CONSORCIO SSER-SJD

INFORME DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL

CONSULTORÍA GRUPO 3

EDIFICIO SALUD MENTAL

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 1
1.1 LOCALIZACIÓN 2
1.2 NORMAS DE DISEÑO 2
1.3 PROYECTO ARQUITECTÓNICO 2
1.4 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA 2
2. INTRODUCCIÓN 4
2.1 OBJETIVO 7
2.2 ALCANCE 7
3. METODOLOGÍA 8
4. PARÁMETROS DE REFORZAMIENTO 11
4.1 CALIFICACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL 12
4.2 ESPECTRO SÍSMICO 13
4.3 COEFICIENTE DE CAPACIDAD DE DISIPACION DE ENERGÍA 14
4.3 IMPLICACIONES ESTRUCTURALES 15
4.4 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE REHABILITACIÓN 15
5. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE REHABILITACIÓN 17
5.1. COMBAT 18
5.2. ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD 20
5.3. ÍNDICE DE SOBREESFUERZO 20
6. CONCLUSIONES 22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Curva Esqueleto 5
Figura 2 Niveles de comportamiento de una estructura rehabilitada..... 6
Figura 3 Espectro Sísmico de diseño 13
Figura 4 Niveles de resistencia y rigidez de una estructura original y rehabilitada..... 16

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de Coeficientes de reducción empleados 12
Tabla 2 Calificación del sistema estructural según NSR-10 14
Tabla 3 Índice de flexibilidad Edificio Salud Mental..... 20
Tabla 4 Índice de sobreesfuerzo Edificio Salud Mental..... 21

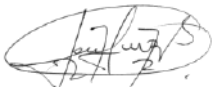
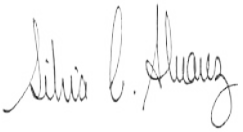
Número de Contrato:	3053 de 2022
Objeto del Contrato:	REALIZAR LA CONTRATACIÓN DE LAS CONSULTORÍAS PARA LA EJECUCIÓN DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y PROYECTOS DE RESTAURACIÓN DE VARIOS INMUEBLES QUE HACEN PARTE DEL COMPLEJO HOSPITALARIO SAN JUAN DE DIOS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, DE ACUERDO CON LO ESTABLECIDO PARA CADA GRUPO – GRUPO 3
Versión:	VA
Periodo:	Etapa 3
Código de Proyecto:	C-3121
Número de total de Páginas:	29

INFORME DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL

CONTROL DE CAMBIOS

Control de Versiones			
Versión	Fecha	Descripción de la modificación	Folios
VA	06/03/2023	Informe Reforzamiento estructural	29

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
1.2 NORMAS DE DISEÑO
1.3 PROYECTO ARQUITECTÓNICO
1.4 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

1.1 LOCALIZACIÓN

El edificio SALUD MENTAL 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 1968. En su composición general se resaltan los valores de la arquitectura moderna. El edificio está constituido por un volumen de sótano y 2 pisos con un uso para el sector de la Salud que conformaba la unidad de atención psiquiátrica.

1.4 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

El proyecto estructural fue desarrollado por el Ingeniero Luis Francisco Ruiz en el año 1968.

Número de pisos:

La estructura cuenta con un sótano, 2 pisos y cubierta. Se evidencia la presencia de una junta de dilatación que divide la edificación en dos unidades estructurales independientes entre la que tiene sótano y la que no.

Tipo de estructura:

De acuerdo a los planos estructurales recopilados el sistema estructural de resistencia está conformado por un sistema de pórticos en concreto reforzado con luces entre columnas que varían de 4 a 7metros.

Las columnas son en concreto de 210 Kg/cm^2 psi según planos encontrados y tienen variedad de secciones.

Las vigas fueron diseñadas en concreto de 210 Kg/cm^2 según planos encontrados, se encuentran con deterioros provenientes de las filtraciones de aguas lluvias a través de la placa de cubierta con lavado diferencial y ataque bilógico en algunas superficies producto de la escorrentía.

Sistema de entrepisos

El sistema de entrepisos corresponde a una losa aligerada con una altura de 0.35m, conformada por líneas de refuerzo en una dirección de 0.08m de espesor con separaciones aproximadas de 0.57m. Las alturas libres entre placas son de alrededor de 2.9m.

Cimentación:

La cimentación está compuesta por zapatas aisladas con vigas de amarre.

