

**ESTUDIO PATOLÓGICO DEL EDIFICIO SAN AGUSTÍN NIVEL SÓTANO Y PISO 1
Y 2 DEL MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO**

**ARQ. LUZ DAIRA AFRICANO CASTILLO
ING. ERIKA YUDITH ÁLVAREZ SEPULVEDA
ING. LILIANA DEL CARMEN DIAZ DOMINGUEZ**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
BOGOTÁ**

2019

**ESTUDIO PATOLÓGICO DEL EDIFICIO SAN AGUSTÍN NIVEL SÓTANO Y PISOS 1
Y 2 DEL MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO**

**TRABAJO PROFESIONAL INTEGRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

ARQ. WALTER MAURICIO BARRETO CASTILLO

REVISOR DEL TRABAJO DE GRADO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS

ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

BOGOTÁ

2019

Resumen

El edificio San Agustín, se encuentra ubicado entre las carreras 7bis y 8ª y las calles 6 y 7 en el Centro Histórico de Bogotá, barrio la Candelaria, llamado comúnmente como el Centro Administrativo de la Localidad La Candelaria. El costado nor – occidental del edificio, esquina de la carrera 8ª con Avenida 6ta., en un área de 7200 m² que afecta el sótano y los pisos primero y segundo, presenta un gran número de lesiones sobre muros y fachadas internas sobre uno de los patios de la construcción, entre otras, fisuras y grietas tanto en vigas como muros y otros elementos no estructurales, así mismo, filtraciones de agua por ventanas y muros expuestos.

Este trabajo es desarrollado en tres etapas, la primera de reconocimiento, investigación y recopilación de información, la cual se realiza mediante el levantamiento de fichas técnicas sobre las lesiones identificadas, estudios realizados al paciente en diferentes momentos con sus respectivos resultados y consultas histórica y normativa de la construcción; la segunda consistió en el análisis de la información, aplicando conocimientos en mecánica de suelos y vulnerabilidad sísmica, teniendo en cuenta la patología encontrada en primera fase, con lo cual se estableció un diagnóstico sobre la situación que presenta el área afectada; y en la tercera etapa se presentan las recomendaciones de intervención para atender y controlar los riesgos actuales del paciente.

Abstract

The San Agustín building is located between 7bis and 8th and 6th and 7th streets in the Historic Center of Bogotá, La Candelaria neighborhood, commonly called the La Candelaria Administrative Center. The north - west side of the building, corner of the 8th and 6th Avenue, in an area of 7200 m² that affects the basement and the first and second floors, they present a large number of injuries on walls and internal facades on one of the construction patios, among others, fissures and cracks, in both beams and walls and other non-structural elements, likewise, water leaks through windows and exposed walls.

This work is developed in three stages, the first of recognition, research and information gathering, which is done through the collection of technical sheets on the identified lesions, studies performed on the patient at different times with their respective results and historical and normative consultations of the construction; the second consisted in the analysis of the information, applying knowledge in soil mechanics and seismic vulnerability, taking into account the pathology found in the first phase, with which a diagnosis was established on the situation presented by the affected area; in the third stage, intervention recommendations are presented to address and control the patient's current risks.

Tabla de Contenido

Capítulo 1.....	1
1. Introducción	1
Capítulo 2.....	2
2. Justificación	2
Capítulo 3.....	3
3. Objetivos	3
3.1 General	3
3.2 Específicos	3
Capítulo 4.....	4
4. Marco referencial	4
4.1 Teórico	4
4.1.1 Aislamiento en la base	4
4.1.2 Tipos de aislación basal	5
4.1.2.1 Aisladores elastoméricos	5
4.1.2.2 Aisladores deslizantes o friccionantes	7
4.1.2.3 Aisladores Roll-N-Cage (RNC).....	8
4.1.3 Teoría de diseño de aisladores	9
4.1.3.1 Procedimiento de diseño de aislador elastomérico	9
4.1.3.2 Propiedades mecánicas de los aisladores con núcleo de plomo	11
4.1.3.3 Propiedades mecánicas de los aisladores de fricción.....	12
4.2 Legal	14
4.3 Histórico.....	15
Capítulo 5.....	16
5. Alcance y limitación	16
Capítulo 6.....	17
6. Metodología	17
6.1 Descripción de la selección del paciente	17
6.2 Preparación y planteamiento del estudio	17
6.2.1 Inspección preliminar del paciente	17
6.2.2 Recopilación de información necesaria para el estudio	17
6.2.3 Permisos y autorizaciones para abordar estudio al paciente.....	17
6.2.4 Definición del equipo de trabajo que realizará la exploración	18
6.2.5 Definición de los medios para realizar la exploración.....	18
6.3 Historia clínica.....	18
6.3.1 Datos generales del paciente.....	18
6.3.2 Aplicación patológica	21
6.3.3 Datos específicos de las lesiones	22
6.3.4 Datos generales del entorno	22
6.3.5 Arquitectura (descripción general)	23
6.3.6 Estructura (descripción general)	27
6.3.7 Suelos y cimentaciones	29
Capítulo 7.....	36
7. Estudio de vulnerabilidad sísmica	36

Capítulo 8.....	39
8. Diagnóstico	39
Capítulo 9.....	42
9. Propuesta de intervención	42
Capítulo 10.....	51
10. Presupuesto.	51
Capítulo 11.....	54
11. Programación de Obra	54
Capítulo 12.....	57
12. Conclusiones.....	57
Capítulo 13.....	60
13. Recomendaciones.	60
Lista de referencias	61
Anexos	62
Anexo A. Estudio geotécnico	62
Anexo B. Análisis de vulnerabilidad sísmica	62
Anexo C. Fichas de lesiones	62
Anexo D. Planos	62
Anexo E. Aisladores sísmicos.....	62

