CONSORCIO SSER-SJD

INFORME DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

CONSULTORÍA GRUPO 3

EDIFICIO CUNDIFARMA

Objeto del contrato

REALIZAR LA CONTRATACIÓN DE LAS CONSULTORÍAS PARA LA EJECUCIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y PROYECTOS DE RESTAURACIÓN DE VARIOS INMUEBLES QUE HACEN PARTE DEL COMPLEJO HOSPITALARIO SAN JUAN DE DIOS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, DE ACUERDO CON LO ESTABLECIDO PARA CADA GRUPO – GRUPO 3

BOGOTÁ marzo 06 de 2023

TOMO 1 DE 1

PBX: +(571) 530 0660
E-mail: planos@pyd.com.co
Cra.19A No. 84-14 Piso 7
Bogotá D.C., Colombia

CONTENIDO

1. GENERALIDADES 4
1.1. LOCALIZACIÓN 4
1.2. NORMAS DE DISEÑO 4
1.3. PROYECTO ARQUITECTÓNICO 4
1.4. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA 4
2. INTRODUCCIÓN 6
2.1. AMENAZA SÍSMICA COLOMBIANA 7
2.2. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BOGOTÁ 10
2.3. OBJETIVO 12
2.4. ALCANCE 12
3. METODOLOGÍA 13
4. DOCUMENTACION ENCONTRADA 15
5. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA 16
5.1. EVALUACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL EXISTENTE 16
5.2. SOLICITACIONES 18
5.3. ESPECTRO SÍSMICO 19
5.4. COEFICIENTE DE CAPACIDAD DE DISIPACION DE ENERGÍA 20
6. MODELO MATEMÁTICO 21
6.1. COMBAT 21
6.2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA 22
7. DIAGNÓSTICO DE VULNERABILIDAD 23
7.1. ÍNDICES DE FLEXIBILIDAD 23
7.2. ÍNDICE DE SOBREESFUERZO 23
8. CONCLUSIONES 26

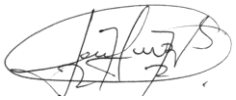
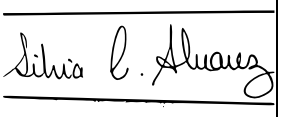
Número de Contrato:	3053 de 2022
Objeto del Contrato:	REALIZAR LA CONTRATACIÓN DE LAS CONSULTORÍAS PARA LA EJECUCIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y PROYECTOS DE RESTAURACIÓN DE VARIOS INMUEBLES QUE HACEN PARTE DEL COMPLEJO HOSPITALARIO SAN JUAN DE DIOS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, DE ACUERDO CON LO ESTABLECIDO PARA CADA GRUPO – GRUPO 3
Versión:	VA
Periodo:	Etapa 2
Código de Proyecto:	C-3121
Número de total de Páginas:	28

INFORME DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

CONTROL DE CAMBIOS

Control de Versiones			
Versión	Fecha	Descripción de la modificación	Folios
VA	06/03/2023	Radicación SIPA	28

En el presente proyecto, participaron los siguientes especialistas:

CONSORCIO SSER-SJD				
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:		
				
ING. JORGE MARIO SUAREZ B	ARQ. LINA CONSTANZA BELTRAN	ING. JUAN DIEGO QUINTERO	ING. SILVIA CRISTINA ALVAREZ ALVAREZ	ING. DANIEL ALBERTO SANTANDER BRICEÑO
ESP ESTRUCTURAL - CONSULTORÍA	DIRECTOR - CONSULTORÍA	DIRECTOR - INTERVENTORÍA	ESP ESTRUCTURAL – INTERVENTORÍA	REVISOR ESTRUCTURAL INDIPENDIENTE
MP. 25202-170710 CND	MP. 25700-67386	MP. 25202-32884	MP. 2520261474	MP. 25202117532CND

1. GENERALIDADES

1.1. LOCALIZACIÓN

El edificio CUNDIFARMA hace parte de las estructuras que conforman el Complejo Hospitalario San Juan de Dios el cual se encuentra localizado en la Carrera 10 #1-59 sur localidad Antonio Nariño de la ciudad de Bogotá D.C.

1.2. NORMAS DE DISEÑO

- Ley 400 de1997, y sus decretos reglamentarios:
  - Decreto 0926 de 2010
  - Decreto 2525 de 2010
  - Decreto 0092 de 2011
  - Decreto 0340 de 2012

- Microzonificación Sísmica de Bogotá, Decreto 523 de 2010

1.3. PROYECTO ARQUITECTÓNICO

El proyecto arquitectónico original fue desarrollado por el Arquitecto Jaime López Salcedo en el año 1945. Este edificio se compone por tres bloques rectangulares que se desprenden de forma radial y se conectan en el extremo sur oriental con el espacio de acceso el cual posee una configuración cilíndrica.

En su composición general se resaltan los valores de la arquitectura moderna. El edificio está constituido por un volumen de 2 pisos, cuyo uso original fue para el Instituto Farmacológico de la Beneficencia.

1.4. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

El proyecto estructural fue desarrollado por el Ingeniero Daniel Gómez Cadena en el año 1945.

Número de pisos:

La estructura cuenta con 2 pisos y cubierta.

Tipo de estructura:

De acuerdo a los planos estructurales recopilados el sistema estructural se compone de muros de carga en mampostería no reforzada de ladrillo prensado de 0.30m de espesor, los cuales presentan alteraciones en su geometría debido a intervenciones y demoliciones realizadas para la ampliación de vanos existentes y apertura de nuevos vanos con dimensiones considerables.

Sistema de entrepisos

El sistema de entrepiso, de acuerdo con los planos existentes, corresponde a una losa de 0.08m de espesor que se apoya sobre vigas con un ancho de 0.30m y descolgado de 0.40m, para una altura total de 0.48m. Las alturas libres entre placas son de alrededor de 3.5m en piso 1 y 4.0m en piso 2.

La cubierta se compone de tejas en material de fibrocemento, apoyadas sobre correas en madera los cuales se descansan sobre cerchas tipo Rey en madera, separadas cada 3.50m.

Cimentación:

El tipo de cimentación no está especificado en los planos suministrados. Sin embargo, respecto a información inicial suministrada en los anexos técnicos, se menciona que la cimentación está conformada por dos estratos en cimiento ciclópeo, uno de roca dura con mortero de pega y el otro cimiento ciclópeo en roca arenosa con mortero de pega.