- Las zapatas tienen dimensiones de 0.90X0.90X0.40m, 1.10X1.10X0.40m, 1.30X1.30X0.40m, 1.60X1.60X0.40m y 1.80X1.80X0.40m.
- Las vigas de amarre tienen dimensiones de 0.40X0.20m y 0.30X0.30m.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 OBJETIVO
2.2 ALCANCE

Con base en el diagnóstico de vulnerabilidad sísmica, se procede a encontrar formas de dar resistencia sísmica a la edificación, con el fin de disminuir su vulnerabilidad.

En general en una rehabilitación estructural deben disponerse elementos estructurales cuyo comportamiento ante las solicitaciones sísmicas sea adecuado.

En la Figura 1 se muestra esquemáticamente la respuesta de un elemento estructural ante una solicitación sísmica que lo hace responder fuera del rango elástico. Allí también se ha mostrado la envolvente de esta respuesta, conocida como curva esqueleto, en la cual se describe como en la medida que las deformaciones se hacen mayores hay una degradación de la resistencia y en este caso se presenta una resistencia residual.

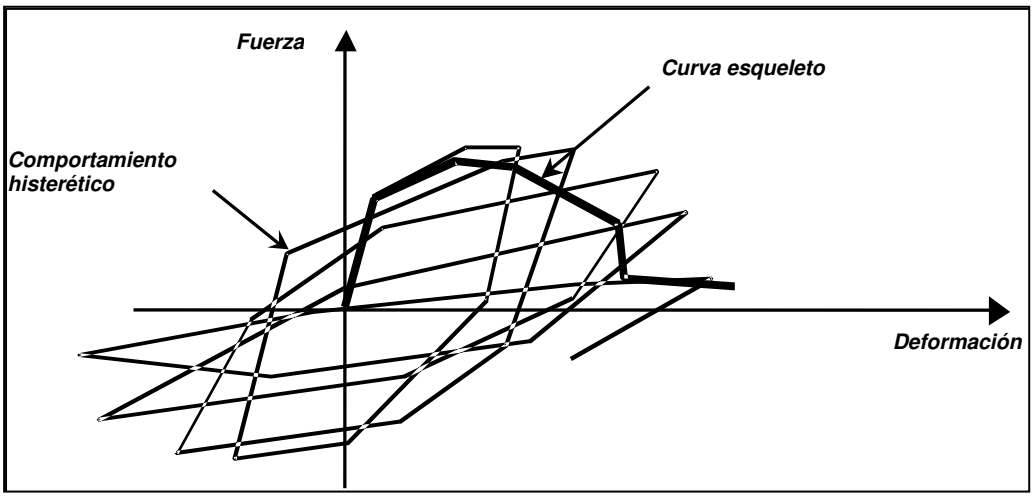


Figura 1 Curva Esqueleto

Con base en este comportamiento, se definen los diferentes niveles y objetivos de la rehabilitación. En general los objetivos de una rehabilitación sísmica se definen en función del comportamiento que se espera de la edificación ya rehabilitada, se consideran tres niveles de comportamiento de una edificación rehabilitada, que se muestran esquemáticamente en la Figura 2, haciendo referencia al comportamiento de los componentes estructurales de la edificación:

Ocupación inmediata - Corresponde al caso de las edificaciones que deben estar disponibles para uso inmediatamente después de que ocurra un sismo fuerte. Este tipo de objetivo se emplea en edificaciones indispensables para la recuperación con posterioridad a la ocurrencia del sismo. Dentro de la NSR-10 corresponde a los Grupos de Uso III y IV, en general cubre edificaciones indispensables como hospitales y edificios de atención a la comunidad.

Preservación de la vida - En este caso se busca como objetivo principal la defensa de la vida, aunque puede haber daño reparable a la edificación.

Prevención del colapso - En este caso se busca que no haya colapso, aunque el daño que esta sufra puede obligar a su demolición posteriormente.

