la mampostería en adobe $f'm=24 \text{ Mpa}$, el esfuerzo cortante resistente es de $F_v=0.122 \text{ Mpa}$, en los muros.

- Resistencia efectiva N_{ef}

Es la reducción de la resistencia existente en relación con la evaluación cualitativa según la calidad del diseño de la construcción o de su estado. Esta se calcula multiplicando la resistencia existente por los coeficientes de calidad y estado obtenidos de la evaluación cualitativa de la estructura.

$$N_{ef} = N_{ex} * \Phi_e * \Phi_c$$

$$N_{ef} = 0.122 \text{ Mpa} * 1 * 1$$

$$N_{ef} = 0.122 \text{ Mpa}$$

Las solicitaciones equivalentes resultantes de la combinación envolvente se dividen entre el esfuerzo cortante resistente para determinar el índice de sobreesfuerzo de cada elemento, en la siguiente tabla se muestran los muros en los que se obtiene un valor mayor a 1 donde el índice de sobreesfuerzo es superior a lo permitido, lo que indica que las solicitaciones son mayores a la resistencia.

El índice de sobreesfuerzo para toda la estructura corresponde al mayor valor obtenido entre los cocientes resultantes de cada elemento dicho valor se encuentra en el muro 22 en sentido Y (84.558).

Tabla 8-18. Índice de sobreesfuerzo en muros en sentido X.

# Muro	Esfuerzo Actuante (MPa)	Esfuerzo Resistente (MPa)	Sobreesfuerzo
2	0.396	0.122	3.244
3	0.469	0.122	3.846
4	0.136	0.122	1.118
5	0.222	0.122	1.816
8	0.132	0.122	1.079
16	2.387	0.122	19.567
17	2.127	0.122	17.431
19	0.265	0.122	2.174
22	9.470	0.122	77.627
26	0.313	0.122	2.563
33	0.554	0.122	4.537
40	0.479	0.122	3.923
41	2.530	0.122	20.737
42	0.132	0.122	1.084
47	4.743	0.122	38.880
48	1.949	0.122	15.973
51	0.395	0.122	3.237
52	0.641	0.122	5.252
54	0.150	0.122	1.227
58	0.291	0.122	2.386
65	0.216	0.122	1.774
71	0.288	0.122	2.362
72	2.273	0.122	18.632
78	0.153	0.122	1.251
80	0.468	0.122	3.838
90	0.286	0.122	2.348
96	0.149	0.122	1.221
98	0.247	0.122	2.025
100	0.197	0.122	1.616
103	0.932	0.122	7.641
124	0.154	0.122	1.266

Fuente: Edición propia, 2019.

Tabla 8-19. Índice de sobreesfuerzo en muros en sentido Y.

# Muro	Esfuerzo Actuante (MPa)	Esfuerzo Resistente (MPa)	Sobreesfuerzo
2	0.40049	0.112	3.576
3	2.07168	0.112	18.497
4	0.57486	0.112	5.133
5	2.02451	0.112	18.076
6	0.1196	0.112	1.068
8	0.26265	0.112	2.345
14	0.13786	0.112	1.231
15	0.18059	0.112	1.612
16	4.45618	0.112	39.787
17	3.99527	0.112	35.672
19	1.52894	0.112	13.651
22	9.47049	0.112	84.558
31	0.12583	0.112	1.123
33	0.47873	0.112	4.274
36	0.2648	0.112	2.364
40	1.82072	0.112	16.256
41	6.36274	0.112	56.810
42	0.3949	0.112	3.526
44	0.15291	0.112	1.365
45	0.3366	0.112	3.005
47	3.15779	0.112	28.195
48	5.01028	0.112	44.735
51	0.26888	0.112	2.401
52	0.81097	0.112	7.241
54	0.14417	0.112	1.287
65	0.67644	0.112	6.040
71	0.58496	0.112	5.223
72	5.45359	0.112	48.693
76	0.56045	0.112	5.004
78	0.20493	0.112	1.830
80	0.36048	0.112	3.219
90	0.80617	0.112	7.198
94	0.30841	0.112	2.754
96	0.35203	0.112	3.143
98	0.98297	0.112	8.777
100	0.66273	0.112	5.917
103	2.3479	0.112	20.963
124	0.33641	0.112	3.004

Fuente: Edición propia, 2019.

8.2.7.2. Cálculo del índice de flexibilidad

El índice de flexibilidad indica la posibilidad de que la estructura tenga deformaciones excesivas, es el cociente entre la deriva obtenida del análisis y el desplazamiento permitido, para el sistema de muros estructurales corresponde al 0.5% de la altura entre los niveles consecutivos analizados. El cálculo de las derivas y de índice de flexibilidad para cada nivel y cada eje de la construcción se puede ver en el Anexo D.

Tabla 8-20. Índice de flexibilidad y deriva en sentido X.

Eje	nivel	Nodo	X	Y	Hp (m)	0.5 % Hp (m)	Deriva X (m)	I F
A1	Cubierta	408	3.525.E-08	2.789.E-09	5.8	0.029	4.109.E-07	0.0000142
J1	Entrepiso	26	8.152.E-07	1.596.E-07	4.5	0.023	8.307.E-07	0.0000369

Fuente: Edición propia, 2019.

Tabla 8-21. Índice de flexibilidad y deriva en sentido Y.

Eje	nivel	Nodo	X	Y	Hp (m)	0.5 % Hp (m)	Deriva (m)	I F
K1	Cubierta	233	1.903E-07	9.98E-07	5.8	0.029	1.986.E-07	0.00000685
K1	Entrepiso	323	1.544E-07	8.027E-07	4.5	0.023	8.174.E-07	0.00003633

Fuente: Edición propia, 2019.

Los resultados del análisis lineal nos indican que las derivas resultantes son menores a las permitidas y por ende el índice de flexibilidad no representa un riesgo para la estabilidad de la construcción.

Para definir el índice de flexibilidad general de la construcción se toma el valor más grande entre los obtenidos en cada nivel y en cada sentido. En este caso corresponde al valor del eje J1 en el entrepiso en el sentido de desplazamiento en X con un valor de 0.0000369.

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

9.1. FASE DE PRELIMINARES

Para realizar la calificación cualitativa se tuvieron en cuenta dos aspectos definidos por el NSR-10, se califica el estado de la construcción al momento de realizar la evaluación y la calidad del diseño estructural y de los materiales usados en su construcción.

Para calificar el estado de la estructura se hicieron visitas de campo donde se evidenciaron las condiciones actuales de la edificación, esta información fue registrada en fichas de caracterización patológica, donde se mencionan los elementos en los que se observaron anomalías, se encontró que ninguno de ellos puede llegar a representar problemas graves para la estabilidad de la estructura y se hacen recomendaciones para su corrección, se llega a la conclusión de que el estado actual general del edificio Nacional es bueno.

En cuanto a la calificación de la calidad del diseño y de los materiales se pensó en llevar a cabo ensayos que permitieran determinar las propiedades mecánicas de la mampostería, ante las dificultades para realizar ensayos como la extracción de núcleos o la construcción de muretes porque no fue posible conseguir permisos para ello debido a la naturaleza de la investigación (proyecto académico), se tomó la decisión de hacer el ensayo de esclerometría del cual se obtuvo una resistencia de la mampostería f'_m de 24 MPa, valor que fue comparado con los resultados de una investigación donde hicieron pruebas a unidades sólidas de mampostería de características similares en la máquina universal de ensayos, se encontró una mínima diferencia en la resistencia a la compresión de 1,4 MPa en relación con los resultados de la prueba de esclerometría, lo que representa una calidad buena de los materiales y por ende de los parámetros de diseño de la construcción (Edificio Nacional) así pues, se califica el diseño como bueno.

De estas calificaciones se obtienen los coeficientes $\Phi_c = 1$ y $\Phi_e = 1$, necesarios para determinar la resistencia efectiva N_{ef} para el cálculo del índice de sobreesfuerzo.

9.2. FASE DE EVALUACIÓN

Los resultados más importantes de este trabajo son los que se entienden del análisis de la relación entre la capacidad y la demanda de la estructura. Para obtener la demanda o las solicitaciones del sistema, se evalúan las cargas vivas y muertas dependientes del uso y del peso del edificio, los patrones y las combinaciones de carga de diseño en las que se incluye la fuerza sísmica y cargas de viento, todos estos factores someten a los elementos estructurales a diferentes efectos para los que resulta necesario determinar su comportamiento.

El índice de flexibilidad permite comparar el comportamiento de la construcción ante los desplazamientos causados por las solicitaciones últimas y la deriva máxima permitida por el sistema estructural, para el caso del sistema de muros estructurales

el máximo permitido es del 0.5% de la altura de los entresijos en niveles consecutivos, ver anexo D, realizando estos cálculos, se puede encontrar que este límite no es superado, esto se debe a la distribución geométrica de los muros, la alta resistencia a la compresión de la mampostería y las robustas dimensiones de los elementos.

En cuanto al índice de sobreesfuerzo las cosas son diferentes, las dimensiones de los muros y las solicitaciones últimas causan esfuerzos internos que superan la resistencia nominal de algunos puntos de los elementos estructurales, lo que genera problemas en el comportamiento de la construcción ante efectos sísmicos significativos.