2. INTRODUCCIÓN

El presente informe contiene el Estudio y Análisis de Vulnerabilidad Sísmica del edificio de CUNDIFARMA que hace parte del Complejo Hospitalario San Juan de Dios, ubicado en la ciudad de Bogotá. Esta edificación fue construida en el año 1968, los diseños estructurales fueron realizados por el Ingeniero Luis Francisco Ruiz.

El país después del temblor de Popayán en 1.983, ha adquirido una conciencia sísmica especial que se ha venido reforzando con los posteriores temblores de Murindó en 1.992 y Tauramena en 1.995, ello ha llevado a la revisión de los métodos y procedimientos utilizados en diseño y construcción.

De la misma manera, la experiencia internacional, especialmente en temblores como el de México de 1985, ha dejado lecciones importantes en diseño y construcción aplicables a suelos como los existentes en la sabana de Bogotá y a sistemas constructivos como el reticular celulado, especialmente en el comportamiento de sus capiteles, mampostería sin refuerzo y conexiones metálicas asociados en todos los casos con sus niveles reales de ductilidad.

El país y el mundo en los últimos años han sido testigos de múltiples movimientos telúricos de gran importancia, que no solo han dejado grandes pérdidas en vidas humanas, sino múltiples consecuencias materiales y devastación de amplias zonas.

La Ley 400 del 19 de agosto de 1997, por la cual se adoptan normas sobre construcciones sismo resistentes, en su Título X "Disposiciones Finales" Artículo 54º exige la actualización de las edificaciones indispensables, el cual dice: "A las construcciones existentes cuyo uso las clasifique como edificaciones indispensables y de atención a la comunidad, localizadas en zonas de amenaza sísmica Intermedia y Alta, se les debe evaluar su vulnerabilidad sísmica, de acuerdo con los procedimientos que habrá de incluir el Título A de la reglamentación, en un lapso no mayor de tres (3) años contados a partir de la vigencia de la presente Ley.

Estas edificaciones deben ser intervenidas o reforzadas para llevarlas a un nivel de seguridad sísmica equivalente al de una edificación nueva diseñada y construida de acuerdo con los requisitos de la presente Ley y sus reglamentos, en un lapso no mayor de seis (6) años contados a partir de la vigencia de la presente Ley". La ley empezó a regir a partir del 19 de febrero de 1998.

La necesidad de exigir este tipo de actualización para las edificaciones indispensables es debida a la amenaza sísmica que presenta nuestro país y a que la gran mayoría de estas construcciones tienen más de veinte (20) años de construidos, en consecuencia, su diseño y construcción no ha sido adecuado para soportar sismos.

La edificación en estudio se encuentra dentro del grupo de uso de estructuras de ocupación especial, razón por la cual se ha determinado la necesidad de realizar el estudio de vulnerabilidad teniendo en cuenta la importancia que tiene para preservar la vida de los ocupantes que se encuentran en su interior.

2.1. AMENAZA SÍSMICA COLOMBIANA

La esquina noroccidental de América del Sur está afectada por un complejo sistema de fuerzas tectónicas que se manifiesta en la interacción de tres placas principales. La Nazca con desplazamientos relativos en dirección aproximada Occidente-Oriente y velocidad regional media en el orden de 60 a 80 milímetros / año, la placa Sur-América con desplazamientos sensiblemente opuestos a los de la Nazca, pero con menor velocidad media, en el orden de 20 milímetros / año y por último, la placa Caribe con menores desplazamientos relativos. Los desplazamientos anotados conforman una zona de convergencia en la cual se almacena y libera energía potencial con períodos de recurrencia variable. La liberación de energía se desarrolla en varios sistemas de fallamiento con características propias.

Una característica de los sistemas mencionados es que los fallamientos corresponden a amplias y alargadas franjas en las cuales existen fallas satélites de la principal, conformándose de esta manera fuentes sismogénicas con cierta homogeneidad. De las fuentes sismogénicas, la Zona de Subducción, la Frontal de la Cordillera Oriental, la Romeral y las Fallas del Magdalena son sin duda las principales y las que mayor efecto potencial tienen.

Los estudios generales de amenaza sísmica de Colombia, han permitido deducir las magnitudes últimas creíbles asociadas a las rupturas de las fuentes sismogénicas regionales. En cuanto a la zona de subducción se sabe que se pueden originar sismos de máxima magnitud a nivel mundial. No obstante, en el caso colombiano se divide en dos segmentos y muy posiblemente el segmento Sur de la Subducción representa mayor amenaza sísmica que el segmento Norte. A la Fuente Romeral se le ha asignado una magnitud última creíble en el orden de 7.6, principalmente en la parte sur de su traza.

El departamento de Cundinamarca y la ciudad de Bogotá han sido afectados por terremotos que han causado daños, se recuerdan entre otros los siguientes sismos:

- El 18 de Octubre de 1.743, que produjo graves daños, se cayó la ermita de Monserrate.
- El 12 de Julio de 1.785 se sintió uno de los más fuertes terremotos de este siglo, se sintió desde Popayán hasta Pamplona, su epicentro debió ser cercano a Bogotá.
- El 16 de Junio de 1.805, se presentaron más de un centenar de muertos y bastantes daños en Honda y pocos en Bogotá, de donde se supone que fue superficial.
- El 18 de Junio de 1.826, se produjeron graves daños en Bogotá y tuvo réplicas durante casi un año.
- El 16 de Noviembre de 1.827 se produjo un movimiento sísmico en el territorio nacional, muy fuerte, ocasionó daños en varias ciudades del país y se afirma que en Bogotá duro ocho minutos.
- El 31 de Agosto de 1.917 hubo seis muertos debido a la destrucción de la iglesia de Chapinero.

- Popayán, ocurrió el 31 de marzo de 1.983, con magnitud 5.5. Foco superficial, de gran impacto nacional por la magnitud económica que implicó la reconstrucción de los daños presentados.
- Tragedia del Ruiz, 13 de noviembre de 1.985 y, aunque no se debió a un sismo sino a un evento volcánico, las fuerzas de la tierra nuevamente produjeron muertes y daños económicos de gran impacto nacional.
- Sismos de Murindó 17 y 18 de Octubre de 1.992, el primero con magnitud 6.6 y el segundo con 7.2, este último se sintió durante varios minutos en los suelos blandos y muy gruesos de la Sabana de Bogotá, a unos 400 Km. del epicentro.