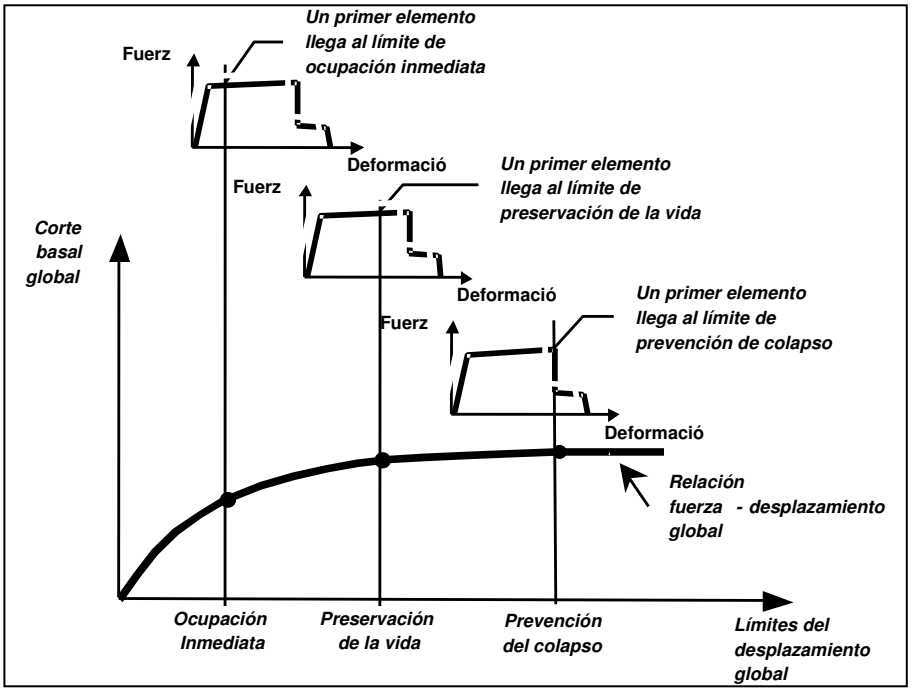


Figura 2 Niveles de comportamiento de una estructura rehabilitada

Dentro de la legislación sísmica colombiana hay obligación de llevar al nivel de ocupación inmediata a las edificaciones indispensables y de atención a la comunidad comprendidas en los grupos de uso III y IV. Para los otros grupos de uso la legislación no establece una obligación explícita, pero desde el punto de vista de lo que se exige a una edificación nueva, el objetivo general es el de preservar la vida de los ocupantes de ella.

El cálculo para el análisis de Reforzamiento Estructural se realizó de acuerdo con las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10, en todo lo concerniente a los aspectos de diseño de elementos de concreto reforzado y metálicos, así como las hipótesis de cargas.

2.1 OBJETIVO

El objetivo de este informe es validar la alternativa de reforzamiento con la que se busca proveer de resistencia sísmica a la estructura del Edificio de SALUD MENTAL, con el fin de disminuir su vulnerabilidad llevando la edificación a un nivel de seguridad equivalente al de una estructura nueva, con el mismo uso y diseñada de acuerdo con los requisitos del Reglamento NSR-10.

2.2 ALCANCE

Este informe pretende mostrar la información correspondiente a los resultados del desarrollo del reforzamiento del Edificio de SALUD MENTAL y describir las actividades y procedimientos realizados para hacer el análisis de la rehabilitación sísmica de la edificación.

Como resultado de esta etapa, se tendrá el documento del resultado final de la evaluación de la rehabilitación sísmica de la estructura.

Adicionalmente se tendrán los planos estructurales de plantas, refuerzos y detalles de los elementos que requieren de algún tipo de reforzamiento y/o intervención.

3. METODOLOGÍA

Los trabajos efectuados durante todo el proyecto, 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. PARÁMETROS DE REFORZAMIENTO

4.1 CALIFICACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL
4.2 ESPECTRO SÍSMICO
4.3 COEFICIENTE DE CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA
4.4 IMPLICACIONES ESTRUCTURALES
4.5 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE REHABILITACIÓN

4.1 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 buena.

Con base en lo anterior se le asignó un valor de Øc = 0.90 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 regular con un coeficiente Øe = 0.80.

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 1 Valores de Coeficientes de reducción empleados

Øc	0.90
Øe	0.80

4.2 ESPECTRO SÍSMICO

ESPECTRO DE ACELERACIONES

DISEÑO

NSR-10

5% del amortiguamiento crítico

GRUPO DE USO: IV

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	1.50
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	1.097
Tc	0.56	1.097
Tl	3.00	0.204