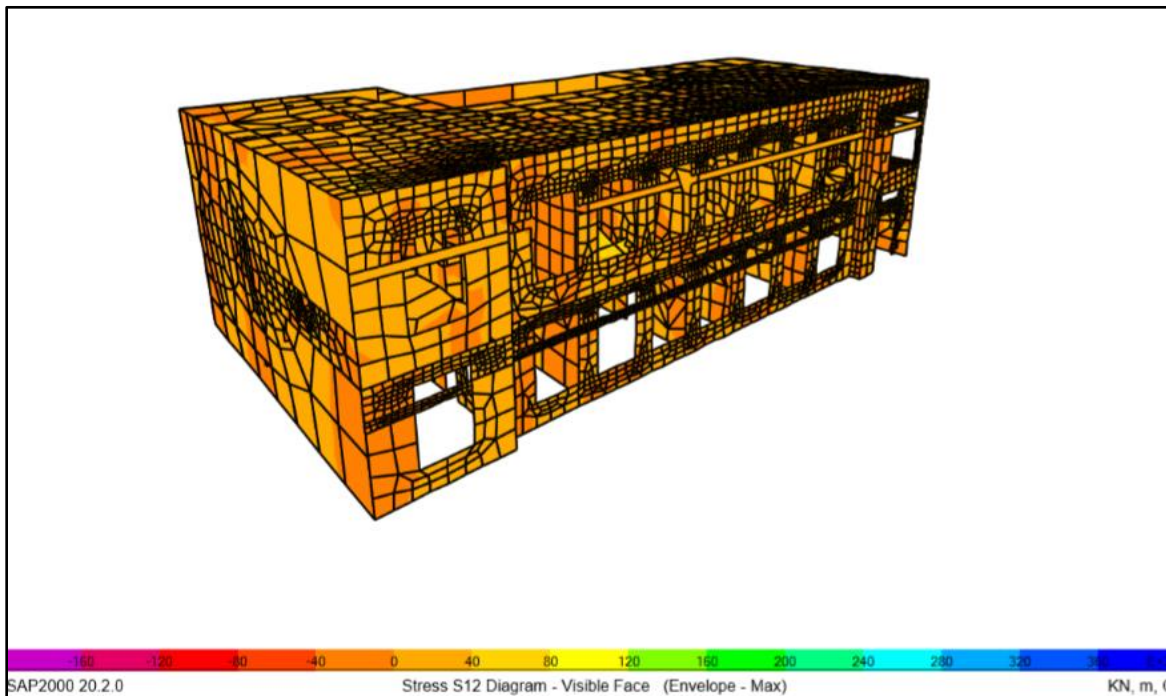


Figura 9-1. Esfuerzos en los elementos modelo 3D.

En la figura anterior se puede evidenciar el resultado de la modelación, el software subdivide los muros y genera pequeñas áreas, aquí se representan los esfuerzos sobre los muros, de color amarillo hasta rojo, indicando en rojo los valores más altos, en la mayor parte de la edificación, los esfuerzos son normalizados con la resistencia de los elementos estructurales.

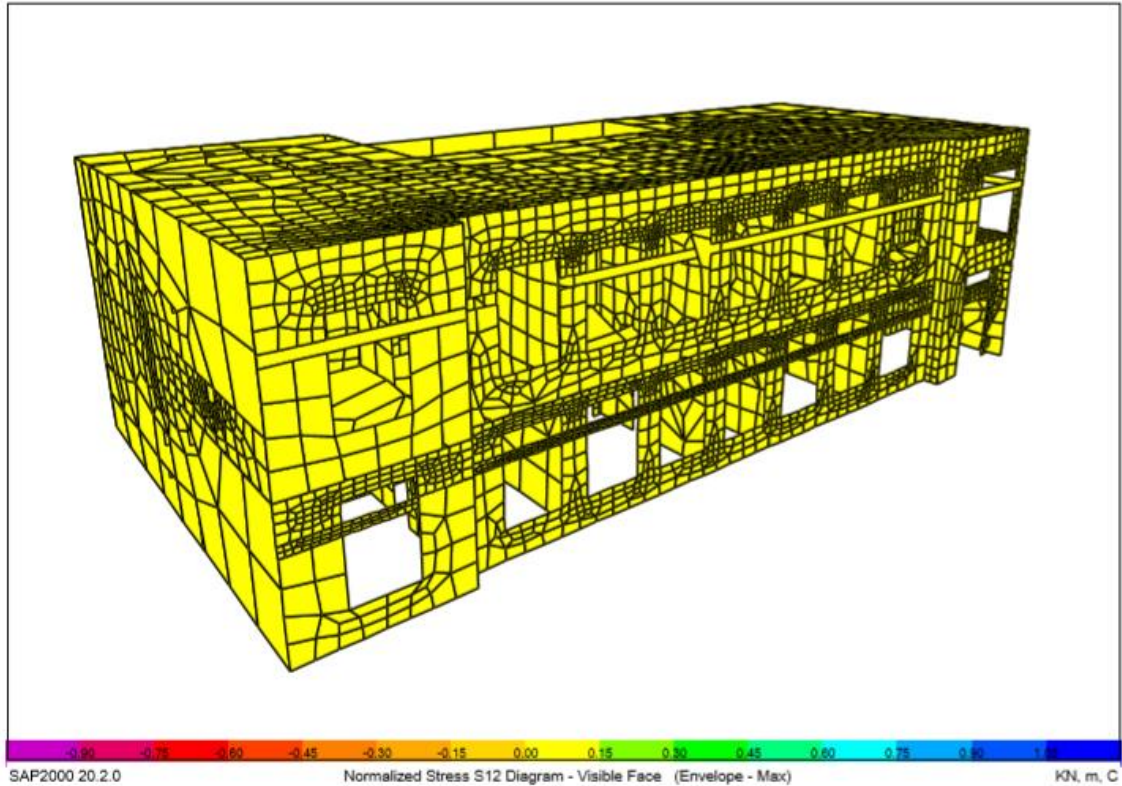


Figura 9-2. Esfuerzos normalizados

En la mayoría de los elementos la resistencia del muro soporta los esfuerzos actuantes, solo en unos puntos de los muros mencionados se presentan esfuerzos superiores que generan un alto índice de sobreesfuerzo.

9.3. FASE DE DIAGNÓSTICO

Teniendo en cuenta todos los resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo se puede decir que la construcción está en condiciones de soportar efectos sísmicos moderadamente y que ante sismos significativos algunos elementos estructurales se verán afectados, algunos de los elementos que no cumplen con el índice de sobreesfuerzo son muy importantes en la estabilidad general de la estructura, lo que crea la necesidad de realizar estudios que permitan adaptarlos a la condiciones necesarias para que su desempeño cumpla con los parámetros establecidos por el NSR-10.

Para el caso específico del muro 22, en el que se tiene el índice de sobre esfuerzo más alto, las condiciones de este muro son particulares, tiene una geometría en la que predomina el ancho de la base que esta sostenida por 3 columnas y un muro con distancias libres de 2.6 m, estas distancias y las cargas que recibe por su peso generan esfuerzos concentrados en diferentes zonas del muro, en la siguiente grafica se puede apreciar el modo en el que se producen los esfuerzos sobre este elemento.

Como este muro, hay varios en los que se tienen partes que están en voladizo o sobre amplios vanos, lo que genera esfuerzos internos que ponen en riesgo la estabilidad del elemento, no se conoce el método de construcción de estos muros, la mampostería se debería colocar sobre dinteles de madera que ayuden a cargar el peso y transmitirlo hacia otros elementos, de lo contrario se debe generar un método que permita reducir las deflexiones que se presentan.



Figura 9-3. Detalle esfuerzos en el elemento 22.

9.3.1. Alternativas de rehabilitación

Se plantean las siguientes alternativas de rehabilitación que pudieran ser útiles para mejorar el desempeño de los elementos que presentan un índice de sobreesfuerzo mayor al permitido, teniendo en cuenta que se trata de una construcción de carácter patrimonial con un sistema estructural de mampostería no reforzada en adobe y que las intervenciones que allí se realicen no deben modificar o reemplazar los diseños originales.

Los aspectos técnicos de dichas alternativas pueden ser verificados y confirmados de manera más específica en el manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada, elaborado por la asociación colombiana de ingeniería sísmica.

1. Rehabilitación con malla de acero y mortero de arena y cal

Este método de rehabilitación consiste en la instalación de mallas con venas en sentido horizontal y vertical sobre las zonas más afectadas del muro, lo que se hace es reforzar el elemento instalando las mallas en las caras internas y externas de manera que se puedan conectar entre si atravesándolo con un doble alambroón de dimensión específica. Lo primero que se debe hacer es definir los lugares en donde se va a instalar la malla, después se hacen perforaciones en sentido horizontal y vertical aproximadamente cada 20 cm o menos según sea la localización de la malla y las zonas donde haya traslazo para permitir el paso del alambroón, las mallas se soportan por medio de puntillas de acero, posterior se rellenan los orificios con un mortero preparado con cal y arena “en proporción 1:2” [5], se hacen los amarres únicamente con las puntas del alambroón y las venas de la malla. Es recomendable que el refuerzo se inicie en sentido vertical, por último se humedece todo el elemento y se aplica el pañete de recubrimiento únicamente en la zona donde se ubicaron las mallas de refuerzo.

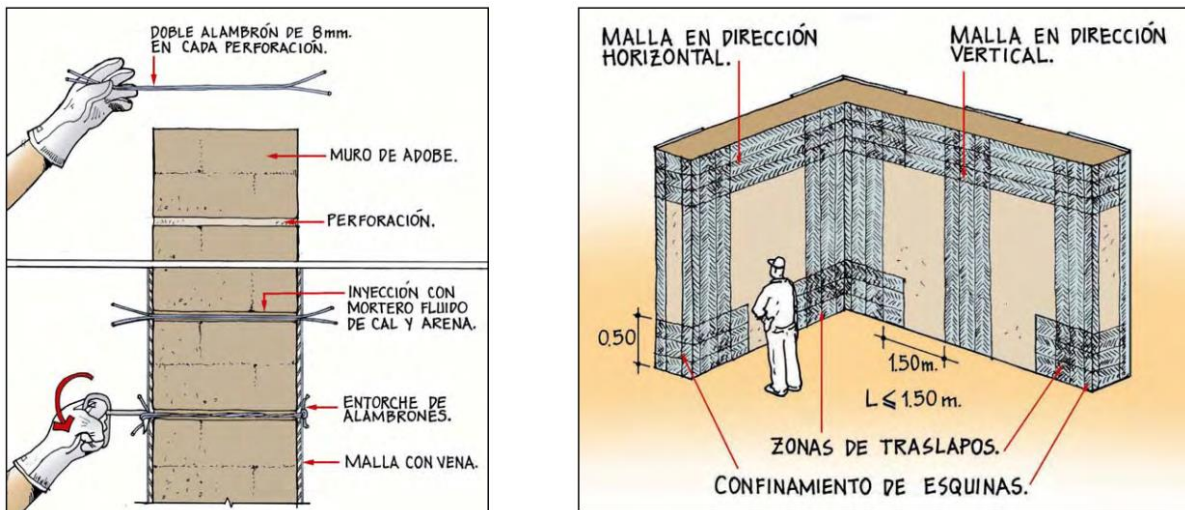


Figura 9-4. Refuerzo con malla en acero.