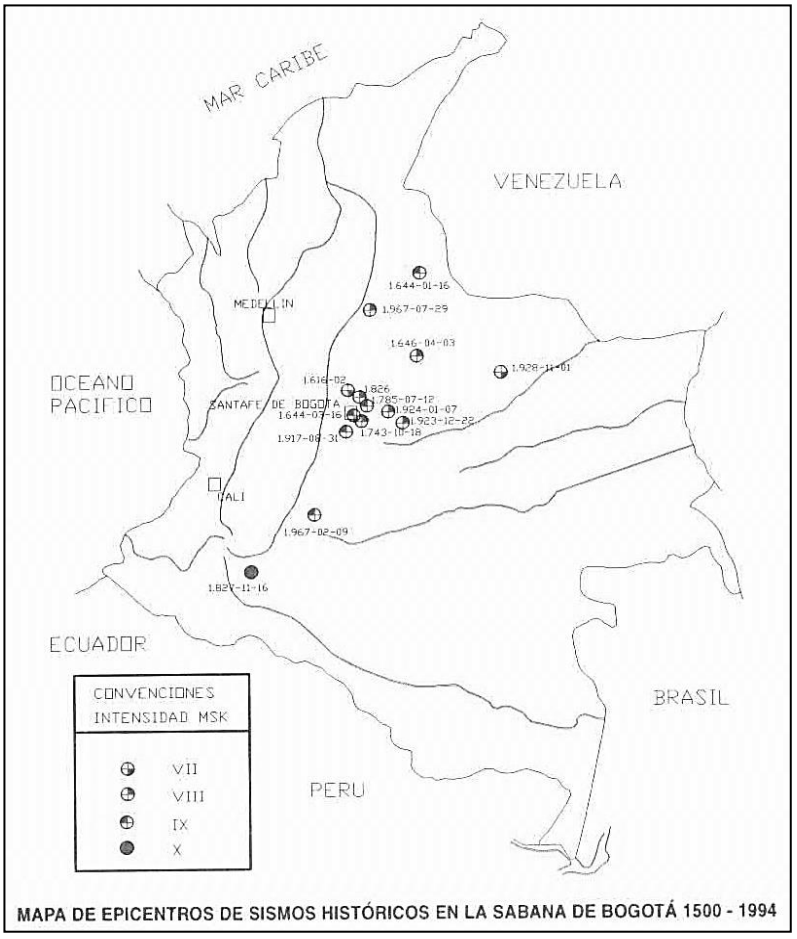


Figura 1 Mapa de epicentros de sismos históricos en la sabana de Bogotá

- Sismo de Tauramena. Ocurrido el 19 de enero de 1.995 como consecuencia de una fractura en el sistema Falla frontal de la Cordillera Oriental. Tuvo una magnitud igual a 6.5. En Bogotá se presentaron fracturas en muros y otros daños menores. Se sintió en gran parte del territorio nacional.

- Sismo del Quindío. Ocurrido el 25 de enero de 1.999, el cual afecto la zona cafetera y especialmente las ciudades de Armenia y Pereira.
- Sismo de Pizarro, se presentó el 15 de noviembre de 2.004 y afectó la ciudad de Cali. El sismo tuvo una profundidad superficial y tuvo su epicentro en el Océano Pacifico.
- Sismo de Gorgona. Ocurrido el 9 de septiembre de 2007, su epicentro se ubicó en la isla de Gorgona.
- Sismo de El Calvario. Ocurrió el 24 de mayo de 2.008, la mayor zona de daños se ubicó en Quetame y en el municipio El Calvario, esté sismo causó daños leves en la ciudad de Bogotá.
- Sismo de la Vega, se presentó el 30 de septiembre de 2012, sacudió el centro sur de Colombia. Tuvo como epicentro entre el municipio de La Vega y San Agustín.
- Sismo de Nariño, fue un movimiento telúrico que se registró en la ciudad de Ospina el 9 de febrero de 2013. Tuvo una profundidad de 153 kilómetros, se pudo sentir en el norte de Ecuador, algunas zonas de Panamá y ciudades tan lejanas como Caracas, Venezuela.
- Sismo de Los Santos, ocurrido el 10 de marzo de 2015, tuvo tres intensas sacudidas y duro entre 30 y 50 segundos. Se percibió en los departamentos de Santander, Norte de Santander, Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, Caldas, Casanare, Quindío, Risaralda, Bolívar, Valle del Cauca, Tolima, Córdoba, Atlántico, Magdalena, Arauca, Meta, Cesar y Sucre.
- El 16 de abril de 2016 ocurrió un movimiento sísmico en la provincia ecuatoriana de Manabí, sintiéndose en ciudades de este país como Cali, Pasto, Popayán y Neiva.
- Sismo en Antioquia. Ocurrió el 13 de septiembre de 2016, con epicentro a 8 kilómetros de Mutatá.
- Sismo en Santander. Ocurrió el 30 de septiembre de 2017, tuvo como epicentro el municipio La Esperanza en Norte de Santander, con magnitud de 5.7.

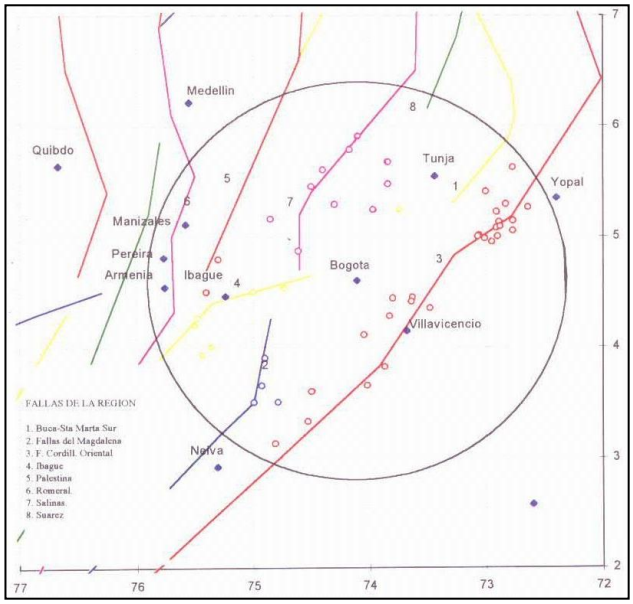


Figura 2 Sismos asignados por Bogotá R=200km

En años recientes han ocurrido sismos en diferentes zonas del país que han tenido implicaciones de consideración en Bogotá. Tal es el caso de los sismos de Murindó de Octubre de 1.992, profundidad media del foco de 20 Km. y con epicentro en el Urabá antioqueño y el sismo de Tauramena de Enero de 1.995, con profundidad de foco estimada en 50 Km.