Lista de Tablas

Tabla 1. Resumen de aisladores.....	9
Tabla 2. Cuadros de áreas.	20
Tabla 3. Profundidades de sondeos.....	31
Tabla 4. Comportamiento del suelo.....	33
Tabla 5. Tipos de suelo soporte de la edificación.....	34

Lista de Figuras

Figura 1. Sistemas de control estructural ante un evento sísmico	4
Figura 2. Modelo idealizado para sistema aislado de cuatro niveles	5
Figura 3. Aislador sísmico con núcleo de plomo.....	6
Figura 4. Aislador sísmico de alto amortiguamiento	7
Figura 5. Esquema de aislador sísmico deslizante de péndulo triple.....	7
Figura 6. Aislador sísmico RNC.....	8
Figura 7. Planta arquitectónica sótano	16
Figura 8. Planos ubicación del edificio San Agustín	19
Figura 9. Levantamiento estructural pórtico	20
Figura 10. Planta primer nivel	22
Figura 11. Casona Colonial sector Santa Bárbara	25
Figura 12. Modelo estructural en 3D	28
Figura 13. Ubicación de los sondeos	31
Figura 14. Ejecución sondeo 1	31
Figura 15. Propuesta de intervención.....	43
Figura 16. Elementos de la estructura del aislador	44
Figura 17. Ensamble del soporte de modelaje	45
Figura 18. Vaciado del concreto en el soporte del modelaje	45
Figura 19. Vaciado del concreto en el soporte del modelaje en obra	46
Figura 20. Aplicación del grout en obra	46
Figura 21. Nivelación del grout	47
Figura 22. Elementos necesarios para el ensamble del aislador	48
Figura 23. Fijación del aislador	48
Figura 24. Ensamble de aislador.....	49
Figura 25. Instalación del aislador en las columnas	49
Figura 26. Izaje de los aisladores.....	50
Figura 27. Protección de la goma del aislador.....	50

Capítulo 1

1. Introducción

Para la seguridad, confort, funcionalidad y habitabilidad de los edificios, es de gran importancia partir del conocimiento de las lesiones que afectan el cuerpo de la construcción, su origen es la parte fundamental, partiendo del análisis profundo de la lesión misma, se debe identificar las características de todo el conjunto del paciente; el conocimiento del mismo es fundamental desde todos los aspectos, su uso, su concepción arquitectónica, estructural, constructiva, concepción legal, histórica, entre otras.

La identificación de las fuentes de donde provienen las lesiones, se reconoce teniendo en cuenta las tres fases primordiales, siendo la primera la correspondiente a los diseños arquitectónicos, estructurales, etc. Dentro de los cuales se incluyen los estudios técnicos, donde se desarrollan las especificaciones de cada elemento a construir, durante todo el desarrollo del proyecto. La segunda fase, tiene que ver con el proceso de construcción, donde el control y seguimiento debe ser estricto, tanto en los materiales como en los procesos. La tercera fase es la funcionalidad, en esta se resumen parte de los objetivos del proyecto, es decir, el destino de uso que se da al conjunto construido. Finalmente, está la fase cuatro, llamada mantenimiento; esta es alimentada y desarrollada con todos los aportes de las fases anteriores, debido a que en ella se tienen en cuenta las especificaciones de los productos utilizados, las características del proyecto arquitectónico, estructurales, sistema constructivo, los detalles de los procesos de ejecución de la obra, el uso real que se definió para cada espacio, etc.

Lo anterior ha sido aplicado para la evaluación del paciente seleccionado, El Edificio San Agustín, ubicado en la ciudad de Bogotá, al cual se le efectuará una evaluación patológica, debido a la presencia de fisuras sobre algunos elementos estructurales y muros, el estudio se ejecutará sobre el costado nor – occidental de la construcción, el trabajo se desarrolla en principio con el diagnóstico del área en estudio, tomando en cuenta algunos ensayos realizados, los cuales conducen a las causas de las lesiones, para plantear alternativas de solución que conlleven a la conservación del paciente en estudio, con el fin de su permanencia en el tiempo.

Capítulo 2

2. Justificación

El Edificio San Agustín presenta un proceso patológico en muros y algunos elementos estructurales, en un área de 7200 m² de la construcción sobre el costado nor – occidental, por lo cual el trabajo de proyecto integrado se enfoca en el reconocimiento del suelo y de la estructura donde está cimentada la zona de la edificación a analizar, se realizará la verificación y análisis detallado del estudio geotécnico del área afectada, con la finalidad de conocer las particularidades y/o propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo, y del estado estructural, para establecer la incidencia de estas variables en los problemas que presenta actualmente la construcción.

Con lo anterior, se podrá diagnosticar la fuente del problema y plantear alternativas de solución para lograr la recuperación de los elementos afectados, lo cual permitirá que el edificio proyecte una mayor vida útil, condición requerida teniendo en cuenta su valor histórico y arquitectónico que tiene para el país.

Capítulo 3

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Identificar la fuente de la patología presentada en el costado nor – occidental del edificio San Agustín, mediante el reconocimiento de las lesiones en sótano, primer y segundo piso, el análisis de la información específica encontrada del área afectada de la edificación, para realizar el diagnóstico y recomendaciones que eviten el riesgo de la construcción y permitan la recuperación del inmueble.