Fuente: [5]

2. Rehabilitación con elementos de madera confinantes

Este método permite aumentar la resistencia del elemento conservando la unidad de la estructura, se instalan tablas de madera respetando unas medidas específicas en sentido horizontal y vertical en ambas caras del muro que se interconectan a través de pernos pasantes de acero, cuando hay una intersección entre las tablas horizontales se unen mediante pernos de forma que se garantice una buena articulación entre las piezas y el elemento. Lo que se busca es que el muro y la madera trabajen en conjunto de manera que el refuerzo sea efectivo.

Para el proceso de instalación se deben ubicar los lugares en donde se van a colocar las piezas de refuerzo y abrir las regatas en el muro de las dimensiones de

las tablas, se hacen los orificios en las regatas para los pernos pasantes, posteriormente se instalan las tablas de refuerzo vertical y luego las de sentido horizontal, se ajustan los pernos que van a quedar de intersección y los que quedan entre los elementos, luego se instalan las platinas de conexión en las esquinas internas y externas y de ser necesario platinas para traslapeo, finalmente se cubren las tablas de madera con malla tipo angeo para aplicar el mortero de recubrimiento.

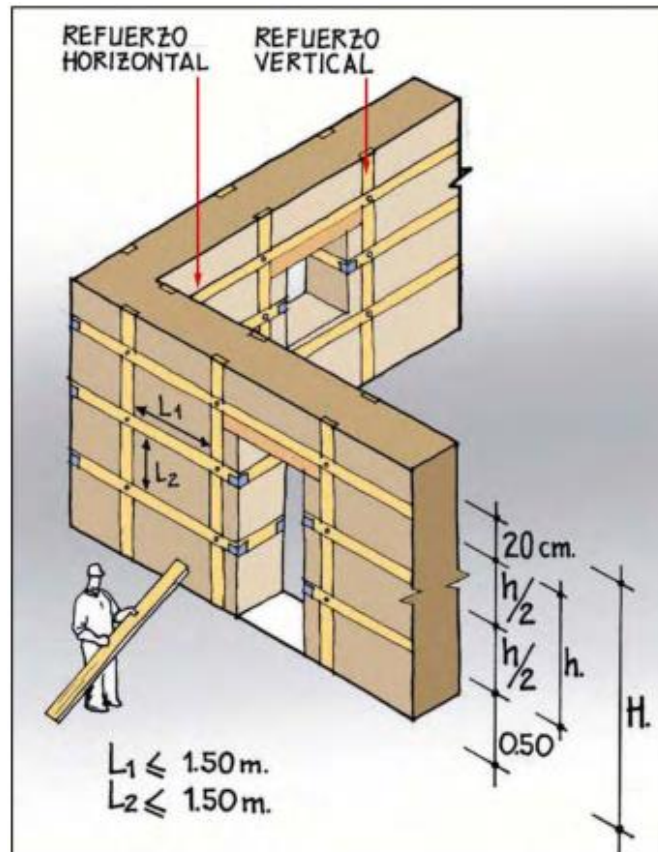


Figura 9-5. Refuerzo con elementos de madera confinantes.

Fuente: [5]

10. DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES

Tabla 10-1. Indicadores.

Aspecto	Impacto	Supuesto	Plazo
Académico	Definición de las condiciones estructurales de un edificación patrimonial	Recolección de información técnica y ejecución de pruebas de laboratorio	Corto
Social-cultural	Generación de interés por parte de la comunidad para la conservación y rehabilitación de las construcciones de tipo patrimonial de la ciudad	Divulgación de la necesidad de restauración de las edificaciones de carácter patrimonial en la ciudad de Villavicencio	Mediano
Económico	Persuasión a los propietarios y a la administración municipal para mejorar las condiciones de las construcciones patrimoniales de la ciudad	Inversión económica para desarrollar proyectos de rehabilitación de las construcciones que así lo requieran	Largo
Científico	Alternativa de rehabilitación y adaptación del caso seleccionado a la normativa nacional	Caracterización de los materiales de construcción usados para la edificación seleccionada	Corto
Institucional	Fomentación a la población para la conservación de este tipo de construcciones en la ciudad.	Reglamentación de medidas para la protección de patrimonio material de la ciudad por parte de la administración municipal	largo

Fuente: Edición propia, 2019.

Tabla 10-2. Descripción de productos finales.

Resultado	Indicador	Objetivo relacionado
Calificación del estado del sistema estructural y de la calidad de los diseños y de los materiales	Evaluación cualitativa. Bueno, regular, malo. Φ_c , Φ_e .	Objetivo específico 1
Relación entre capacidad y demanda	Índices de flexibilidad y sobreesfuerzo	Objetivo específico 2
Diagnóstico de la estructura	Comportamiento de los elementos estructurales ante las solicitaciones de diseño.	Objetivo específico 3
Características mecánicas de los materiales	Módulo de resistencia a la compresión, módulo de resistencia a esfuerzos cortantes y módulo de elasticidad, peso específico.	Objetivo específico 2

Fuente: Edición propia, 2019.

11. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

11.1. CONCLUSIONES

- Se realizó la calificación para valorar el estado en el que se encuentra el Edificio Nacional a partir de los criterios del grupo investigador y se concluyó que se encuentra en buen estado aparente, visualmente el edificio está en buenas condiciones, con lesiones leves con respecto al estado de conservación.
- Los valores de verificación de la deriva en cada uno de los nodos se encuentran dentro del rango establecido por el NSR-10 (no superan el 0,5% de la altura del piso), al realizar el cálculo para el índice de flexibilidad se obtiene que no hay deformaciones excesivas que afecten el buen desempeño de la estructura.
- El índice de sobreesfuerzo muestra que algunos elementos estructurales están es riesgo, pues el esfuerzo actuante de las solicitaciones de diseño supera su resistencia admisible, el mayor valor obtenido como índice de sobreesfuerzo para toda la estructura se encuentra en el muro 22 en sentido Y (84.558).
- Es necesario realizar un estudio de rehabilitación sísmica para el edificio Nacional teniendo en cuenta los procedimientos establecidos por el NSR-10, para el caso de edificaciones declaradas como patrimonio histórico en el capítulo A.10.9.2.5, en donde se aumente el nivel de seguridad de los elementos estructurales vulnerables ante las solicitaciones equivalentes y se permita alcanzar un índice de sobreesfuerzo seguro.

11.2. TRABAJOS FUTUROS

Es necesario realizar una propuesta de rehabilitación sísmica y estructural para el Edificio Nacional y continuar con las etapas 11 y 12 mencionadas en el NSR-10 título A-10.1.4 donde se hace la intervención del sistema estructural a partir de los resultados obtenidos con el desarrollo de las etapas mencionadas en la información preliminar y la evaluación de la estructura existe, esto con el propósito de mejorar el desempeño y la eficiencia estructural de la construcción en acciones límites de servicio.

Teniendo en cuenta las recomendaciones mencionadas en el anexo A se ve la necesidad de llevar a cabo un ensayo de asentamientos debido a la propagación de las fisuras encontradas en el costado de la fachada así como también estudios complementarios que permitan establecer con claridad la gravedad de las lesiones y posterior definir si por ello se pudiera estar viendo comprometido el buen desempeño del sistema estructural.

Revisar si existen alternativas de rehabilitación diferentes a las mencionadas en el presente documento o si a la fecha hay técnicas más actualizadas que permitan mejorar el desempeño estructural de las edificaciones construidas en adobe.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] UNESCO, ““Patrimonio Mundial” en Compromiso con el Patrimonio Mundial, Foro Juvenil del Patrimonio Mundial,” 2004. [OnLine]. Disponible en: <http://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-566-1.pdf>
- [2] N. Espinel Riveros and Á. Nuñez de Velasco, “El Centro Fundacional,” Primera., Villavicencio: Produmedios, 2008, pp. 78–79.
- [3] Digital Globe Microsoft Corporations, “Imagen satelital parque central de Villavicencio.” Villavicencio, 2018.
- [4] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica-AIS, *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá D.C., 2010.
- [5] Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica-AIS, “Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada.” Bogotá D.C., 2004.
- [6] A. R. Caballero Guerrero, “Determinación de la vulnerabilidad sísmica por medio del método del índice de vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el centro histórico de la ciudad de Sincelejo, utilizando la tecnología del sistema de información geográfica. Tesis de maestría,” Fundación Universitaria del Norte, 2007. [OnLine]. Disponible en: <http://manglar.uninorte.edu.co/jspui/bitstream/10584/105/1/92535650.pdf>
- [7] C. A. Díaz Riveros, “En busca de la protección del patrimonio construido en adobe. Estudio de caso del centro histórico de Villavicencio, Colombia, siglos XIX – XX,” Pontificia Universidad Javeriana, 2009. [OnLine]. Disponible en: <https://docplayer.es/33233575-En-busca-de-la-proteccion-del-patrimonio-construido-en-adobe-estudio-de-caso-del-centro-historico-de-villavicencio-colombia-siglos-xix-xx.html>
- [8] L. Salamanca Nonzoque, “Metodología para estudios de vulnerabilidad sísmica y patología estructural para edificaciones con carácter patrimonial. Caso de estudio: Edificio 21 complejo hospitalario San Juan de Dios,” Universidad Militar Nueva Granada, 2015. [OnLine]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/15128>
- [9] Sociedad Colombiana de Arquitectos, “Memorias de diseño y cálculo estructural 26-CA-Corinto Casa de la Cultura.” Bogotá D.C., 2012. [OnLine]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/332165115/26-VULNERABILIDAD-CASA-CULTURA-CORINTO-pdf>
- [10] J. P. Forero Acevedo and J. A. Gomez Ruiz, “Comportamiento estructural de alternativas de mejoramiento sísmico. Caso de estudio: Edificios aporticados de 8 o más pisos en la zona 2 de la ciudad de Bucaramanga,” Universidad Industrial de Santander, 2006.
- [11] C. A. Ceballos Cifuentes, “Estudio de vulnerabilidad sísmica del Liceo Isabel la Católica sección primaria bloque norte en la ciudad de Manizales,” Universidad Nacional de Colombia, 2003.
- [12] L. V. Otálora Suárez, “Estudio de vulnerabilidad y reforzamiento de una estructura de tres pisos y cubierta en placa,” Universidad Militar Nueva Granada, 2012. [OnLine]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/9353/OtaloraSuar ezLizethViviana2012.pdf?sequence=2>
- [13] L. E. Lacouture Yamín, C. Phillips Bernal, J. C. Reyes Ortiz, and D. Ruiz Valencia, “Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada,” *CIMOC, Univ. los Andes*, vol. 20, pp. 286–303, 2007.
- [14] ASTM International, *Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*. United States, 2002, pp. 2–4.
- [15] G. Carballo Rodríguez and A. Navas Carro, “Propiedades Mecánicas De La Mampostería Con Bloques Sólidos De Arcilla,” *VIII Semin. Ing. Estructural y Sísmica*, p. 16, 2005.
- [16] C. Duran Arismendi, ““Estudio geotécnico para el proyecto estudios y diseños para la construcción del edificio de la Gobernación del Meta ubicado en carrera 33 N° 38-45 en la plazoleta de los libertadores municipio de Villavicencio Meta,” Villavicencio, 2011.