A pesar de las distancias significativas desde Bogotá hasta los focos de estos sismos, se alcanzaron a detectar intensidades de hasta IV o V en la escala de Mercalli Modificada, lo que hace evidente la importancia de los efectos de sitio en consideración, mientras que en la zonas de suelos firmes y montañosos las intensidades alcanzan apenas los grados I o II, en zonas de depósitos blandos estas intensidades pueden alcanzar valores de IV y V.

El estudio general de amenaza sísmica de Colombia indica que la ciudad de Bogotá, se encuentra en zona de amenaza sísmica Intermedia, al igual que el departamento de Cundinamarca. El valor estimado de aceleración en el basamento rocoso para el diseño sismo-resistente de edificaciones es de 0.20g; valor cuya probabilidad de excedencia es del 10% en 50 años.

2.2. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BOGOTÁ

La amenaza sísmica a que está expuesta la ciudad de Bogotá es objeto de estudio reciente y desde comienzos de la década de 1980 viene siendo motivo de análisis. En el terremoto que afectó ciudad de México, de geología y estratigrafía similar a la de nuestra ciudad, los mayores daños y destrucciones se concentraron en las zonas construidas sobre depósitos de suelos blandos. Estos suelos blandos de origen lacustre tienen la propiedad de amplificar la respuesta del suelo cuando se está afectando por un tren de ondas sísmicas.

El Fondo de Prevención y Atención de Emergencias – FOPAE adopto el Decreto Nacional 926 de 2010 donde se incluye dentro de sus consideraciones la actualización del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en el cual se mencionan los nuevos mapas de amenaza sísmica adoptados con base en los estudios realizados por el Instituto de Investigaciones en Geociencia, Minería y Química - Ingeominas en convenio con la Universidad Nacional y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS, los cuales tienen en cuenta los estudios de neotectónica que se han realizado en el país en la última década, así como la distribución espacial y en el tiempo de más de 17.000 sismos registrados por la Red Sismológica Nacional y la Red Nacional de Acelerógrafos.

El estudio ha tenido en cuenta la geología y la topografía de toda la ciudad y la afectación de las fallas activas provenientes de las siguientes fuentes: Bucaramanga, Santa Marta, Magdalena, Cordillera Oriental, Ibagué, Palestina, Romeral, Salinas y Suárez, las cuales se considera que pueden afectar la ciudad y se encuentran dentro de un círculo con un radio de 200 Km.

Actualmente el decreto que reglamenta y define los parámetros sísmicos concernientes a la microzonificación sísmica de Bogotá es el 523 de 16 de diciembre de 2010, clasifica la ciudad en 16 zonas que a continuación se describen en sus parámetros:

Tabla 1 Coeficientes de diseño de acuerdo a la microzonificación sísmica de Bogotá

Tabla 3. Coeficiente y curva de diseño

3.1. Coeficiente de diseño

Zona	F_a (475)	F_v (475)	T_C (s)	T_L (s)	A_0 (475) (g)
CERROS	1.35	1.30	0.62	3.0	0.18
PIEDEMONTE A	1.65	2.00	0.78	3.0	0.22
PIEDEMONTE B	1.95	1.70	0.56	3.0	0.26
PIEDEMONTE C	1.80	1.70	0.60	3.0	0.24
LACUSTRE-50	1.40	2.90	1.33	4.0	0.21
LACUSTRE-100	1.30	3.20	1.58	4.0	0.20
LACUSTRE-200	1.20	3.50	1.87	4.0	0.18
LACUSTRE-300	1.05	2.90	1.77	5.0	0.16
LACUSTRE-500	0.95	2.70	1.82	5.0	0.14
LACUSTRE ALUVIAL-200	1.10	2.80	1.63	4.0	0.17
LACUSTRE ALUVIAL-300	1.00	2.50	1.60	3.0	0.15
ALUVIAL-50	1.35	1.80	0.85	3.5	0.20
ALUVIAL-100	1.20	2.10	1.12	3.5	0.18
ALUVIAL-200	1.05	2.10	1.28	3.5	0.16
ALUVIAL-300	0.95	2.10	1.41	3.5	0.14
DEPÓSITO LADERA	1.65	1.70	0.66	3.0	0.22

2.3. OBJETIVO

Determinar el grado de vulnerabilidad del Edificio de CUNDIFARMA y así poder definir la necesidad o no de reforzar dichas estructuras para ponerlas en uso cumpliendo con todos los requerimientos que exige la norma colombiana NSR-10.

2.4. ALCANCE

Este informe pretende mostrar la información correspondiente a las actividades y procedimientos realizados para hacer el análisis de la vulnerabilidad sísmica de la edificación y determinar los resultados de los Índices de Flexibilidad y de Sobresfuerzo para los elementos estructurales de la edificación.

Como resultado final del mismo se tendrá el Informe resultado de la evaluación de vulnerabilidad sísmica de las estructuras que conforman el Edificio de CUNDIFARMA.