3.2 Objetivos específicos

- Reconocer todas las características generales del edificio.
- Realizar el levantamiento de las lesiones encontradas en el área definida para el estudio.
- Analizar los estudios geotécnicos y de vulnerabilidad del edificio, como recurso para el análisis de los problemas patológicos que presenta la construcción.
- Diagnosticar el estado de la construcción, con la inspección, levantamiento de lesiones patológicas y estudios realizados.
- Plantear alternativas de intervención, que permitan la recuperación de la edificación.

Capítulo 4

4. Marco Referencial

4.1 Teórico

Considerando que en las últimas décadas ha aumentado la frecuencia de movimientos de la placa terrestre denominados “terremotos”, en la actualidad se han implementado diversos sistemas de control para la protección de las edificaciones ante la presencia de dichos eventos sísmicos. En la figura 1, se presenta un diagrama de flujo con la clasificación de los sistemas de control estructural ante un evento sísmico:



Figura 1. Sistemas de control estructural ante un evento sísmico.

4.1.1 Aislamiento en la base. La aislación sísmica consiste en desacoplar la estructura de la sub-estructura por lo que se utilizan los dispositivos llamados aisladores que se ubican estratégicamente en partes específicas de la estructura (Figura 2), los cuales, en un evento sísmico, proveen a la estructura la suficiente flexibilidad para diferenciar la mayor cantidad posible el periodo natural de la estructura con el periodo natural del sismo, evitando que se produzca resonancia¹, lo cual podría provocar daños severos o el colapso de la estructura.

¹ Resonancia: Fenómeno que ocurre cuando aumenta la amplitud de una estructura debido a la acción de una fuerza externa con la misma frecuencia natural de vibración de la estructura, haciendo que la amplitud de la estructura se haga muy grande.

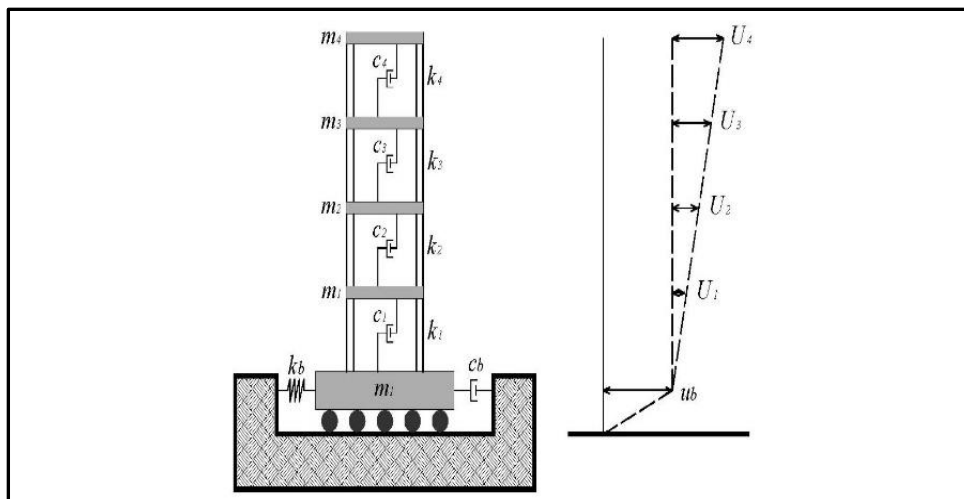


Figura 2. Modelo idealizado para sistema aislado de cuatro niveles (Zúñiga y Terán. 2012).

4.1.2 Tipos de aislación basal. Es necesario realizar un estudio a la estructura que se va a intervenir para escoger el tipo de aislador que dependerá de los factores de priorización para su elección en concordancia con la utilización de este. Los aisladores sísmicos más desarrollados y utilizados en la actualidad son los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (con o sin núcleo de plomo) y los deslizantes o friccionales. A continuación, se detallan brevemente las características generales de los distintos sistemas de aislación sísmica:

4.1.2.1 Aisladores elastoméricos. Estos combinan capas de acero y láminas de elastómeros, tienen forma circular o cuadrada, lo cual hace que tengan flexibilidad lo que permite el desplazamiento horizontal en la edificación en relación con el terreno que la soporta; por otra parte, la deformación aplicada a estos aisladores determina su funcionalidad. Entre los aisladores elastoméricos se encuentran los siguientes:

a) *Aisladores de Goma de Bajo Amortiguamiento (LDRB).* Han sido ampliamente utilizados en Japón en conjunto con sistemas de amortiguamiento adicionales, como amortiguadores viscosos, barras de acero, barras de plomo y dispositivos de fricción. Francia, por su parte, ha reemplazado el caucho natural por neopreno.

Para este tipo de aislador se utiliza una goma de baja capacidad de amortiguamiento, acompañado con unas láminas de acero impidiendo la expansión lateral de las gomas y así permitiendo una alta rigidez vertical.

Las ventajas del aislador de caucho de bajo amortiguamiento, destacan la fácil manufacturación, la simplicidad de su modelado y además su comportamiento mecánico no se ve afectado por cambios de temperatura, la desventaja de este tipo de aislador radica en que es necesario emplearlo en conjunto con dispositivos de amortiguamiento adicionales, los que en muchas ocasiones implican elevadas conexiones.

b) Aisladores de Goma con Núcleo de Plomo (LRB). Su diseño es prácticamente igual al aislador de caucho de bajo amortiguamiento, incluyendo uno o más núcleos de plomo que son insertados en agujeros dentro del dispositivo, los cuales facilitan la disipación de energía (Ver figura 3).