ANEXOS






- ANEXO A: Fichas de caracterización general y por elemento estructural
- ANEXO B: Asignación de cargas
- ANEXO C: Análisis de viento
- ANEXO D: Verificación de la deriva
- ANEXO E: Detalle de muros en X e Y (resultados del modelo)

ANEXO A

- Ficha de caracterización general
- Fichas de caracterización patológica por elemento estructural




 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA VILLAVICENCIO		Diagnóstico y evaluación de vulnerabilidad sísmica para construcción patrimonial en la ciudad de Villavicencio, caso de estudio: Edificio Nacional (DIAN).	
FICHA DE CARACTERIZACIÓN GENERAL (DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA)			
1. DATOS GENERALES			
Nombre	Edificio Nacional		
Vetustez	110 años aproximadamente		
Ubicación	Calle 39 N° 32-26 Centro, Villavicencio-Meta		
Tipo de estructura	Mampostería en Adobe		
Tipo de sistema estructural	Muros de carga		
Tipo de cimentación	Cimentación ciclopea		
Área (m2)	430,979		
2. CARACTERÍSTICAS, DATOS COMPLEMENTARIOS Y MODIFICACIONES DEL ESTADO ORIGINAL			
<p>El inmueble fue sometido a una severa remodelación, se cambiaron los pisos de madera por cerámica en la primera y segunda planta, también las puertas de madera de todo el edificio, se realizó la técnica de revoque para la fachada y los muros internos de ladrillo, estos se recubrieron con barniz y posteriormente con pintura, se presume que la escalera de acceso al segundo piso la demolieron y la reconstruyeron puesto que se observa el diseño en concreto y barras de refuerzo que no coinciden con el tipo de construcción de la época, se abrieron huecos para permitir el paso de cableado eléctrico y adecuar ductos de ventilación e iluminación, especialmente se puede hacer énfasis en la construcción de mezzanines en la segunda planta en los extremos de la construcción y la adaptación de escaleras metálicas para acceder a ellos. La cubierta está constituida por un entramado con madera rolliza y aserrada sobre la cual descansan tejas de Eternit con las que se remplazaron las originales de madera y zinc, el cielo raso original de la primera y segunda planta era en estera, este fue removido y reemplazado por uno con estructura en aluminio y láminas de fibrocemento, se hicieron modificaciones y adaptaciones hidrosanitarias.</p>			
3. ESTADO DE CONSERVACIÓN			
Buen estado aparente	SI		
Lesiones leves	No se observaron lesiones graves a partir de la inspección visual, (el análisis estructural permitirá identificar su estado en servicio)		
Lesiones graves	NA		
Lesiones muy graves	NA		
4. SÍNTOMAS OBSERVADOS			
<p>Visualmente el edificio se estima en buenas condiciones, los síntomas y lesiones observadas a partir de la inspección visual se describen en la ficha de caracterización patológica por elemento estructural donde se realiza una descripción detallada del tipo de lesión, la agresividad, las causas y posibles recomendaciones.</p>			



 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA VILLAVICENCIO		Diagnóstico y evaluación de vulnerabilidad sísmica para construcción patrimonial en la ciudad de Villavicencio, caso de estudio: Edificio Nacional (DIAN).	
FICHA DE CARACTERIZACIÓN DE LESIONES PATOLÓGICAS			
1. CONSIGNACIÓN DE DAÑOS			
Elemento Analizado	Tipo de Lesión	Agresividad de la Lesión	
Cubierta	Mecánica	Débil	
	Biológica	Media	
	Química	Fuerte	
	Física	Muy Fuerte	
2. DESCRIPCIÓN DE LA LESIÓN			
<p>La cubierta consiste en un entramado de madera rolliza y acerrada que descansa sobre los muros de carga, se encontraba recubierta con cielo rasos de madera en forma de estera la cual fue retirada y remplazada por una en fibrocemento, la madera está recubierta por neme, actualmente no se evidenciaron ataques por agentes biológicos fuertes, se observan aberturas longitudinales en las vigas y travesaños (fendas por secado), se trató de mitigar este fenómeno en algunas vigas colocando flejes, se observa meteorización.</p>			
3. CAUSAS DE LA LESIÓN			
<p>Las fisuras en los elementos pueden ser causadas por efectos del clima, la pérdida de humedad y la exposición a altas temperaturas causan expansión y contracción de las fibras. La presencia de ataques por agentes biológicos, por insectos y hongos es leve.</p>			
4. RECOMENDACIONES			
<p>Las fendas o fisuras causadas por agentes climáticos no siempre afectan la resistencia mecánica de los elementos, pero estas deben ser mitigadas mediante la colocación de mecanismos que restrinjan su prolongación. En el caso de encontrarse elementos afectados por agentes biológicos estos deberán ser atendidos o remplazados para evitar la propagación de la patología a elementos sanos.</p>			
		 	
			
			

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA VILLAVICENCIO		Diagnóstico y evaluación de vulnerabilidad sísmica para construcción patrimonial en la ciudad de Villavicencio, caso de estudio: Edificio Nacional (DIAN).	
FICHA DE CARACTERIZACIÓN DE LESIONES PATOLÓGICAS			
1. CONSIGNACIÓN DE DAÑOS			
Elemento Analizado	Tipo de Lesión	Agresividad de la Lesión	
Placa entrepiso	Mecánica	Débil	
	Química	Media	
	Física	Muy Fuerte	
2. DESCRIPCIÓN DE LA LESIÓN			
<p>La placa está constituida por un entramado de madera acerrada y rolliza, la cual fue recubierta con cerámica. Se observan deflexiones en los vanos más grandes de la placa, se perciben vibraciones.</p>			
3. CAUSAS DE LA LESIÓN			
<p>Las vibraciones y deflexiones del entrepiso pueden ser causadas por el aumento de carga al que se sometió la losa con las modificaciones de acabados y a la naturaleza de la madera.</p>			
4. RECOMENDACIONES			
<p>Se puede considerar rigidizar el entramado de madera para controlar las deflexiones.</p>			
			

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA VILLAVICENCIO		Diagnóstico y evaluación de vulnerabilidad sísmica para construcción patrimonial en la ciudad de Villavicencio, caso de estudio: Edificio Nacional (DIAN).	
FICHA DE CARACTERIZACIÓN DE LESIONES PATOLÓGICAS			
1. CONSIGNACIÓN DE DAÑOS			
Elemento Analizado	Tipo de Lesión	Agresividad de la Lesión	
Muro de fachada	Mecánica	Débil	
	Química	Media	
	Biológica	Fuerte	
	Física	Muy Fuerte	
2. DESCRIPCIÓN DE LA LESIÓN			
<p>El edificio Nacional colinda con la catedral de Villavicencio, estas construcciones se encuentran separadas por muros en 30 cm aproximadamente, la dilatación no es perceptible en la fachada de la edificación, específicamente en el costado sur se puede apreciar una grieta vertical desde la parte superior hasta la base del muro, a partir de ella también se desarrollan otras grietas horizontales en dirección a la ventana, se localizan algunas fisuras en el otro costado que inician desde las ventanas y se desplazan de forma vertical, horizontal y diagonal.</p>			
3. CAUSAS DE LA LESIÓN			
<p>La grieta vertical puede ser causada por el desprendimiento de la parte del muro con el que se completó la fachada hasta la catedral, este pudo haberse construido con posterioridad a la culminación del edificio lo que causaría un comportamiento diferente al de toda la construcción, y la separación de este elemento puede estar causando fracturas en el material de acabado del muro. Las fisuras pueden ser originadas por altura excesiva del muro, cargas excesivas o asentamientos puesto que algunas van en dirección al terreno,</p>			
4. RECOMENDACIONES			
<p>Es necesario determinar la profundidad de las grietas, si estas son profundas los ladrillos se pueden estar separando, en el caso de que sean superficiales y solo afecten el revoque del muro es necesario intervenir la patología pues afecta la estética del edificio, se debe revisar la cimentación, hacer un comparativo entre las cargas que soporta actualmente y las de diseño, identificar si son grietas o fisura muertas o activas, si son muertas se reparan con inyecciones de resinas epóxicas o sellantes en seco, o haciendo ranuras y sellándolas.</p>			
			
			

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA VILLAVICENCIO		Diagnóstico y evaluación de vulnerabilidad sísmica para construcción patrimonial en la ciudad de Villavicencio, caso de estudio: Edificio Nacional (DIAN).	
FICHA DE CARACTERIZACIÓN DE LESIONES PATOLÓGICAS			
1. CONSIGNACIÓN DE DANOS			
Elemento Analizado	Tipo de Lesión	Agresividad de la Lesión	
Modificaciones	Mecánica	Media	
	Biologica	Debil	
	Quimica	Fuerte	
	Fisica	Muy Fuerte	
2. DESCRIPCIÓN DE LA LESIÓN			
<p>Las modificaciones que se han hecho en la construcción propiamente no son una patología, pero si puede ser causantes, ya sea por las cargas adicionales o por los procedimientos constructivos utilizados, se infiere que la escalera principal fue remodelada, se adicionaron 2 mezzanines en la segunda planta y se construyeron escaleras metálicas para acceder a ellos, estos se apoyan en vigas metálicas empotradas en los muros, se colocó acabado en cerámica en el entrepiso modificando, se hicieron adaptaciones para redes hidrosanitarias, eléctricas y de ventilación.</p>			
3. CAUSAS DE LA LESIÓN			
<p>Las modificaciones pueden estar causando sobreesfuerzo en elementos estructurales, la sobrecarga generada por la cerámica puede ser la causante de la deflexión que se observa en algunos espacios en el segundo piso.</p>			
4. RECOMENDACIONES			
<p>Se recomienda hacer un análisis de cargas y modelación del comportamiento de la construcción para determinar el estado y la necesidad de realizar alguna intervención estructural.</p>			
			
			

ANEXO B

- Asignación de cargas

1. CUBIERTA

1.1. CARGA VIVA

Cubierta con inclinación > 15°: 0.35 KN/ m² (TABLA B.4.2.1-2 NSR-10)

1.2. CARGA MUERTA

Componentes:

- a. Armadura en madera laminada
- b. Tejas en asbesto- cemento
- c. Canales
- d. Ductos de ventilación
- e. Cielo raso con entramado metálico suspendido afinado en láminas de asbesto cemento

Definición de cargas:

Se toma un valor total de carga muerta de cubierta con ocupación para oficinas puesto que no se efectúa un análisis detallado.