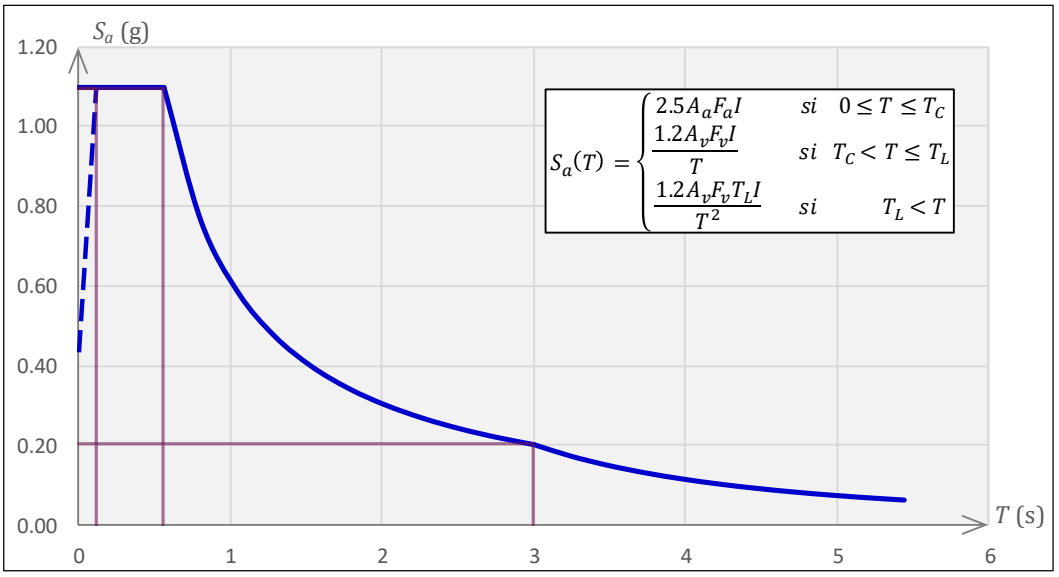


Figura 3 Espectro Sísmico de diseño

4.3 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. Teniendo en cuenta la intervención propuesta, la estructura reforzada planteada se puede clasificar como un sistema combinado, compuesto por muros estructurales de concreto y pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) Grupo 2B de la Tabla A.3-2.

De acuerdo con el sistema estructural reforzado 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_0'. Con la intervención adecuada, se estableció un valor de R_0'= 4.0

Tabla 2 Calificación del sistema estructural según NSR-10

Tabla A.3-2
Sistema estructural combinado (Nota 1)

B. SISTEMA COMBINADO		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. Pórticos de acero con diagonales excéntricas									
a. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si las conexiones con las columnas por fuera del vínculo son resistentes a momento	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía (*DMI*)	7.0	2.0	si	45 m	si	60 m	si	Sin Límite
b. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si las conexiones con las columnas por fuera del vínculo no son resistentes a momento	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía (*DMI*)	6.0	2.0	si	45 m	si	60 m	si	sin Límite
c. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si el vínculo no se conecta a la columna	pórticos de acero no resistentes a momentos	6.0	2.0	si	30 m	si	45 m	si	Sin Límite
d. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si el vínculo tiene conexión resistente a momento con la columna	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía (*DMI*)	5.0	2.0	si	30 m	si	45 m	si	Sin Límite
2. Muros estructurales									
a. Muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (*DES*)	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (*DES*)	7.0	2.5	si	72 m	si	sin límite	si	Sin límite
b. Muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (*DMO*)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (*DMO*)	5.0	2.5	no se permite		si	72 m	si	Sin límite
c. Muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (*DMO*)	pórticos losa-columna (Nota 3) con capacidad moderada de disipación de energía (*DMO*)	3.5	2.5	no se permite		si	18 m	si	27 m
d. Muros de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (*DMI*)	pórticos de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (*DMI*)	2.5	2.5	no se permite		no se permite		si	72 m
e. Muros de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (*DMI*)	pórticos losa-columna (Nota 3) con capacidad mínima de disipación de energía (*DMI*)	2.0	2.5	no se permite		no se permite		si	18 m
f. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (*DES*) con todas las celdas rellenas	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (*DES*)	4.5	2.5	si	30 m	si	45 m	si	45 m
g. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (*DMO*)	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (*DES*)	3.5	2.5	si	30 m	si	45 m	si	45 m
h. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (*DMO*)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (*DMO*)	2.5	2.5	no se permite		si	30 m	si	45 m
i. Muros de mampostería confinada (*DMO* — capacidad moderada de disipación de energía)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (*DMO*)	2.0	2.5	no se permite		Grupo I	18 m	Grupo I	21 m
j. Muros de mampostería confinada (*DMO* — capacidad moderada de disipación de energía)	pórticos de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (*DMI*)	2.0	2.5	no se permite		no se permite		Grupo I	18 m
k. Muros de mampostería de cavidad reforzada (*DES* — capacidad especial de disipación de energía)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (*DMO*)	4.0	2.5	no se permite		si	30 m	si	45 m
l. Muros de mampostería de cavidad reforzada (*DES* — capacidad especial de disipación de energía)	pórticos de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (*DMI*)	2.0	2.5	no se permite		no se permite		si	45 m
m. Muros de cortante con placa de acero (DES)	pórticos de acero resistente o no a momentos	7.0	2.0	si	50 m	si	Sin límite	si	Sin límite