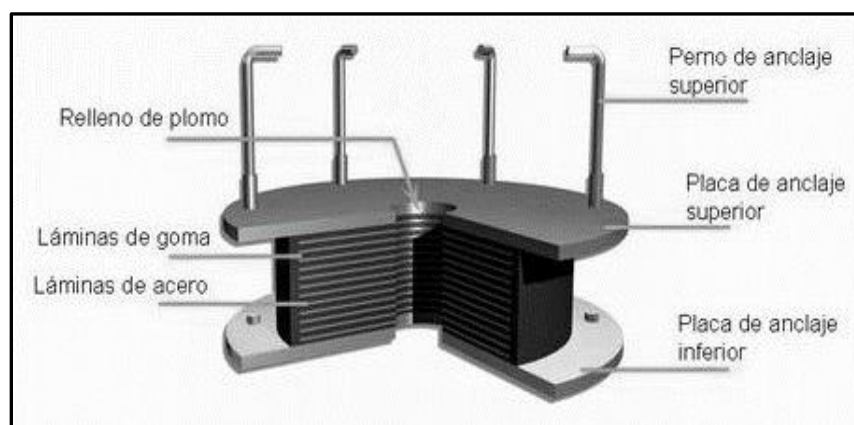


Figura 3. Aislador sísmico con núcleo de plomo (Briannunez construcción 2015).

c) Aisladores de Alto Amortiguamiento (HDRB). El aislador elastomérico de alto amortiguamiento está compuesto por láminas de caucho con delgadas capas de acero que cuenta con el suficiente amortiguamiento para eliminar el uso de dispositivos adicionales usados en los aisladores de bajo caucho natural (Ver figura 4). Para logra el aumento de amortiguamiento se logra mediante la incorporación de fillers² de carbono extrafinos, aceites o resinas, permitiendo que alcance niveles del orden de 10-15% para tensiones de cortante del 100%.

² Fillers: Término traducido al español que significa Material de Relleno

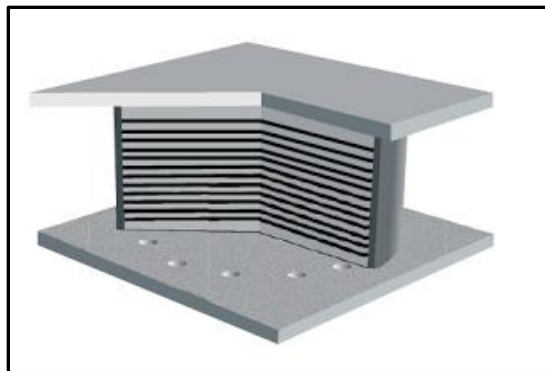


Figura 4. Aislador sísmico de alto amortiguamiento.

Se puede decir que el material se comporta como no lineal para tensiones de cortantes inferiores al 20% además, se caracteriza por su amortiguamiento y alta rigidez, lo que busca minimizar la réplica bajo acciones de viento y sismos de pequeña magnitud. El aislador de alto amortiguamiento se ha utilizado en edificios en Estados Unidos, Japón e Italia.

4.1.2.2 Aisladores deslizantes o friccionantes. Este es un sistema de aislación que consigue el efecto de un mecanismo deslizante o de desplazamiento de la superestructura sobre el terreno es simple e intuitivo, siendo este el sistema inicialmente propuesto en 1909. El FPS consiste en un deslizador articulado que se mueve en una superficie deslizante se incluye el politetrafluoretileno (PTFE o teflón) y el acero inoxidable, que tiene características de una esférica cóncava.

La idea de este diseño de aisladores deslizantes descansa en el bajo coeficiente de rozamiento existente entre la estructura y el sistema de aislación, logrando permitir una adecuada desconexión entre el suelo y la estructura. (Ver figura 5).

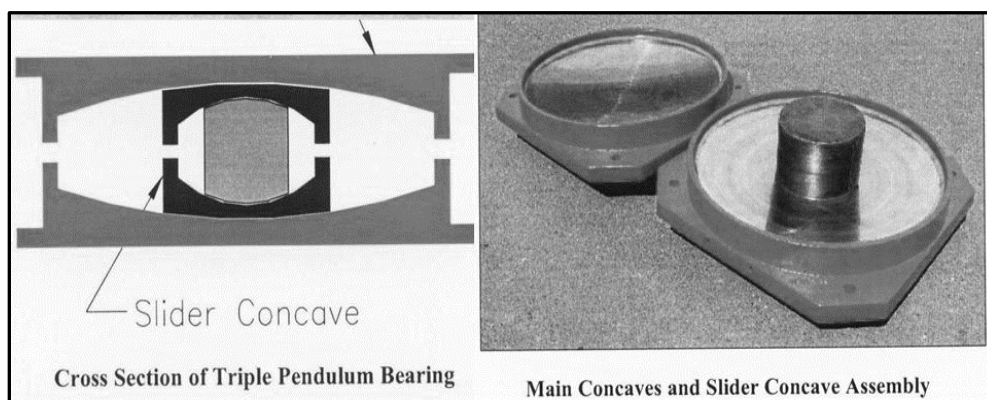


Figura 5. Esquema de aislador sísmico deslizante de péndulo triple (Mosquera y Romo. 2016).

4.1.2.3 Aisladores *Roll-N-Cage (RNC)*. El equipo de investigación de la Universidad Politécnica de Cataluña diseñó un dispositivo de aislación que permite la combinación de las propiedades benéficas de los distintos aisladores descritos, a la vez de minimizar o reducir los efectos negativos de los movimientos sobre una estructura soportada, este sistema permite reducir los movimientos a causa de un sismo.