3. METODOLOGÍA

Los trabajos se dividieron en las etapas descritas a continuación:

a) Recopilación de la información existente. Se realizará la recopilación de toda la información de las edificaciones existentes, planos estructurales, arquitectónicos, redes, memorias de cálculo y estudio de suelos.

b) Exploración estructural. Con el propósito de complementar la información existente recopilada, se realizará un levantamiento estructural con el fin de verificar la concordancia entre la estructura reflejada en los planos originales con la estructura actual existente y posteriormente se elaboraron los planos de levantamiento.

c) Calificación del sistema estructural. La calificación del sistema estructural de la edificación se realizará de acuerdo con lo requerido en la sección A.10.2.2 del Reglamento NSR-10. Esta calificación se realiza para:

(i) La calidad del diseño en términos de la tecnología existente en la época en que se realizó el diseño original;

(ii) El estado de la estructura con base en la información existente, los resultados de la exploración estructural y el grado de mantenimiento y conservación de ella;

(iii) El coeficiente de reducción de resistencia asociado con la calidad del diseño y construcción de la estructura (Øc), y el coeficiente de reducción de resistencia asociado con estado actual de la estructura (Øe).

d) Evaluación de la resistencia existente y de la resistencia efectiva. Se realizarán las siguientes actividades:

(i) La resistencia existente de la estructura se obtiene de las resistencias suministradas en los planos estructurales,

(ii) La resistencia efectiva se halla afectando la resistencia existente por los coeficientes de reducción de resistencia por calidad de diseño y construcción (Øc,) y estado de la estructura (Øe). Esta es la resistencia que se puede esperar tenga la estructura de la edificación ante la ocurrencia del sismo de diseño equivalente al que prescribe la NSR-10 para una edificación nueva diseñada siguiendo sus requisitos.

e) Solicitaciones equivalentes y demanda de resistencia. Se realizarán las siguientes labores:

(i) Se definirán unas solicitaciones equivalentes a las del Reglamento NSR-10, de acuerdo con su sección A.10.2,

(ii) Se realizarán varios análisis elásticos de la estructura existente empleando las solicitaciones equivalentes,

(iii) como resultado de los análisis realizados se calcula la demanda de resistencia, o sea la resistencia que debería tener la edificación ante la ocurrencia del sismo de diseño,

(iv) Se obtendrán derivas de la edificación ante las solicitaciones equivalentes.

f) Diagnóstico de vulnerabilidad. Se llevará a cabo de la siguiente manera:

(i) Se calcularán los índices de sobreesfuerzo en los elementos estructurales como el cociente entre la demanda de resistencia y la resistencia efectiva,

(ii) Empleando las derivas obtenidas del análisis se calcularán los índices de flexibilidad como el cociente entre la deriva obtenida para las solicitaciones equivalentes y la deriva permitida por el Reglamento NSR-10,

(iii) Con base en los resultados obtenidos para los índices de sobreesfuerzo y flexibilidad se calificará el grado de vulnerabilidad de la edificación..

g) Reforzamiento estructural. Por último, se evaluará la necesidad o no de incorporar a la estructura original algún tipo de reforzamiento que garantice el adecuado funcionamiento de la estructura ante solicitaciones. Los trabajos a realizar en esta etapa en caso de que se requiera un reforzamiento estructural, son:

(i) Elaboración de una propuesta de Rehabilitación Estructural.

(ii) Diseño estructural de la Propuesta de Rehabilitación Estructural.

(iii) Validación del diseño de la Rehabilitación Estructural.

(iv) Elaboración de planos de la Rehabilitación Estructural.

4. DOCUMENTACION ENCONTRADA

Se realizó la visita al Archivo General de la Nación, con el fin de buscar y recopilar toda la información existente de las edificaciones en estudio, planos estructurales, arquitectónicos, redes, memorias de cálculo y estudio de suelos.

Dentro de la información inicial obtenida se encontraron planos arquitectónicos originales y algunos correspondientes a adecuaciones y reformas realizadas. Únicamente se encontró información de diseño estructural correspondiente a planta de piso 2, despieces de vigas y losa de piso 2 y detalles y despieces de tanque.

No se encontró información correspondiente a elementos estructurales verticales, tipo de cimentación o memorias de cálculo.

Tabla 2 Registro de información existente

FOLIO	DESCRIPCIÓN	TIPOLOGÍA
623	PLANTA ESTRUCTURAL DE PISO 2, LOSAS VIGAS Y DINTELES	ESTRUCTURA
624	VIGAS Y PLACAS	ESTRUCTURA
625	PLANTA DE TANQUE CORTES 1- 4	ESTRUCTURA
626	PLANTA DE TANQUE CORTES 1- 4	ESTRUCTURA
627	PLACAS Y PAREDES DEL TANQUE	ESTRUCTURA

5. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

En este capítulo se presenta un resumen de la determinación de la vulnerabilidad sísmica de la edificación, realizada de acuerdo con lo prescrito en el Capítulo A.10 de la norma NSR-10. La metodología empleada corresponde a lo descrito en el capítulo 3 del presente documento. A continuación, se describen los procedimientos empleados, así como los resultados obtenidos en las distintas etapas del trabajo de evaluación de la vulnerabilidad de la edificación.

La recopilación de la información existente permitió disponer, como se indicó anteriormente, de los planos estructurales y arquitectónicos originales de la edificación, y de un levantamiento realizado para comparar dicha información con el estado actual de las estructuras.

5.1. EVALUACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL EXISTENTE

5.1.1 Calificación del sistema estructural.

La calificación del sistema estructural de la edificación se realizó de acuerdo con lo requerido en la sección A. 10.2.2 del Reglamento NSR-10.

a) 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. La calidad del diseño y la construcción de la estructura original deben calificarse como buena, regular o mala. En este caso la calidad del diseño y construcción se califica como regular.

Con base en lo anterior se le asignó un valor de Øc = 0.80 al coeficiente de reducción de resistencia por calidad del diseño y construcción de la estructura.

b) 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. Dado el estado de mantenimiento y conservación en el que se encuentra la edificación, se calificó como mala con un coeficiente Øe = 0.60.

Teniendo en cuenta lo anterior y según la Tabla A.10-1 de la NSR-10, se asignaron a la edificación los valores correspondientes, los cuales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 3 Valores de Coeficientes de reducción empleados

Øc	0.8
Øe	0.6

5.1.2 Evaluación de la resistencia existente.

Para efectos de determinar la resistencia existente de la edificación y teniendo en cuenta que la estructura es en concreto reforzado, se utilizaron los modos de falla de los elementos de acuerdo con lo que prescribe el Título C del Reglamento NSR-10. Estos se resumen de la siguiente manera:

a) para esfuerzos de compresión axial, tensión axial, cortantes en el concreto estructural se empleó lo prescrito en el Capítulo C.

b) para esfuerzos de compresión axial, tensión axial, cortantes en la mampostería estructural se empleó lo prescrito en el Capítulo D.

c) para esfuerzos de compresión axial, tensión axial, cortantes en la madera estructural se empleó lo prescrito en el Capítulo G.