4.3 IMPLICACIONES ESTRUCTURALES

Desde el punto de vista estructural, la rehabilitación sísmica debe atender la vulnerabilidad detectada en la edificación y, a su vez solucionar otros aspectos de índole estructural dictados por las posibles utilizaciones hacia el futuro, además de todos aquellos aspectos que puedan afectar el uso adecuado y la seguridad de los ocupantes, además de la seguridad sísmica global de la edificación.

El diseño de la rehabilitación sísmica y estructural tiene en cuenta las cargas que impone el uso de la edificación de acuerdo con la norma NSR-10, las cargas de operación, niveles de utilización y los aspectos mencionados anteriormente.

4.4 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE REHABILITACIÓN

En la selección de una estrategia de rehabilitación deben tenerse en cuenta una serie de aspectos que no están limitados a los aspectos estructurales. En el presente caso juega un papel muy importante el hecho de que la edificación es de utilización permanente. Esto implica que hay elementos que deben conservarse por encima de necesidades estructurales. Además, la colocación de elementos de refuerzo debe cumplir varias premisas adicionales asociadas con la conservación arquitectónica. Estas premisas son:

- La afectación estética de los elementos estructurales reforzados o nuevos.
- Los nuevos elementos o elementos reforzados no deben intervenir con el funcionamiento de la edificación.
- La facilidad de los procedimientos empleados para la construcción.
- La menor afectación a las zonas de trabajo.

Las premisas anteriores serán tenidas en cuenta en las propuestas de rehabilitación estudiadas y se cumplirá en la propuesta adoptada en definitiva.

Un aspecto de índole práctico tiene que ver con el alcance mismo de los trabajos que se pueden emprender dentro del inmueble. Es evidente que las soluciones planteadas serán diferentes y su construcción podrá ser realizada en tiempos diferentes. Por esta razón, la rehabilitación se enfocará de una manera tal que no haya necesidad de reforzar sino aquellos elementos que definitivamente lo requieren. Para el efecto las propuestas de rehabilitación se desarrollarán de la siguiente manera:

- Proveer elementos estructurales nuevos o reforzar los existentes para que den una mayor resistencia y ductilidad ante fuerzas horizontales, mayor que la que proveen los elementos estructurales existentes (Véase la siguiente figura). Estos elementos deben tener una capacidad de disipación de energía alta que les permita disipar la energía impuesta por el sismo y de esta manera reducir la respuesta dinámica de la misma.

  Un aumento de la rigidez general de la edificación, a través de elementos que limiten las deflexiones horizontales de la edificación y que eviten problemas con los elementos

vulnerables al disminuir los esfuerzos a que se verían sometidos con la ocurrencia del sismo de diseño.

- Proveer un nivel de resistencia a través de estos nuevos elementos estructurales o elementos reforzados, de tal manera que aún ante deformaciones laterales grandes, los elementos mantengan su nivel de resistencia.
- En la figura 4 se comparan los niveles de resistencia y rigidez de una estructura original con los de una estructura rehabilitada. Es importante notar que la estructura rehabilitada debe tener una rigidez mayor que la de la estructura original. De esta manera se garantiza que la resistencia de la estructura realmente la provean los elementos nuevos.