El sistema RNC está construido en materiales de caucho y en acero, este aislador es anti vibraciones y es instalado entre la estructura y el terreno o cualquier otro apoyo permitiendo desacoplar la estructura este aislador tiene una capacidad a cargas verticales y el aislador RNC-c que tiene una capacidad menor de resistir cargas verticales, las que son transmitidas íntegramente por el cuerpo del aislador la implementación de un anillo elastomérico mejora la capacidad portante, siendo éste el encargado de transmitir las cargas verticales. Mientras que el cuerpo rodante en sí actúa como un mecanismo secundario de aislación. (Ver figura 6).

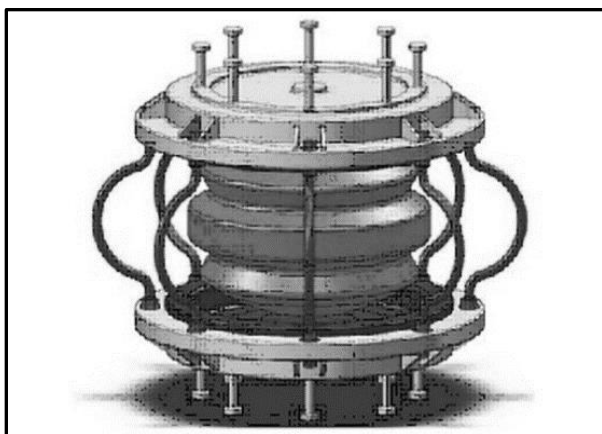


Figura 6. Aislador sísmico RNC (UPC. 2010).

Mundialmente existen más combinaciones y presentaciones de aisladores sísmicos, para el presente documento se resumen en la tabla 1 las principales características de los aisladores vistos anteriormente y además se identifican los que se utilizan hoy en día en Colombia, con el fin de tener una mejor aproximación del tipo de aisladores a recomendar en este trabajo.

Tabla 1. Resumen de aisladores.

Tipo de Aislador	Amortiguamiento Efectivo	Lugar de Ensamble más cercano	Otras Características
Aisladores de goma de bajo amortiguamiento. (LDRB)	2-3%	Chile	Se utilizan en conjunto con disipadores de energía, son fáciles de fabricar.
Aisladores de goma con núcleo de plomo. (LRB)	25-30%	Colombia	Al deformarse lateralmente el aislador durante la acción de un sismo, el núcleo de plomo fluye incurriendo en deformaciones plásticas y disipando energía en forma de calor.
Aisladores de goma de alto amortiguamiento. (HDRB)	10-15%	Colombia	Presentan mayor sensibilidad a cambios de temperatura y frecuencia.
Péndulo friccionante (FPS)	Depende de la fricción del sistema	Chile	Son dispositivos robustos con hasta 2.0 m de diámetro. Gracias a estos dispositivos, luego de un movimiento sísmico, la estructura regresa a su posición inicial gracias a la geometría de la superficie y a la fuerza inducida por la gravedad. Requieren de bastante inspección para mantener su coeficiente de fricción.
Aisladores Roll-N-Cage (RNC)	9-15%	España	Proporciona un aislamiento multidireccional mediante la disipación de energía y la limitación de la elevación y de los desplazamientos horizontales máximos. Hasta ahora sólo existen prototipos en prueba

4.1.3 Teoría de diseño de aisladores. Existe una gran variedad de teorías de diseño de los aisladores sísmicos aceptadas por la norma sismo-resistente vigente NSR-10 como las presentadas en “NEHRP Recommended Provision for Seismic Regulations for New Buildings – Provisions and Commentaries” de Washington D.C, “Minimum Design Loads for Building and Other Structures” del Instituto de Ingeniería Estructural de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles en Virginia, USA, el “Uniform Building Code UBC-97”, entre otros, de los cuales este último es el elegido para llevar a cabo el diseño de los aisladores presentados en este trabajo de grado. De esta manera a continuación se describe el procedimiento de diseño de los aisladores elastoméricos con y sin núcleo de plomo y de los aisladores de deslizamiento o fricción que son los aisladores más utilizados y los que mejor comportamiento han demostrado a nivel mundial.

4.1.3.1 Procedimiento de diseño de aislador elastomérico. “Uno de los criterios más relevantes para los proyectos de aislación sísmica, es la frecuencia vertical del sistema, la que es controlada por la rigidez vertical de los cojinetes que componen el sistema”. (Trujillo, 2017, p.48). Dicha rigidez es calculada bajo una carga muerta especificada con la fórmula 1:

$$Kv = \frac{EcA}{tr} \quad ; \quad Ec = \left(\frac{1}{6*G*S^2} + \frac{4}{3K} \right)^{-1} \quad ; \quad S = \frac{R}{2t} \quad (1)$$

Donde:

A: Área cargada del cojinete

t_r : Espesor total del caucho

E_c : Módulo de compresión instantáneo del caucho-acero, controlado por el factor de forma S.

G: Módulo de corte del aislador

K: Rigidez del apoyo elastomérico

La rigidez horizontal, parámetro importante de los apoyos elastoméricos se calcula mediante la fórmula 2, de la siguiente manera:

$$K_H = \frac{GA}{t_r} \quad (2)$$

Donde:

A: Área de la sección transversal completa

t_r : Espesor total del aislador

G: Módulo de corte del aislador

Además de la rigidez horizontal, otro parámetro importante es la deformación debida al corte directo máximo que soportará cada aislador y se calcula utilizando la expresión 3, de la siguiente manera:

$$\gamma = \frac{D}{t_r} \quad (3)$$

El pandeo es otra de las características que se deben revisar en el diseño de aisladores, calculando primero la inercia del disco de acero mediante la fórmula 4 y la carga de pandeo con la ecuación de Euler, fórmula 5:

$$I = \frac{\pi R^4}{4} \quad (4)$$

$$P_E = \frac{\pi^2 E_c I}{3t_r^2} \quad (5)$$

De la misma manera se debe calcular el área efectiva a cortante de cada aislador con la fórmula 6, para poder calcular la rigidez efectiva a cortante mediante la expresión 7:

$$A_s = A + \frac{t_r + Disco}{t_r} \quad (6)$$

$$K_s = G * A_s \quad (7)$$

Se debe calcular la carga crítica para cada aislador utilizando la fórmula 8 y el coeficiente de seguridad con la expresión 9:

$$P_{crítica} = \sqrt{P_E * K_s} \quad (8)$$

$$SF = \frac{P_{crítica}}{P_{máx}} > 2 \quad (9)$$

4.1.3.2 Propiedades mecánicas de los aisladores con núcleo de plomo.

Este tipo de aislador posee las mismas propiedades generales de los aisladores elastoméricos, los aisladores de plomo poseen tres propiedades mecánicas importantes que son tres rigideces (K_1 , K_2 y Q). La rigidez elástica K_1 , es difícil de medir y por lo tanto se toma como un múltiplo de k_2 , la rigidez post-fluencia, la cual puede ser estimada del módulo de cortante del caucho y el diseño del soporte del aislador. Para la fuerza Q es la interacción de la curva de histéresis y la fuerza axial “y” es estimada a partir de la tensión de fluencia del plomo (10.3 MPa) y el área de entrada del núcleo de plomo. La rigidez efectiva se calcula mediante la expresión 10:

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D} ; D \geq D_y \quad (10)$$

El cálculo de la deformación de fluencia de los aisladores se realiza con la fórmula 11:

$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} \quad (11)$$

La energía disipada se obtiene con la fórmula 12:

$$W_D = 4 * Q * D_D - D_y \quad (12)$$

Finalmente, el amortiguamiento efectivo para $D \geq D_y$ se calcula mediante la fórmula 13:

$$B_{eff} = \frac{4 * Q * (D - D_y)}{2 * \pi * K_{eff} * D^2} \quad (13)$$

Pérez y Vásquez (2016).

4.1.3.3 Propiedades mecánicas de los aisladores de fricción. Una vez es estimado el valor de amortiguamiento, el desplazamiento de diseño D_D , el desplazamiento máximo D_M , el coeficiente de fricción (según recomendaciones), para la tensión admisible del teflón y el sistema de conexión los aisladores, se calcula los parámetros mecánicos de los aisladores iniciando con la rigidez horizontal total de todo el sistema con la fórmula 14 y la rigidez de cada aislador con la expresión 15:

$$K_{Htotal} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 g} \quad (14)$$

$$K_H = \frac{K_{Htotal}}{N} \quad (15)$$

Donde:

W: Peso total de la estructura

T_D : Periodo de diseño

G: Aceleración de la gravedad

N: Número de aisladores

Para los aisladores de fricción el periodo está en función del radio de curvatura, el cual se obtiene utilizando la expresión 16:

$$R = \frac{T^2 g}{4\pi^2} \quad (16)$$

Por otra parte, con la fórmula 17 se obtiene la rigidez presentada post-desplazamiento del sistema y la fuerza de activación del sistema con la expresión 18:

$$K_{eff} = \frac{\mu W}{D} + K_P \quad (17)$$

$$F_y = \mu W \quad (18)$$

Donde:

F_y : Fuerza de activación del sistema.

μ : Coeficiente de fricción.

K_{eff} : Rigidez efectiva.

K_P : Rigidez post-fluencia.

Posteriormente se calcula el área de contacto del deslizador articulado con la expresión 19:

$$A_S = \frac{P_{Max}}{\sigma_{Ac}} \quad (19)$$

Se procede a calcular la dimensión horizontal del aislador, este se obtiene a partir del desplazamiento debido al sismo máximo posible más el diámetro del deslizador articulado, D_s , dado por la fórmula 20.

$$D_2 = D_{TM} + D_s \quad (20)$$

Por otra parte, se calcula la carga transmitida a la placa inferior del aislador utilizando la expresión 21:

$$F_t = \sigma_{AC} A_s \quad (21)$$

La fuerza resistida por la placa está dada por la expresión 22:

$$F_p = \sigma_b A_c \quad (22)$$

Donde:

σ_b : Tensión admisible de compresión

A_c : Área proyectada de contacto (fórmula 23)

$$A_c = \frac{\pi}{4} (D_s + 2h)^2 \quad (23)$$

Resolviendo la igualdad de la expresión 24, se obtiene el valor del espesor de la placa h :

$$F_t = F_p \quad (24)$$

Se establece la altura del aislador dada por la fórmula 28, compuesta por la altura de la placa que está en contacto con el deslizador articulado H_1 (fórmula 25), más la altura de la placa que contiene el deslizador H_2 (expresión 26) y el espacio libre que queda entre las dos H_3 (fórmula 27):

$$H_1 = h + \left(R - \sqrt{R^2 - D_2^2} \right) \quad (25)$$

$$H_2 = 0.7H_1 \quad (26)$$

$$H_3 = \left(R - \sqrt{R^2 - D_2^2} \right) \quad (27)$$

$$H_T = H_1 + H_2 + H_3 + H_{anclaje} \quad (28)$$

De la misma manera se establece la dimensión horizontal total con la fórmula 29, en donde a la dimensión total del aislador se le agrega una dimensión exterior que es utilizada para colocar el sello que protege al aislador contra factores ambientales:

$$D_T = D_2 + D_{ext} \quad (29)$$

4.2 Marco Legal

El edificio San Agustín ubicado en el centro histórico de la Candelaria, es un inmueble que fue declarado por la Alcaldía Mayor de Bogotá como “*Bien de Interés Cultural del Distrito Categoría B (Conservación Arquitectónica)*”, por lo tanto, las intervenciones a realizar en los mismos, están reglamentadas en el Decreto No. 492 de 2007 (Unidad de Planeamiento Zonal – UPZ 094) y en las disposiciones del Decreto Distrital 678 de 1994. Según el capítulo 7 del mencionado decreto, la intervención o a la obra a ejecutar puede ser:

“1. *Obras dirigidas a la conservación de la estructura y carácter del inmueble.*

- *Primeros auxilios o Intervenciones de emergencia.*

- *Reparaciones locativas.*

- *Mantenimiento.*

- *Restauración.*

- *Liberación.*

- *Consolidación.*

2. *Intervenciones dirigidas a permitir el uso de los inmuebles y su revitalización.*

- *Adecuación.*

- *Ampliación.*

- *Modificación”*

Adicionalmente, debido a que el edificio San Agustín se encuentra localizado en el sector de la Candelaria, zona de influencia del sector antiguo de la ciudad, hace parte de los bienes inmuebles declarados de ámbito Nacional de acuerdo con lo establecido en la Ley 163 de 1959, los decretos 1584 de 1975 y 3124 de 1983.

Por otra parte, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 24 del Decreto 4712 de 2008, corresponde a la Subdirección de Servicios del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, administrar los bienes inmuebles de la entidad y velar por la oportuna programación y prestación de los servicios de mantenimiento preventivo y correctivo de las instalaciones eléctricas, hidrosanitarias, sistema integral de seguridad y demás servicios relacionados con la infraestructura física de las sedes del Ministerio.

Las intervenciones a realizar en el mencionado edificio, cuentan con la aprobación del Instituto Distrital de Patrimonio Cultural y de la Dirección de Patrimonio del Ministerio de Cultura, y la licencia de construcción respectiva.

Con base en lo anteriormente mencionado, la normativa que regula la intervención del edificio San Agustín es la siguiente:

- Ley 163 de 1959
- Decretos 1584 del 11 de agosto de 1975 y 3124 del 10 de noviembre de 1983
- Decreto 678 de 1994 y los actos administrativos modificatorios del mismo.

4.3 Marco Histórico

El edificio San Agustín se encuentra ubicado en el sector de la Candelaria, que, en los inicios de formación de este barrio, el que el uso del suelo estaba distribuido en un 98% residencial y de 2% comercial. Sin embargo, a partir del siglo XX inicia una época de transformación en el urbanismo circundante al edificio, en donde se realizan intervenciones de renovación urbana en las edificaciones cambiando su uso, con lo que se evidencia un avance en la utilización de las mismas para uso comercial, especialmente para ubicación de oficinas de entidades del Estado. De igual forma, se han realizado movimientos de tierra por la construcción de la avenida sexta durante el año 2003.

Aunado a lo anterior, gran porcentaje de los arrendatarios o propietarios de las edificaciones, no realizan acciones de mantenimiento o reparaciones locativas, con lo cual se propició un deterioro acelerado de los edificios ubicados en el sector de La Candelaria.

Capítulo 5

Alcance y Limitaciones

El edificio San Agustín es una construcción de más de 39.000 m², de diez pisos de altura, sin embargo, se realizará el presente estudio patológico en un área específica de 7.200 m² con fines educativos, ubicados en primer y segundo piso y en el sótano, donde se ubican actualmente un gran número de lesiones sobre muros internos, y sobre fachadas internas que dan sobre un patio al interior de la construcción. La ubicación del área a analizar está en el costado Noroccidental del edificio, esquina de la carrera 8^a con Avenida 6ta. En la figura 7 se muestra la planta arquitectónica del sótano.