Los requisitos de la estructura de concreto para efectos de la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico fueron los de Capacidad de Disipación de Energía Moderada (DMO), los cuales son compatibles con las características de la estructura original.

Para cada uno de estos tipos de falla existe un modelo de resistencia y degradación de la rigidez, cada uno de estos modelos de resistencia se ajustó a las resistencias obtenidas para los materiales de la estructura original, tal como se describieron anteriormente.

5.1.3 Determinación de la resistencia efectiva.

La resistencia efectiva se obtuvo afectando la resistencia existente por los coeficientes de reducción de resistencia por calidad de diseño y construcción Øc, y estado de la estructura Øe, indicados en la Tabla 3.

Esta es la resistencia que se puede esperar tenga la estructura de la edificación ante la ocurrencia del sismo de diseño equivalente al que prescribe la NSR-10 para una edificación nueva diseñada siguiendo sus requisitos. Más adelante se describe cómo el programa de computador empleado tiene en cuenta los modelos de resistencia para cada uno de los modos de falla, afectando las resistencias por los coeficientes de reducción apropiados.

5.2. SOLICITACIONES

Para efectos de establecer la vulnerabilidad sísmica de la edificación se determinaron unas solicitaciones, tanto gravitacionales como sísmicas, las cuales están de acuerdo con lo señalado por el Reglamento NSR-10. A continuación se describen estas solicitaciones.

5.2.1 Gravitacionales.

Las cargas gravitacionales se dividieron en:

- Cargas muertas - Las cargas muertas se determinaron con los pesos de los elementos estructurales y no estructurales de la edificación, tal como se encuentran en los planos originales y confirmados de acuerdo con lo comprobado en los levantamientos realizados.
- Cargas de servicio – Como se señaló anteriormente, se realizó un levantamiento pormenorizado de las cargas siguiendo las indicaciones entregadas, de volúmenes y ubicación de las cargas. Se determinó cuidadosamente cuales de ellas son aplicables como cargas permanentes presentes durante un fenómeno sísmico y cuales como cargas eventuales.
- Cargas vivas - De acuerdo al uso del edificio, se utilizó la carga que dispone la norma colombiana NSR-10.

Las anteriores cargas se muestran de manera detallada en el *Anexo 1. Memoria de cálculo Análisis de Vulnerabilidad* en el capítulo de avalúo de cargas.

5.2.2 Solicitaciones sísmicas equivalentes.

Se definieron unas solicitaciones sísmicas equivalentes a las que prescribe el Reglamento NSR-10 para edificaciones nuevas y teniendo en cuenta la Microzonificación Sísmica de Bogotá.

Teniendo en cuenta lo exigido por la norma NSR-10 para la ciudad de Bogotá, el proyecto se encuentra localizado en la zona Piedemonte B.

El coeficiente de importancia se determinó en función del grupo de uso que va a tener la edificación una vez se lleve a cabo la modificación, el cual puede clasificarse como Grupo de Uso III, de acuerdo con la Sección A.2.5.1 del Reglamento NSR-10. Según lo indicado en la Tabla A.2.5-1, le corresponde un coeficiente de Importancia I = 1.25.

5.3. ESPECTRO SÍSMICO

ESPECTRO DE ACELERACIONES

DISEÑO

NSR-10

5% del amortiguamiento crítico

GRUPO DE USO: III

LOCALIZACIÓN

CIUDAD: **BOGOTÁ**

MICROZONIFICACIÓN: **PIEDEMONTE B**

Valores Espectro	
A_a	0.15
A_v	0.20
F_a	1.95
F_v	1.70
I	1.25
T_O	0.12 s
T_C	0.56 s
T_L	3.00 s

	Periodos Fundamentales	
	T (s)	S_a (g)
To	0.12	0.914
Tc	0.56	0.914
Tl	3.00	0.170

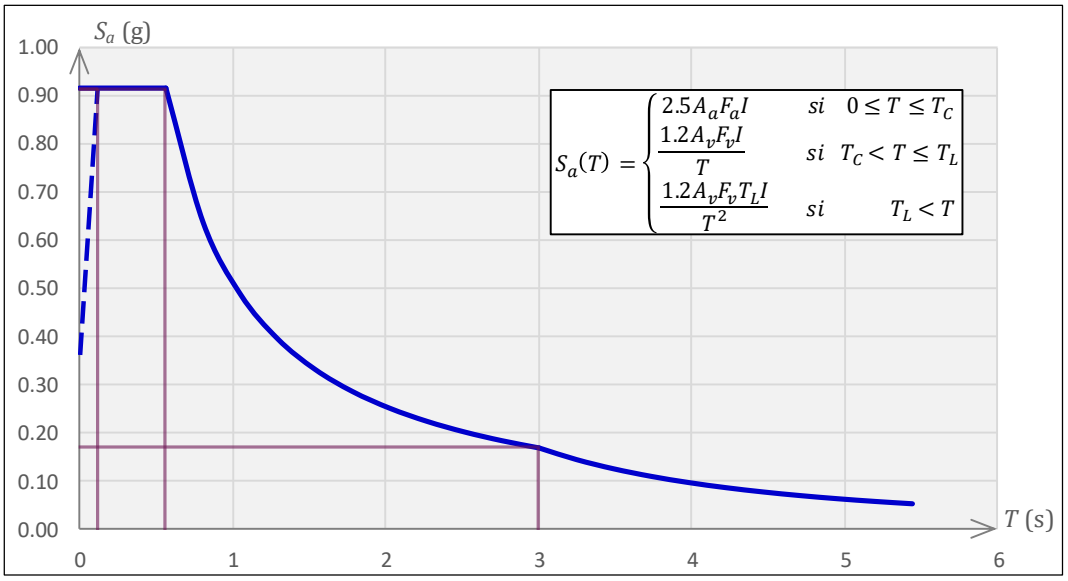


Figura 3 Espectro Sísmico de diseño

5.4. COEFICIENTE DE CAPACIDAD DE DISIPACION DE ENERGÍA

Según la Sección A.10.4.2.3 del Reglamento NSR-10, las edificaciones deben clasificarse dentro de uno de los sistemas estructurales de resistencia sísmica definidos en el Capítulo A3. Las estructuras en general dadas sus características especiales, se puede clasificar como un sistema de muros de carga de mampostería no reforzada - Grupo 2i de la Tabla A.3-1.