Carga por m²: 1.8 KN/m² (Tabla B.3.4.3-1)

C.M. Total cubierta 1.8 KN/m²

2. ENTREPISO

2.1. CARGA VIVA ENTREPISO Y MEZZANINES

Corredores y escaleras: 3 KN/ m² (TABLA B.4.2.1-1 NSR-10)

Oficinas: 2 KN/m² (TABLA B.4.2.1-1 NSR-10)

2.2. CARGA MUERTA

2.2.1. Carga Muerta Sobreimpuesta

- 1. Muretes: Mampostería de bloque de arcilla pañetado en ambas caras
e: 0,15 m h: 2,40 m**

Carga por m² de superficie vertical: 2,50 KN/m² (TABLA B.3.4.2-4 NSR-10)

Área muros: 0.8808 m²

Área placa entrepiso: 430,979 m²

W: 0,8808 m²* 2,50 KN/m²: 2,202 KN

Carga por m²: 2,202 KN / 430,979 m²: **0,00511 KN/ m²**

2. Vidrios: Ventana, vidrio, entramado y marco

Carga por m² de superficie vertical: 0,45 KN/m² (TABLA B.3.4.2-5 NSR-10)

Área total vidrios: 130,215 m²

Área placa entrepiso: 430,979 m²

W: 130,215 m²*0,45 KN/m²: 58,597 KN

Carga por m²: 58,597 KN / 430,979 m²: **0,135 KN/m²**

3. Losa entrepiso en madera con acabado en baldosa

Componentes

- a. Vigas en madera de 100*160 mm en madera laminada
- b. Tablas en madera de 25 mm
- c. Malla electro soldada #8 - 6*6
- d. Alistado en mortero de 50 mm
- e. Baldosas
- f. Cielo raso con entramado metálico suspendido afinado en láminas de asbesto cemento

Determinación de cargas:

- a. Vigas en madera laminada:

Densidad vigas 600 kg/m³ (TABLA B.3.2-1 NSR-10)

Volumen para una sección de 8 vigas: (0,1m*0,16m*5m)*8 vigas: 0,64 m³

Área de la sección evaluada: 31,75 m²

Masa vigas: 0,64 m³ * 600 kg/m³: 384 kg

W sección evaluada: 384 kg * 9.81 m/s²: 3767 N -> 3.767 KN

Carga por m²: 3.767 KN / 31.75 m²: **1.186 KN/m²**

- b. Tablas de madera densa 25 mm carga por m² de área en planta

Carga por m²: **0.2 KN/m²** (NSR-10, Tabla B.3.4.1-3)

- c. Malla electro-soldada

Ficha técnica de industrias SICARTSA para láminas de 2.5 *6 m en malla de alambre #8, espacios de 15*15 cm.

Masa: 19 kg*lamina

Masa por metro cuadrado: 19 kg / (2,5 m*6 m): 1.27 Kg/m²

Carga por m²: (1.27 Kg/m²*9.81 m/s²)/1000: **0.012 KN/m²**

- d. Alistado de mortero de 50mm

Carga por cada mm de espesor: 0.02 KN/m² (NSR-10, Tabla B.3.4.1-3)

Carga por m²: 50*0.02: **1.0 KN/m²**

- e. Baldosa cerámica (20 mm) sobre 12 mm de mortero

Carga por m²: **0.8 KN/m²** (NSR-10, Tabla B.3.4.1-3)

- f. Cielo raso con entramado metálico suspendido afinado en láminas de asbesto cemento

Carga por m²: **0.7 KN/m²** (NSR-10, Tabla B.3.4.1-1)

C.M. Total losa, vidrios y muretes 4,03811 KN/m²

4. Mezzanines en Metaldeck con acabado en baldosas

Componentes:

- a. Láminas de Metaldeck 2" Cal 22
- b. Alistado de mortero 100 mm espesor
- c. Malla electro soldada #8 - 6*6
- d. Baldosa
- e. Cielo raso con entramado metálico suspendido afinado en láminas de asbesto cemento

Determinación de cargas:

- a. Laminas Metaldeck #2 Cal 22 Ficha técnica acceso METALDECK

Masa por m²: 7.57 Kg/m²

Carga por m²: (7.57 Kg/m²*9.81 m/s²)/1000: **0.07 KN/m²**

- b. Alistado de mortero de 100 mm (NSR-10, Tabla B.3.4.1-3)

Carga por m² de área en planta: 0.02KN/m²

Carga por m²: 0,002 KN/m²*100mm: **2.0 KN/m²**

- c. Malla electro-soldada

Ficha técnica de industrias SICARTSA para láminas de 2.5 *6 m en malla de alambre #8, espacios de 15*15 cm.

Masa: 19 kg*lamina

Masa por metro cuadrado: 19 kg / (2,5 m*6 m): 1.27 Kg/m²

Carga por m²: (1.27 Kg/m²*9.81 m/s²)/1000: **0.012 KN/m²**

d. Baldosa cerámica sobre 12 mm de mortero

Carga por m²: **0.8 KN/m²** (NSR-10, Tabla B.3.4.1-3)

e. Cielo raso con entramado metálico suspendido afinado en láminas de asbesto cemento

Carga por m²: **0.7 KN/m²** (NSR-10, Tabla B.3.4.1-1)

C.M. Total Mezzanine 3,582 KN/m²

Total Carga Sobreimpuesta 7,62 KN/m²

2.2.2. Carga Muerta Peso Propio

1. Muros mampostería e: 0,30 m

Área muros: 1181,693 m²

Volumen muros: 354,508 m³

Área placa entrepiso: 430,979 m²

Peso específico muretes de mampostería: 17,444 KN/m³

W total: 354,508 m³*17,444 KN/ m³: 6184,038 KN

Carga por m²: 6184,038 KN/430,979 m²: **14,348 KN/M²**

PESO DEL EDIFICIO

1. CUBIERTA

Peso total W_{Cubierta}: 1.8 KN/m²*430.979 m²: 775.762 KN

2. ENTREPISO

Carga entrepiso SI: 7,62 KN/m²

Carga entrepiso PP: 14,348 KN/m²

Carga total entrepiso: 21,968 KN/m²


Peso total W_{entrepiso}: 21,968 KN/m² * 430,979 m²: 9467,747 KN

Peso Total Edificio W: 10243,509 KN

ANEXO C

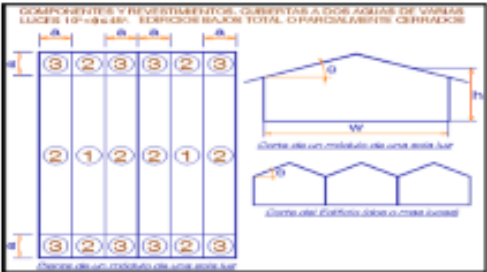
- Análisis de viento

Diagnóstico y evaluación de vulnerabilidad sísmica para construcción patrimonial en la ciudad de Villavicencio, caso de estudio: Edificio Nacional (DIAN).

	Memorias de cálculo ANÁLISIS DE CARGAS DE VIENTO NSR - 10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> (Procedimiento Analítico)	Fecha febrero 28 ⁷ 2019
	Proyecto EDIFICIO NACIONAL	Aprobó


TIPO DE ESTRUCTURA: Componentes y Revestimientos

COMPONENTES Y REVESTIMIENTOS. CUBIERTAS A DOS AGUAS DE VARIAS LUCES 10°-45°. EDIFICIOS BAJO TOTAL O PARCIALMENTE CERRADOS




Tipo de Cubierta a la que pertenece el Elemento (TIPO DE CUBIERTA):	Cubiertas a dos aguas varias luces
Longitud del Elemento (m):	14
Aferencia del Elemento (Separación entre Correas) (m):	1.2
Área Efectiva contra Viento (m ²):	16.8
Altura Media de la Estructura (h) (m):	10.3
Dimensión Horizontal de la Estructura (Paralela al Viento) (L) (m):	37
Dimensión Horizontal de la Estructura (Normal al Viento) (B) (m):	14
Ángulo de Inclinación de la Cubierta (Barlovento) :	20
Ángulo de Inclinación de la Cubierta (Sotavento) :	0
Período del Edificio (T) (seg):	0
Clasificación de la Estructura:	
ESTRUCTURA:	RIGIDA
EDIFICIO:	Parcialmente Cerrado
EDIFICIO:	Bajo
FLUJO DE VIENTO:	
TIPO DE CUBIERTA:	Una Pendiente
Velocidad de Viento Básica (Según Mapa) (V) (m/s):	33
Factor de Dirección de Viento (Kd):	0.85
Uso de la Estructura (grupo):	II
Tipo de Región de la Estructura (Clase):	Región sin huracanes
Factor de Importancia (I):	1

*Diagnóstico y evaluación de vulnerabilidad sísmica para construcción patrimonial
en la ciudad de Villavicencio, caso de estudio: Edificio Nacional (DIAN).*