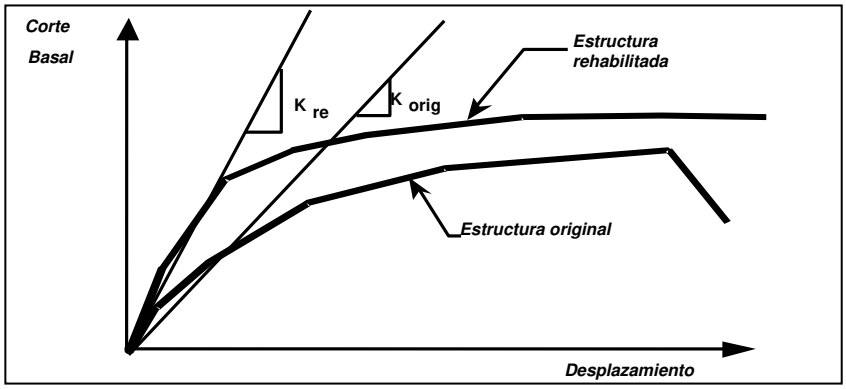


Figura 4 Niveles de resistencia y rigidez de una estructura original y rehabilitada

5. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE REHABILITACIÓN

5.1 COMBAT
5.2 ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD
5.3 ÍNDICE DE SOBREESFUERZO

5.1. 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.

La rehabilitación estructural se validó siguiendo procedimientos totalmente análogos a los empleados en la evaluación de la vulnerabilidad descrita y desarrollada en el Estudio de vulnerabilidad sísmica, permitiendo verificar que efectivamente la vulnerabilidad de la estructura se había reducido a los niveles prescritos por el Reglamento NSR 10 y que la estructura, una vez reparada, tendrá un grado de seguridad equivalente al de una estructura nueva, con el mismo uso, diseñada de acuerdo con los requisitos del Reglamento NSR 10.

5.2. ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD

Se calcularon los índices de flexibilidad en los elementos estructurales como el cociente entre la deflexión o deriva obtenida de los análisis y las permitidas por el reglamento NSR-10. Estos índices de flexibilidad se calcularon para los elementos estructurales, especialmente para los elementos reforzados.

Tabla 3 Índice de flexibilidad Edificio Salud Mental

Edificación	Índice Flexibilidad (IFE)	Vulnerabilidad sísmica (VSE)
EDIFICIO SALUD MENTAL	0.152	6.579

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.

Los resultados de los índices de flexibilidad se pueden ver en el anexo-1 (Memoria de cálculo reforzamiento estructural).

5.3. ÍNDICE DE SOBREESFUERZO

Se calcularon los índices de sobreesfuerzo en los elementos estructurales como el cociente entre la demanda de resistencia dividida por la resistencia efectiva. Estos índices de sobreesfuerzo se calcularon para los elementos estructurales, especialmente para los elementos reforzados.

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 el capítulo 4.1:

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.

A continuación, se muestran los índices de sobreesfuerzo para cada una de las estructuras.

Tabla 4 Índice de sobreesfuerzo Edificio Salud Mental

Edificación	Índice Sobreesfuerzo (ISE)	Vulnerabilidad Edificación (VE)
EDIFICIO SALUD MENTAL	1.00	1.00

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.

Los resultados de los índices de sobreesfuerzo se pueden ver en el anexo-1 (Memoria de cálculo reforzamiento estructural).

6. CONCLUSIONES

Terminado el reforzamiento estructural de la edificación, se puede concluir lo siguiente:

- Una vez evaluados los resultados para la edificación reforzada, se encontró que la estructura está en capacidad de atender adecuadamente la totalidad de las solicitaciones impuestas por carga vertical (carga muerta + carga viva) a las que estarán sometidas, durante su vida útil teniendo en cuenta su uso y requerimientos de la norma NSR-10.

- Adicionalmente, una vez evaluados los resultados para la edificación reforzada, se encontró que la estructura está en capacidad de resistir el sismo de diseño especificado para el sector donde se encuentra localizado el proyecto.

- Terminado el proceso de validación de la propuesta de rehabilitación se verificó que efectivamente la vulnerabilidad de la estructura se redujo a los niveles prescritos por el Reglamento NSR 10 y que la estructura, una vez reparada, tendrá un grado de seguridad equivalente al de una estructura nueva, con el mismo uso, diseñada de acuerdo con los requisitos del Reglamento NSR 10, lo cual se comprobó con la obtención de los índices de sobreesfuerzo y flexibilidad para la estructura reforzada menores a la unidad (1).

- Del análisis de la resistencia al fuego que se realizó en la estructura, se pudo concluir que las dimensiones tanto los elementos existentes como nuevos, cumplen la resistencia requerida al fuego para una estructura de categoría II según lo indicado en J.3.3.2 de la NSR-10.