De acuerdo con el sistema estructural y a los requisitos constructivos que se hayan seguido en la ejecución de la estructura original debe asignarse un valor del coeficiente de disipación de energía R'. Teniendo en cuenta que se tuvo acceso a planos estructurales de la estructura original, se estableció un valor de R'=1.0.

Tabla 4 Calificación del sistema estructural según NSR-10

Tabla A.3-1
Sistema estructural de muros de carga (Nota 1)

A. SISTEMA DE MUROS DE CARGA		Valor R_0 (Nota 2)	Valor Ω_0 (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
				alta		intermedia		Baja	
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	Altura máx.
1. Paneles de cortante de madera	muros ligeros de madera laminada	3.0	2.5	si	6 m	si	9 m	si	12 m
2. Muros estructurales									
a. Muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (*DES*)	el mismo	5.0	2.5	si	50 m	si	sin límite	si	Sin límite
b. Muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (*DMO*)	el mismo	4.0	2.5	no se permite		si	50 m	si	Sin límite
c. Muros de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (*DMI*)	el mismo	2.5	2.5	no se permite		no se permite		si	50 m
d. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (*DES*) con todas las celdas rellenas	el mismo	3.5	2.5	si	50 m	si	sin límite	si	Sin límite
e. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (*DMO*)	el mismo	2.5	2.5	si	30 m	si	50 m	si	Sin límite
f. Muros de mampostería parcialmente reforzada de bloque de perforación vertical	el mismo	2.0	2.5	Grupo I	2 pisos	si	12 m	si	18 m
g. Muros de mampostería confinada	el mismo	2.0	2.5	Grupo I	2 pisos	Grupo I	12 m	Grupo I	18 m
h. Muros de mampostería de cavidad reforzada	el mismo	4.0	2.5	si	45 m	si	60 m	si	Sin límite
i. Muros de mampostería no reforzada (no tiene capacidad de disipación de energía)	el mismo	1.0	2.5	no se permite		no se permite		Grupo I (Nota 3)	2 pisos
j. Muros de mampostería reforzada externamente	el mismo	1.5	2.0	Grupo I	2 pisos	Grupo I	12 m	Grupo I	18 m
3. Pórticos con diagonales (las diagonales llevan fuerza vertical)									
a. Pórticos de acero estructural con diagonales concéntricas (*DES*)	el mismo	5.0	2.5	si	24 m	si	30 m	si	Sin límite
b. Pórticos con diagonales de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (*DMO*)	el mismo	3.5	2.5	no se permite		si	30 m	si	30 m
c. Pórticos de madera con diagonales	el mismo	2.0	2.5	si	12 m	si	15 m	si	18 m

6. MODELO MATEMÁTICO

6.1. COMBAT

Las edificaciones se procesaron empleando el programa de computador PD2015, el cual corresponde a una versión modificada por Proyectos y Diseños S.A.S., del programa COMBAT desarrollado por la firma Computech de Berkeley, California USA. Este programa permite realizar el análisis estático y dinámico de estructuras de cualquier material, ya sean aporticadas o sobre muros.

El programa PD2015, utiliza el método de elementos finitos para el análisis de la estructura. Contiene opciones que permiten realizar el análisis P-delta de la estructura, evaluando los efectos de segundo orden. Incluye automáticamente el peso propio de las vigas, columnas y muros. En el análisis emplea las zonas rígidas que se generan en los nudos de la estructura. Permite definir el grado de disipación de energía del material estructural empleado según la NSR-10. Recibe los parámetros de diseño sísmico del Reglamento NSR-10, incluyendo Aa, I, S, Ro, Ta, ∅a, ∅p y el coeficiente de amplificación por torsión accidental. Con base en esta información calcula automáticamente la fuerza horizontal equivalente y los datos para análisis modal según NSR-10.

Para definir la estructura, utiliza diferentes materiales, dentro de los cuales se encuentra el concreto reforzado, mampostería, el acero estructural y la madera.

La geometría de la estructura se da a través de las coordenadas en planta de los ejes de columnas, la conformación de vanos donde van vigas o muros estructurales, la altura entre los diferentes niveles de entrepiso. Los elementos estructurales pueden ser columnas, vigas, diagonales de arriostramiento y muros estructurales. Además, los entrepisos pueden ser diafragmas rígidos o flexibles. Existe la posibilidad de desplazar, en cualquier piso, las columnas de sus ejes prefijados, permitiendo mantener una cara de la columna fija con el parámetro que se desee en toda la altura, a pesar de que su sección cambie.

Recibe cargas gravitacionales de cualquier tipo y forma, dividiéndolas en cargas muertas, vivas y especiales. Permite el cálculo de la fuerza horizontal equivalente según el NSR-10.

Permite realizar el análisis dinámico de la estructura y aplicar procedimientos espectrales o cronológicos cuando se da una familia de acelerogramas. El programa determina el corte basal solicitado de acuerdo con la NSR-10, incluyendo los efectos de torsión accidental. Permite definir espectros de diseño de cualquier tipo incluyendo los definidos por el NSR-10 o por las diferentes microzonificaciones realizadas en el país.

Como resultados, determina los desplazamientos estáticos. Calcula el periodo T, en cada una de las direcciones principales (ecuación A.4-2 NSR-10). Realiza la verificación del efecto P-Delta por medio de la ecuación A.6-3 NSR-10 calculando los índices de estabilidad, para luego determinar las fuerzas horizontales corregidas por el efecto P-delta. En el análisis de respuesta espectral determina

los periodos y modos de vibración, los desplazamientos espectrales, la masa activa en cada una de las direcciones principales, encuentra el ángulo crítico de ataque para cada elemento estructural.

Con los datos anteriores determina las fuerzas en los elementos estructurales. Para los elementos nuevos realiza su diseño estructural. Para los elementos existentes, determina los índices de sobreesfuerzo para cada una de las componentes de fuerza. En el caso de muros estructurales permite agrupar distintos vanos de muro en un solo elemento.