	Memorias de cálculo ANÁLISIS DE CARGAS DE VIENTO NSR - 10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> (Procedimiento Analítico)	Fecha febrero 28 ² / ₁ 2019																																																												
	Proyecto EDIFICIO NACIONAL	Aprobó																																																												
<table border="0"> <tr> <td>Rugosidad de Terreno :</td> <td>Rugosidad B</td> </tr> <tr> <td>Altura de la Estructura por encima del Terreno (Z) (m):</td> <td>10.3</td> </tr> <tr> <td>Exponente para la ley potencial de la velocidad de ráfaga de 3 seg. (α) (-):</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Altura nominal de la Capa Atmosférica Limite (Zg) (m):</td> <td>365.8</td> </tr> <tr> <td>Categoría de Exposición :</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de Exposición de Presión por Velocidad (Kh):</td> <td>0.72</td> </tr> <tr> <td>Su Estructura cumple TODOS los Efectos Topográficos:</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Factor Topográfico (Kzt):</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Altura Equivalente de la Estructura (Zb) (m):</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>Factor de Escala de Longitud Integral (I) (m):</td> <td>97.5</td> </tr> <tr> <td>Exponente para la Ley Potencial (εb) (-):</td> <td>1/3</td> </tr> <tr> <td>Longitud Integral a Escala de la Turbulencia (Lzb) (m):</td> <td>94.14</td> </tr> <tr> <td>Factor de Respuesta del Entorno (Q) (-):</td> <td>0.889</td> </tr> <tr> <td>Intensidad de Turbulencia a la Altura zb (Izb) (-):</td> <td>0.305</td> </tr> <tr> <td>Factor Pico para Respuesta del Entorno y Viento respectivamente (gQ = gv) (-):</td> <td>3.4</td> </tr> <tr> <td>Velocidad de Viento Promedia por una hora a una altura z (Vbzb) (m/s):</td> <td>14.464</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de Amortiguamiento Critico (β) (-):</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia Natural del Edificio (η1) (Hz):</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia para RL (ηRL) (Hz):</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia para RB (ηRB) (Hz):</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia para Rh (ηRh) (Hz):</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Factor de Respuesta para L (RL) (-):</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Factor de Respuesta para B (RB) (-):</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Factor de Respuesta para h (Rh) (-):</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia Reducida (N1) (-):</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Valor (Rn) (-):</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Factor de Respuesta de Resonancia (R) (-):</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Factor Pico para Respuesta de Resonancia (gR) (-):</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Presión de Velocidad (qh) (Kg/m²):</td> <td>41.127</td> </tr> <tr> <td>Factor de Efecto Ráfaga (G) (-):</td> <td>0.86</td> </tr> </table>			Rugosidad de Terreno :	Rugosidad B	Altura de la Estructura por encima del Terreno (Z) (m):	10.3	Exponente para la ley potencial de la velocidad de ráfaga de 3 seg. (α) (-):	7	Altura nominal de la Capa Atmosférica Limite (Zg) (m):	365.8	Categoría de Exposición :	B	Coefficiente de Exposición de Presión por Velocidad (Kh):	0.72	Su Estructura cumple TODOS los Efectos Topográficos:	No	Factor Topográfico (Kzt):	1	Altura Equivalente de la Estructura (Zb) (m):	9	Factor de Escala de Longitud Integral (I) (m):	97.5	Exponente para la Ley Potencial (εb) (-):	1/3	Longitud Integral a Escala de la Turbulencia (Lzb) (m):	94.14	Factor de Respuesta del Entorno (Q) (-):	0.889	Intensidad de Turbulencia a la Altura zb (Izb) (-):	0.305	Factor Pico para Respuesta del Entorno y Viento respectivamente (gQ = gv) (-):	3.4	Velocidad de Viento Promedia por una hora a una altura z (Vbzb) (m/s):	14.464	Coefficiente de Amortiguamiento Critico (β) (-):	0	Frecuencia Natural del Edificio (η1) (Hz):	0	Frecuencia para RL (ηRL) (Hz):	0	Frecuencia para RB (ηRB) (Hz):	0	Frecuencia para Rh (ηRh) (Hz):	0	Factor de Respuesta para L (RL) (-):	1	Factor de Respuesta para B (RB) (-):	1	Factor de Respuesta para h (Rh) (-):	1	Frecuencia Reducida (N1) (-):	0	Valor (Rn) (-):	0	Factor de Respuesta de Resonancia (R) (-):	0	Factor Pico para Respuesta de Resonancia (gR) (-):	0	Presión de Velocidad (qh) (Kg/m ²):	41.127	Factor de Efecto Ráfaga (G) (-):	0.86
Rugosidad de Terreno :	Rugosidad B																																																													
Altura de la Estructura por encima del Terreno (Z) (m):	10.3																																																													
Exponente para la ley potencial de la velocidad de ráfaga de 3 seg. (α) (-):	7																																																													
Altura nominal de la Capa Atmosférica Limite (Zg) (m):	365.8																																																													
Categoría de Exposición :	B																																																													
Coefficiente de Exposición de Presión por Velocidad (Kh):	0.72																																																													
Su Estructura cumple TODOS los Efectos Topográficos:	No																																																													
Factor Topográfico (Kzt):	1																																																													
Altura Equivalente de la Estructura (Zb) (m):	9																																																													
Factor de Escala de Longitud Integral (I) (m):	97.5																																																													
Exponente para la Ley Potencial (εb) (-):	1/3																																																													
Longitud Integral a Escala de la Turbulencia (Lzb) (m):	94.14																																																													
Factor de Respuesta del Entorno (Q) (-):	0.889																																																													
Intensidad de Turbulencia a la Altura zb (Izb) (-):	0.305																																																													
Factor Pico para Respuesta del Entorno y Viento respectivamente (gQ = gv) (-):	3.4																																																													
Velocidad de Viento Promedia por una hora a una altura z (Vbzb) (m/s):	14.464																																																													
Coefficiente de Amortiguamiento Critico (β) (-):	0																																																													
Frecuencia Natural del Edificio (η1) (Hz):	0																																																													
Frecuencia para RL (ηRL) (Hz):	0																																																													
Frecuencia para RB (ηRB) (Hz):	0																																																													
Frecuencia para Rh (ηRh) (Hz):	0																																																													
Factor de Respuesta para L (RL) (-):	1																																																													
Factor de Respuesta para B (RB) (-):	1																																																													
Factor de Respuesta para h (Rh) (-):	1																																																													
Frecuencia Reducida (N1) (-):	0																																																													
Valor (Rn) (-):	0																																																													
Factor de Respuesta de Resonancia (R) (-):	0																																																													
Factor Pico para Respuesta de Resonancia (gR) (-):	0																																																													
Presión de Velocidad (qh) (Kg/m ²):	41.127																																																													
Factor de Efecto Ráfaga (G) (-):	0.86																																																													

Diagnóstico y evaluación de vulnerabilidad sísmica para construcción patrimonial en la ciudad de Villavicencio, caso de estudio: Edificio Nacional (DIAN).

	Memorias de cálculo	Fecha																											
	ANÁLISIS DE CARGAS DE VIENTO NSR - 10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> (Procedimiento Analítico)	febrero 28/2019																											
Proyecto	Aprobó																												
EDIFICIO NACIONAL																													
<p>Coefficiente de Presión Interna (GC_{pi+}) (-): 0.55</p> <p>Coefficiente de Presión Interna (GC_{pi-}) (-): -0.55</p> <p>a (m): 1.4</p>																													
<p>Coefficientes de Presión Externa CUBIERTA Edificios Bajos (C & R):</p> <table border="1"> <tr> <td rowspan="2">Zona 1</td> <td>GC_{pe+} (-)</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>GC_{pe-} (-)</td> <td>-1.4</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Zona 2</td> <td>GC_{pe+} (-)</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>GC_{pe-} (-)</td> <td>-1.7</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Zona 2'</td> <td>GC_{pe+} (-)</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>GC_{pe-} (-)</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Zona 3</td> <td>GC_{pe+} (-)</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>GC_{pe-} (-)</td> <td>-1.7</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Zona 3'</td> <td>GC_{pe+} (-)</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>GC_{pe-} (-)</td> <td>0.00</td> </tr> </table>			Zona 1	GC _{pe+} (-)	0.4	GC _{pe-} (-)	-1.4	Zona 2	GC _{pe+} (-)	0.4	GC _{pe-} (-)	-1.7	Zona 2'	GC _{pe+} (-)	0.00	GC _{pe-} (-)	0.00	Zona 3	GC _{pe+} (-)	0.4	GC _{pe-} (-)	-1.7	Zona 3'	GC _{pe+} (-)	0.00	GC _{pe-} (-)	0.00		
Zona 1	GC _{pe+} (-)	0.4																											
	GC _{pe-} (-)	-1.4																											
Zona 2	GC _{pe+} (-)	0.4																											
	GC _{pe-} (-)	-1.7																											
Zona 2'	GC _{pe+} (-)	0.00																											
	GC _{pe-} (-)	0.00																											
Zona 3	GC _{pe+} (-)	0.4																											
	GC _{pe-} (-)	-1.7																											
Zona 3'	GC _{pe+} (-)	0.00																											
	GC _{pe-} (-)	0.00																											
<p>Presiones de Diseño CUBIERTA (Cubiertas a dos aguas de varias luces 10° < θ ≤ 45°) Edificios Bajos (C & R):</p> <table border="1"> <tr> <td rowspan="4">Zona 1</td> <td>P. Dis. con GC_{pe+} y con GC_{pe+} (kg/m²)</td> <td>-6.169</td> </tr> <tr> <td>P. Dis. con GC_{pe+} y con GC_{pe-} (kg/m²)</td> <td>28.071</td> </tr> <tr> <td>P. Dis. con GC_{pe-} y con GC_{pe+} (kg/m²)</td> <td>-34.958</td> </tr> <tr> <td>P. Dis. con GC_{pe-} y con GC_{pe-} (kg/m²)</td> <td>-47.296</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">Zona 2</td> <td>P. Dis. con GC_{pe+} y con GC_{pe+} (kg/m²)</td> <td>-6.169</td> </tr> <tr> <td>P. Dis. con GC_{pe+} y con GC_{pe-} (kg/m²)</td> <td>28.071</td> </tr> <tr> <td>P. Dis. con GC_{pe-} y con GC_{pe+} (kg/m²)</td> <td>-34.958</td> </tr> <tr> <td>P. Dis. con GC_{pe-} y con GC_{pe-} (kg/m²)</td> <td>-47.296</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">Zona 3</td> <td>P. Dis. con GC_{pe+} y con GC_{pe+} (kg/m²)</td> <td>-6.169</td> </tr> <tr> <td>P. Dis. con GC_{pe+} y con GC_{pe-} (kg/m²)</td> <td>28.071</td> </tr> <tr> <td>P. Dis. con GC_{pe-} y con GC_{pe+} (kg/m²)</td> <td>-34.958</td> </tr> <tr> <td>P. Dis. con GC_{pe-} y con GC_{pe-} (kg/m²)</td> <td>-47.296</td> </tr> </table>			Zona 1	P. Dis. con GC _{pe+} y con GC _{pe+} (kg/m ²)	-6.169	P. Dis. con GC _{pe+} y con GC _{pe-} (kg/m ²)	28.071	P. Dis. con GC _{pe-} y con GC _{pe+} (kg/m ²)	-34.958	P. Dis. con GC _{pe-} y con GC _{pe-} (kg/m ²)	-47.296	Zona 2	P. Dis. con GC _{pe+} y con GC _{pe+} (kg/m ²)	-6.169	P. Dis. con GC _{pe+} y con GC _{pe-} (kg/m ²)	28.071	P. Dis. con GC _{pe-} y con GC _{pe+} (kg/m ²)	-34.958	P. Dis. con GC _{pe-} y con GC _{pe-} (kg/m ²)	-47.296	Zona 3	P. Dis. con GC _{pe+} y con GC _{pe+} (kg/m ²)	-6.169	P. Dis. con GC _{pe+} y con GC _{pe-} (kg/m ²)	28.071	P. Dis. con GC _{pe-} y con GC _{pe+} (kg/m ²)	-34.958	P. Dis. con GC _{pe-} y con GC _{pe-} (kg/m ²)	-47.296
Zona 1	P. Dis. con GC _{pe+} y con GC _{pe+} (kg/m ²)	-6.169																											
	P. Dis. con GC _{pe+} y con GC _{pe-} (kg/m ²)	28.071																											
	P. Dis. con GC _{pe-} y con GC _{pe+} (kg/m ²)	-34.958																											
	P. Dis. con GC _{pe-} y con GC _{pe-} (kg/m ²)	-47.296																											
Zona 2	P. Dis. con GC _{pe+} y con GC _{pe+} (kg/m ²)	-6.169																											
	P. Dis. con GC _{pe+} y con GC _{pe-} (kg/m ²)	28.071																											
	P. Dis. con GC _{pe-} y con GC _{pe+} (kg/m ²)	-34.958																											
	P. Dis. con GC _{pe-} y con GC _{pe-} (kg/m ²)	-47.296																											
Zona 3	P. Dis. con GC _{pe+} y con GC _{pe+} (kg/m ²)	-6.169																											
	P. Dis. con GC _{pe+} y con GC _{pe-} (kg/m ²)	28.071																											
	P. Dis. con GC _{pe-} y con GC _{pe+} (kg/m ²)	-34.958																											
	P. Dis. con GC _{pe-} y con GC _{pe-} (kg/m ²)	-47.296																											
<p>*El NSR-10 [B. E. 1.3] estipula que la presión de diseño no será menor de 0.40 kN/m² (40 kg/m²)</p>																													

ANEXO D

- Verificación de la deriva

*Diagnóstico y evaluación de vulnerabilidad sísmica para construcción patrimonial
en la ciudad de Villavicencio, caso de estudio: Edificio Nacional (DIAN).*

Eje	nivel	Nodo	X	Y	Hp (m)	0.5 % Hp (m)	Deriva (m)	Verificación	I F
A1	Cubierta	408	9.502.E-07	-1.363.E-07	5.8	0.029	1.385.E-07	CUMPLE	0.0000048
A1	Entrepiso	11	8.152.E-07	-1.053.E-07	4.5	0.0225	8.220.E-07	CUMPLE	0.0000365
A1	Cimentación	8	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
B1	Cubierta	378	9.502.E-07	-6.998.E-08	5.8	0.029	1.356.E-07	CUMPLE	0.0000047
B1	Entrepiso	16	8.152.E-07	-5.749.E-08	4.5	0.0225	8.172.E-07	CUMPLE	0.0000363
B1	Cimentación	15	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
I1	Cubierta	17	9.502.E-07	2.133.E-07	5.8	0.029	1.504.E-07	CUMPLE	0.0000052
I1	Entrepiso	27	8.152.E-07	1.469.E-07	4.5	0.0225	8.283.E-07	CUMPLE	0.0000368
I1	Cimentación	24	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
K1	Cubierta	233	9.502.E-07	2.783.E-07	5.8	0.029	1.592.E-07	CUMPLE	0.0000055
K1	Entrepiso	323	8.152.E-07	1.939.E-07	4.5	0.0225	8.379.E-07	CUMPLE	0.0000372
K1	Cimentación	307	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
B2	Cubierta	449	9.427.E-07	-6.998.E-08	5.8	0.029	1.335.E-07	CUMPLE	0.0000046
B2	Entrepiso	31	8.098.E-07	-5.749.E-08	4.5	0.0225	8.118.E-07	CUMPLE	0.0000361
B2	Cimentación	28	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
I2	Cubierta	12	9.427.E-07	2.133.E-07	5.8	0.029	1.486.E-07	CUMPLE	0.0000051
I2	Entrepiso	58	8.098.E-07	1.469.E-07	4.5	0.0225	8.230.E-07	CUMPLE	0.0000366
I2	Cimentación	57	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
H3	Cubierta	517	8.893.E-07	1.639.E-07	5.8	0.029	1.292.E-07	CUMPLE	0.0000045
H3	Entrepiso	133	7.713.E-07	1.113.E-07	4.5	0.0225	7.793.E-07	CUMPLE	0.0000346
H3	Cimentación	130	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
K3	Cubierta	516	8.893.E-07	2.783.E-07	5.8	0.029	1.451.E-07	CUMPLE	0.0000050
K3	Entrepiso	136	7.713.E-07	1.939.E-07	4.5	0.0225	7.953.E-07	CUMPLE	0.0000353
K3	Cimentación	135	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
A4	Cubierta	547	8.671.E-07	-1.363.E-07	5.8	0.029	1.161.E-07	CUMPLE	0.0000040
A4	Entrepiso	143	7.552.E-07	-1.053.E-07	4.5	0.0225	7.625.E-07	CUMPLE	0.0000339
A4	Cimentación	140	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
H4	Cubierta	546	8.671.E-07	1.658.E-07	5.8	0.029	1.239.E-07	CUMPLE	0.0000043
H4	Entrepiso	192	7.552.E-07	1.126.E-07	4.5	0.0225	7.635.E-07	CUMPLE	0.0000339
H4	Cimentación	189	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
A5	Cubierta	52	8.306.E-07	-1.363.E-07	5.8	0.029	1.064.E-07	CUMPLE	0.0000037
A5	Entrepiso	197	7.288.E-07	-1.053.E-07	4.5	0.0225	7.364.E-07	CUMPLE	0.0000327
A5	Cimentación	194	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
K5	Cubierta	508	8.306.E-07	2.783.E-07	5.8	0.029	1.322.E-07	CUMPLE	0.0000046
K5	Entrepiso	219	7.288.E-07	1.939.E-07	4.5	0.0225	7.542.E-07	CUMPLE	0.0000335
K5	Cimentación	218	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
C6	Cubierta	518	7.789.E-07	-2.183.E-08	5.8	0.029	8.730.E-08	CUMPLE	0.0000030
C6	Entrepiso	4	6.916.E-07	-2.274.E-08	4.5	0.0225	6.920.E-07	CUMPLE	0.0000308
C6	Cimentación	1	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
K6	Cubierta	232	7.789.E-07	2.783.E-07	5.8	0.029	1.214.E-07	CUMPLE	0.0000042

*Diagnóstico y evaluación de vulnerabilidad sísmica para construcción patrimonial
en la ciudad de Villavicencio, caso de estudio: Edificio Nacional (DIAN).*