Presenta un resumen de columnas y machones, eje por eje. Para las columnas de concreto reforzado da las armaduras longitudinales y transversales. Para los elementos en mampostería no reforzada, entrega índices de sobreesfuerzo. Por último, entrega las fuerzas sin mayorar en la cimentación y realiza una prueba de equilibrio del proceso.

En la versión utilizada para realizar la vulnerabilidad y reforzamiento, PD2015 realiza tres procesos consecutivos, el primero, denominado Etapa 0, produce el resultado con solo carga vertical, para establecer el comportamiento inicial de la estructura y su consistencia con las cargas y dimensiones aplicadas, en el segundo proceso, denominado Etapa 1, se adiciona la carga sísmica requerida para la estructura de acuerdo con las normas actuales y los requerimientos de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10. En este punto se establecen los índices de sobre esfuerzo y de flexibilidad de acuerdo con lo establecido en el capítulo A-10 aplicadas. “Edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del reglamento”.

Posteriormente en el tercer proceso (Etapa 2), se incorpora a la estructura original los reforzamientos que se establecen para actualizar la estructura y con la verificación de los índices de sobreesfuerzo y flexibilidad corregidos para determinar la bondad de la solución.

6.2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA

En el *Anexo 1. Memoria de cálculo Análisis de Vulnerabilidad,* se presenta toda la información correspondiente a avalúos de cargas, espectro sísmico, geometría de la estructura, datos de entrada y de salida para cada una de las etapas de análisis de los modelos matemáticos realizados para la estructura en estudio.

7. DIAGNÓSTICO DE VULNERABILIDAD

7.1. ÍNDICES DE FLEXIBILIDAD

De acuerdo con lo que se especifica en el literal (a) del numeral A.10.4.3.5 de la NSR-10, se calculó el índice de flexibilidad de cada piso para las estructuras originales, y los resultados se pueden ver en el *Anexo 1. Memoria de cálculo Análisis de Vulnerabilidad.*

De acuerdo con el literal (b) del numeral A.10.4.3.5. de la NSR-10, se obtiene el índice de flexibilidad de la estructura (IFE) como el mayor de los valores de los índices de flexibilidad de cada piso y en la Tabla 3 se muestra un resumen de los índices de flexibilidad horizontal y vertical para el edificio.

Adicionalmente y de acuerdo con el literal (d) del numeral A.10.5.1. de la NSR-10, se obtiene el inverso del índice de flexibilidad general, el cual expresa la *vulnerabilidad sísmica de la edificación* (VSE) como una fracción de la rigidez que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la norma NSR-10. En la Tabla 5 se muestran los resultados.

Tabla 5 Índice de Flexibilidad

INDICE DE FLEXIBILIDAD (IFE)	VULNERABILIDAD SÍSMICA (VSE)	OBSERVACIÓN
1.168	0.85	No cumple

IFE: Corresponde al mayor valor de los índices de flexibilidad de piso de toda la estructura.

Un valor MENOR A LA UNIDAD (1), significa que la estructura es más rígida de lo requerido y no tendría que intervenirse.

VSE: (VSE=1/IFE) 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 NSR-10.

Un valor MAYOR A LA UNIDAD (1), significa que no requiere rigidez adicional.

7.2. ÍNDICE DE SOBREESFUERZO

Para el cálculo del índice de sobreesfuerzo se tuvieron en cuenta los coeficientes de reducción de resistencia por calidad de diseño y construcción Øc, y estado de la estructura Øe, que se muestran en la Tabla 2 de la sección 4.1.1 para la estructura analizada:

Por lo tanto, la resistencia efectiva, de acuerdo con lo especificado en el numeral A.10.4.3.4 de la NSR-10 es:

$N_{ef} = Øc \ Øe \ N_{ex}$

Estas resistencias efectivas han sido incluidas en los modelos matemáticos.

Los resultados obtenidos en el modelo para los índices de sobreesfuerzo de cada elemento se pueden ver en el Anexo 1.

El índice de sobreesfuerzo de la estructura (ISE), de acuerdo con el literal (b) del numeral A.10.4.3.1 de la NSR-10, corresponde al máximo valor obtenido de los índices de sobreesfuerzo de cada elemento y tomando en consideración su importancia dentro de la resistencia general de la estructura como un conjunto.

En la Tabla 6 se muestran los resúmenes para la estructura.

De acuerdo con el literal (c) del numeral A.10.5.1. de la NSR-10, se obtiene el inverso del índice de sobreesfuerzo general, el cual expresa *la vulnerabilidad de la edificación (VE)* como una fracción de la resistencia que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la NSR-10.

Tabla 6 Índice de sobreesfuerzo

ELEMENTO	INDICE DE SOBREESFUERZO (ISE)	VULNERABILIDAD DE LA EDIFICACIÓN (VE)	OBSERVACIÓN
VIGAS	10.0	0.100	No cumple
MUROS	10.0	0.100	No cumple

ISE: Corresponde al mayor valor obtenido entre los elementos que puedan poner en peligro la estabilidad de la edificación.

Un valor MAYOR A LA UNIDAD (1), significa que la estructura debe ser reforzada.

VE: (VE=1/ISE) Expresa la vulnerabilidad sísmica de la edificación como una fracción de la RESISTENCIA que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la NSR-10.

Un valor MENOR A LA UNIDAD (1), significa que la estructura debe ser reforzada.

8. CONCLUSIONES

- ✓ La estructura fue diseñada antes de empezar a regir el Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes CCCSR-84.

- ✓ De acuerdo al estudio de patologías, se pudo corroborar que la estructura no está en capacidad de resistir las cargas verticales (muertas + vivas) teniendo en cuenta que el concreto presenta en promedio una afectación por carbonatación de 7.8cm que genera un proceso de corrosión en el acero de refuerzo (según lo registrado en los ensayos de materiales que se encuentran en el documento informe de levantamiento estructural y patología), siendo necesario realizar el reemplazo de toda la placa de entrepiso.

- ✓ La estructura presenta índices de flexibilidad para cargas laterales superiores a la unidad, por lo tanto debe ser rigidizada para que cumpla con los requisitos de la NSR-10.

- ✓ La estructura (vigas y muros) no están en capacidad de resistir el sismo de diseño especificado de acuerdo a los requerimientos de la NSR-10, dado que los valores de los índices de sobreesfuerzo obtenidos están por encima de la unidad (1).