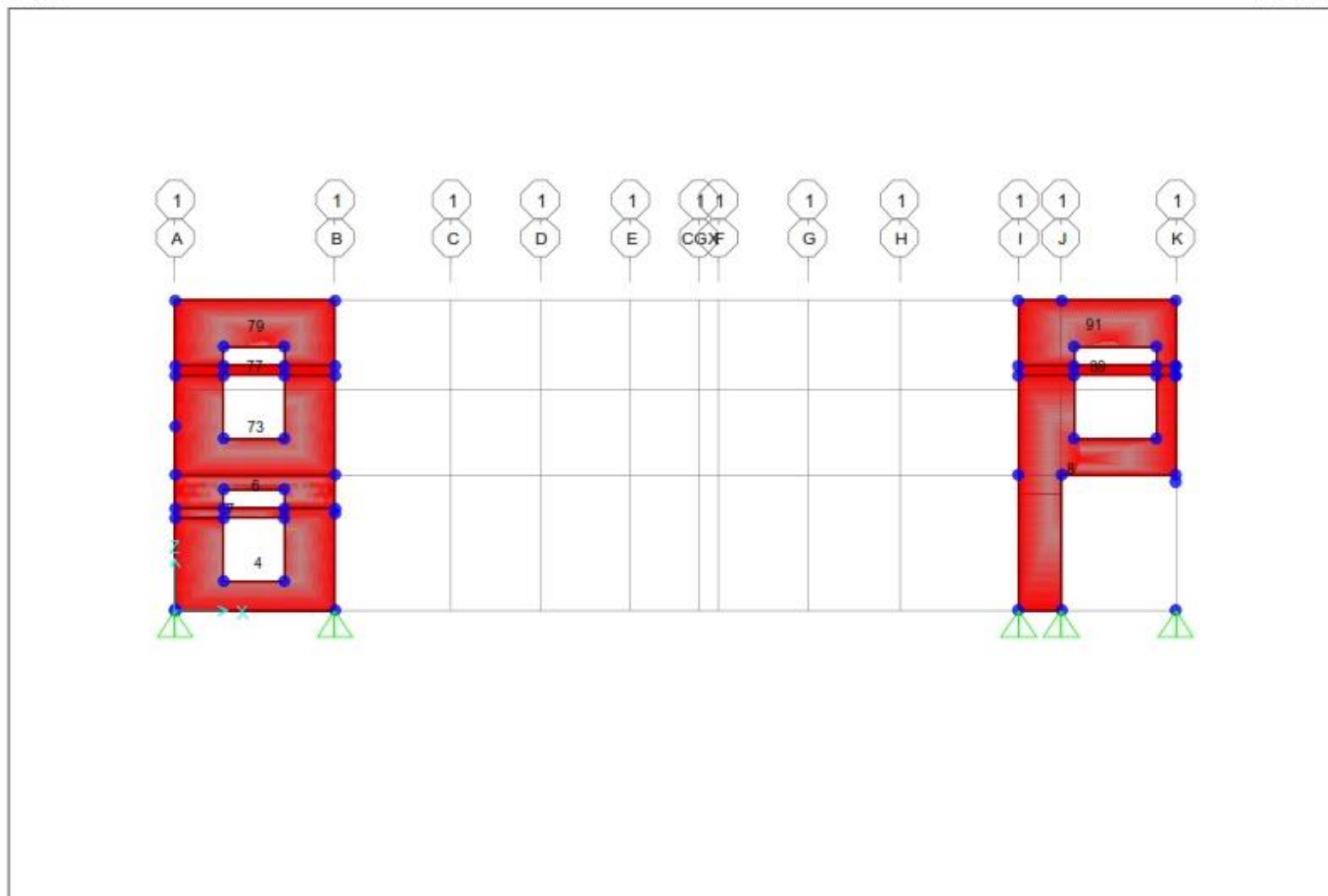
K6	Entrepiso	3	6.916.E-07	1.939.E-07	4.5	0.0225	7.183.E-07	CUMPLE	0.0000319
K6	Cimentación	1	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
A7	Cubierta	551	7.612.E-07	-1.363.E-07	5.8	0.029	3.841.E-07	CUMPLE	0.0000132
A7	Entrepiso	525	3.774.E-07	-1.210.E-07	4.5	0.0225	3.963.E-07	CUMPLE	0.0000176
A7	Cimentación	145	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
B7	Cubierta	550	7.612.E-07	-6.811.E-08	5.8	0.029	3.749.E-07	CUMPLE	0.0000129
B7	Entrepiso	521	3.871.E-07	-4.418.E-08	4.5	0.0225	3.896.E-07	CUMPLE	0.0000173
B7	Cimentación	146	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
A8	Cubierta	407	7.339.E-07	-1.363.E-07	5.8	0.029	8.097.E-08	CUMPLE	0.0000028
A8	Entrepiso	152	6.591.E-07	-1.053.E-07	4.5	0.0225	6.675.E-07	CUMPLE	0.0000297
A8	Cimentación	149	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
C8	Cubierta	369	7.339.E-07	-2.183.E-08	5.8	0.029	7.481.E-08	CUMPLE	0.0000026
C8	Entrepiso	222	6.591.E-07	-2.274.E-08	4.5	0.0225	6.595.E-07	CUMPLE	0.0000293
C8	Cimentación	221	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
E2	Cubierta	300	9.427.E-07	5.233.E-08	5.8	0.029	1.346.E-07	CUMPLE	0.0000046
E2	Entrepiso	240	8.098.E-07	3.078.E-08	4.5	0.0225	8.104.E-07	CUMPLE	0.0000360
E2	Cimentación	223	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
E4	Cubierta	293	8.671.E-07	5.233.E-08	5.8	0.029	1.140.E-07	CUMPLE	0.0000039
E4	Entrepiso	236	7.552.E-07	3.078.E-08	4.5	0.0225	7.558.E-07	CUMPLE	0.0000336
E4	Cimentación	242	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
F2	Cubierta	290	9.427.E-07	8.885.E-08	5.8	0.029	1.366.E-07	CUMPLE	0.0000047
F2	Entrepiso	276	8.098.E-07	5.713.E-08	4.5	0.0225	8.118.E-07	CUMPLE	0.0000361
F2	Cimentación	250	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
H2	Cubierta	156	9.427.E-07	1.639.E-07	5.8	0.029	1.429.E-07	CUMPLE	0.0000049
H2	Entrepiso	296	8.098.E-07	1.113.E-07	4.5	0.0225	8.174.E-07	CUMPLE	0.0000363
H2	Cimentación	287	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
H6	Cubierta	155	7.789.E-07	1.639.E-07	5.8	0.029	1.019.E-07	CUMPLE	0.0000035
H6	Entrepiso	295	6.916.E-07	1.113.E-07	4.5	0.0225	7.005.E-07	CUMPLE	0.0000311
H6	Cimentación	292	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
I3	Cubierta	32	8.893.E-07	2.133.E-07	5.8	0.029	1.354.E-07	CUMPLE	0.0000047
I3	Entrepiso	306	7.713.E-07	1.469.E-07	4.5	0.0225	7.852.E-07	CUMPLE	0.0000349
I3	Cimentación	297	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
I5	Cubierta	37	8.306.E-07	2.133.E-07	5.8	0.029	1.215.E-07	CUMPLE	0.0000042
I5	Entrepiso	305	7.288.E-07	1.469.E-07	4.5	0.0225	7.435.E-07	CUMPLE	0.0000330
I5	Cimentación	302	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
J1	Cubierta	10	9.502.E-07	2.308.E-07	5.8	0.029	1.526.E-07	CUMPLE	0.0000053
J1	Entrepiso	26	8.152.E-07	1.596.E-07	4.5	0.0225	8.307.E-07	CUMPLE	0.0000369
J1	Cimentación	25	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000
J2	Cubierta	9	9.427.E-07	2.308.E-07	5.8	0.029	1.508.E-07	CUMPLE	0.0000052
J2	Entrepiso	63	8.098.E-07	1.596.E-07	4.5	0.0225	8.254.E-07	CUMPLE	0.0000367
J2	Cimentación	60	0.000.E+00	0.000.E+00	0	0	0.000.E+00	CUMPLE	0.0000000

ANEXO E

Detalle de muros en X e Y (resultados del modelo)

V8.sdb

28/04/2019



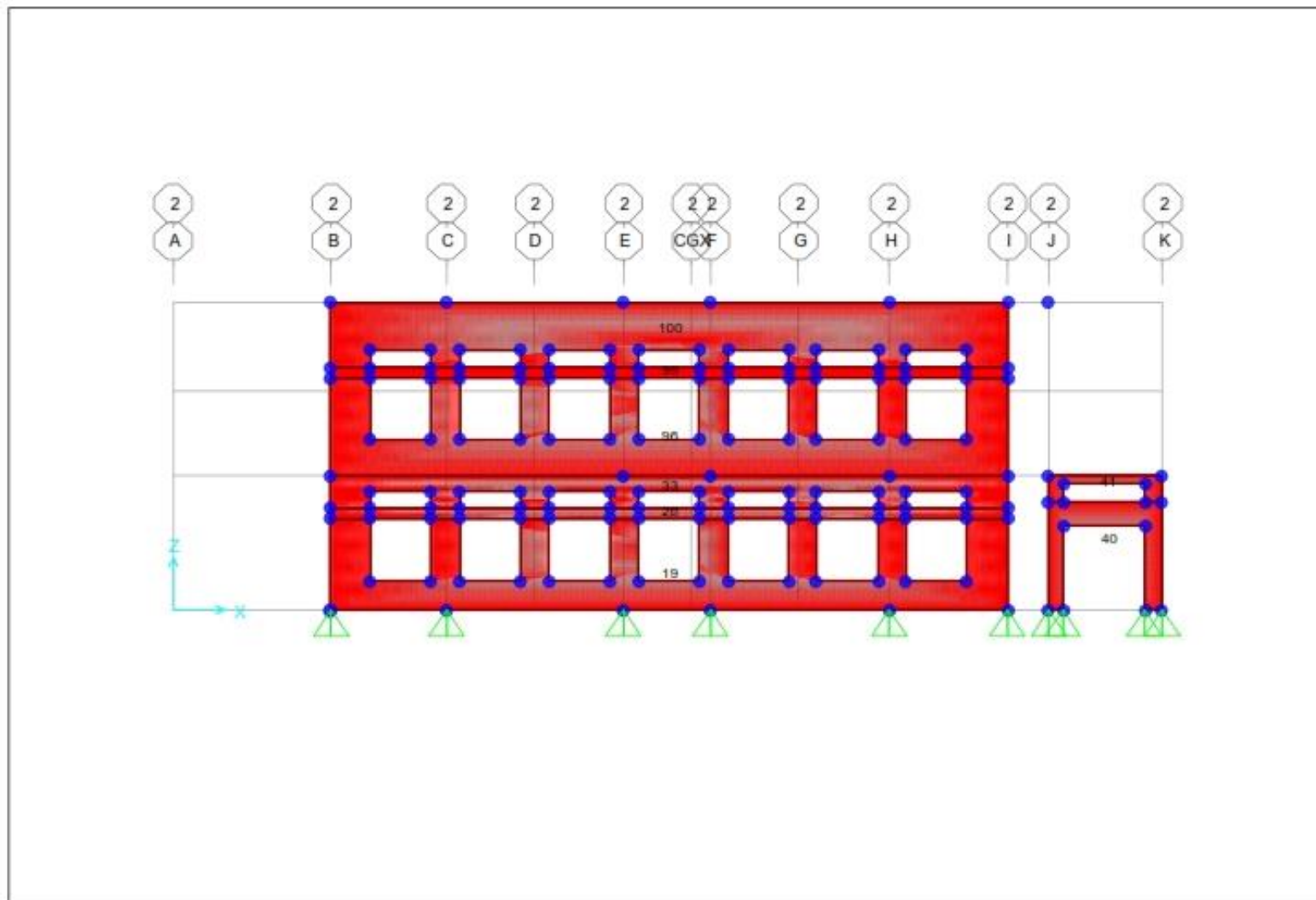
SAP2000 20.2.0

X-Z Plane @ Y=0

KN, m, C

V8.sdb

28/04/2019



SAP2000 20.2.0

X-Z Plane @ Y=0.6

KN, m, C