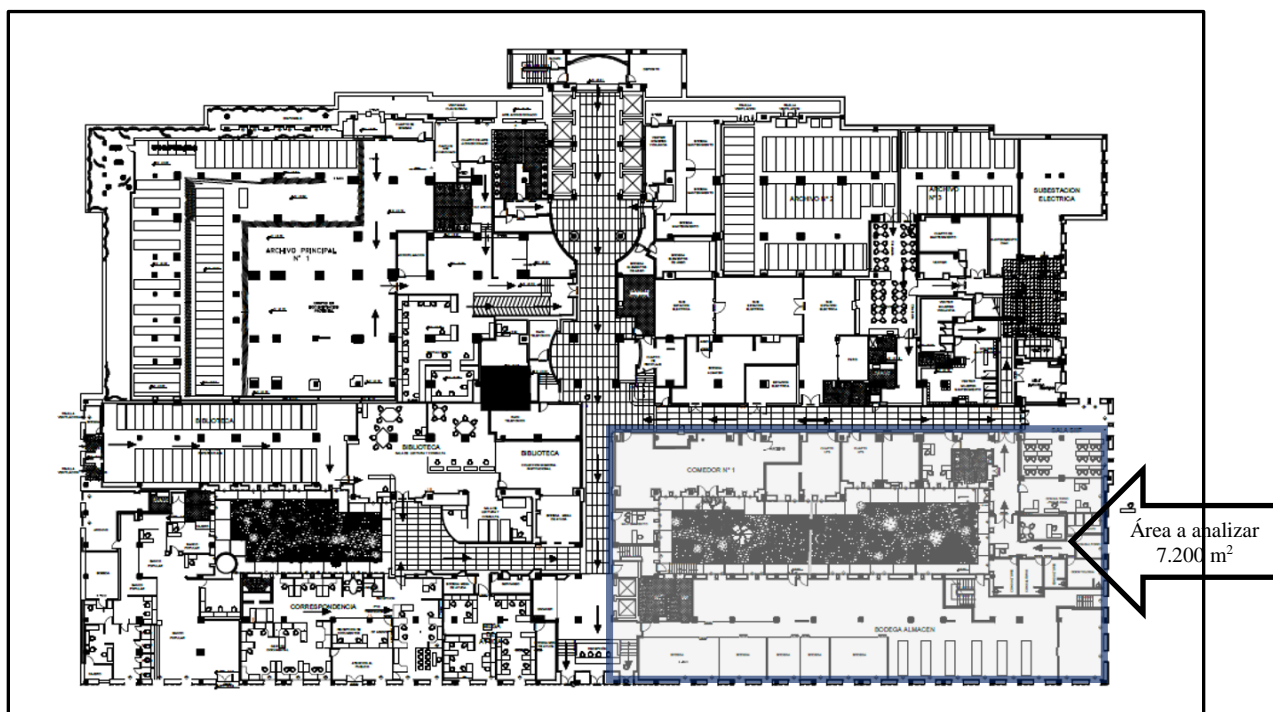


Figura 7. Planta arquitectónica sótano (área a analizar por afectación de lesiones).

Capítulo 6

6. Metodología

6.1 Descripción de la Selección del Paciente

La escogencia del edificio San Agustín para realizar el estudio patológico del mismo y presentarlo como Trabajo de Proyecto Integrado, estuvo basado en factores tales como: conocimiento de las lesiones presentes en el edificio y facilidad en el acceso al mismo, la complejidad de las variables que afectan los elementos estructurales y no estructurales de la obra, tales como el tipo de suelo que la soporta, la ubicación y secciones de las columnas y la característica especial del edificio por estar ubicada en un sector con edificaciones declaradas como patrimonio arquitectónico y cultural de la ciudad de Bogotá.

6.2 Preparación y Planteamiento del Estudio

6.2.1 Inspección preliminar del paciente. Se realizó visita de inspección ocular en todos los pisos del edificio incluyendo el sótano y las zonas circundantes del mismo, en la que se hizo un registro de las lesiones evidenciadas, su ubicación y la respectiva toma de fotografías.

6.2.2 Recopilación de información necesaria para el estudio. Mediante oficio dirigido al Ministerio de Hacienda y Crédito Público, se realizó la solicitud de información técnica correspondiente del edificio, como planos y diseños arquitectónicos y estructurales, tanto de la cimentación como de la infraestructura; así mismo, documentación relacionada con las intervenciones anteriores realizadas.

6.2.3 Permisos y autorizaciones para abordar estudio al paciente. Para la utilización del edificio San Agustín como paciente y presentación en el Trabajo de Proyecto Integrado, se realizó la solicitud al Ministerio de Hacienda y Crédito Público, el cual fue concedido única y exclusivamente para propósitos académicos, teniendo en cuenta la reserva existente sobre los documentos públicos que son propiedad del Estado Colombiano.

6.2.4 Definición del equipo de trabajo que realizará la exploración. El equipo de trabajo está conformado por tres integrantes, dos ingenieras civiles y una arquitecta; todas con trayectoria en el medio de la construcción, en diversos ámbitos de la misma, tales como: contratista ejecutor, interventoría, supervisión, auditor, entre otros.

6.2.5 Definición de los medios para realizar la exploración. Los medios a utilizar para realizar el estudio patológico son documentales, tales como diseños, planos arquitectónicos y estructurales existentes, normativa aplicada para el efecto de la intervención del paciente para el cumplimiento estructural, no estructural y geotécnico (NSR-10), las Normas Técnicas Colombianas (NTC) y demás normas vigentes que regulen la propuesta planteada para devolver la funcionalidad constructiva de la edificación. Así mismo, bibliografía en donde se encuentren los temas relacionados con las lesiones y sus posibles soluciones; igualmente, información relevante recaudada en páginas de internet certificadas.

Otro medio utilizado en el presente estudio, es de campo, del cual se obtiene información del paciente mediante la inspección visual u observación de la edificación, la utilización de equipos y herramientas, muestreos y recolección de datos en el sitio y pruebas o ensayos en laboratorio, para realizar verificaciones y mediciones con el propósito de establecer el comportamiento de la infraestructura y la cimentación que la soporta.

6.3 Historia clínica

Las responsables del presente estudio patológico del edificio San Agustín son las estudiantes de la especialización Patología de la Construcción, Ing. Erika Yudith Álvarez Sepúlveda, Arq. Luz Daira Africano Castillo e Ing. Liliana del Carmen Díaz Domínguez. El estudio se inició en el mes de septiembre de 2018 con la visita de inspección ocular.

6.3.1 Datos generales del paciente. El paciente objeto del estudio es el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, que por su disposición es una estructura de especial importancia por las funciones que presta a la comunidad. Dicha entidad funciona en el edificio San Agustín conocido antiguamente como Palacio de los Ministerios, se encuentra ubicado en el Barrio Centro Administrativo de la Localidad La Candelaria, en el Centro Histórico de Bogotá, entre carreras 7bis y 8ª y las calles 6 y 7, su dirección exacta es carrera 8 No. 6c-38. Cuenta con un

área aproximada de 39.638 m² y es de propiedad de la Nación. Fue construido en 1939 sobre el predio que era ocupado por el convento de San Agustín, limita con importantes estructuras patrimoniales del orden religioso, administrativo y de defensa como son el Templo de San Agustín, el Batallón Guardia Presidencial y el Palacio de Nariño. A continuación, en la figura 8 se presenta la localización general del edificio de estudio:

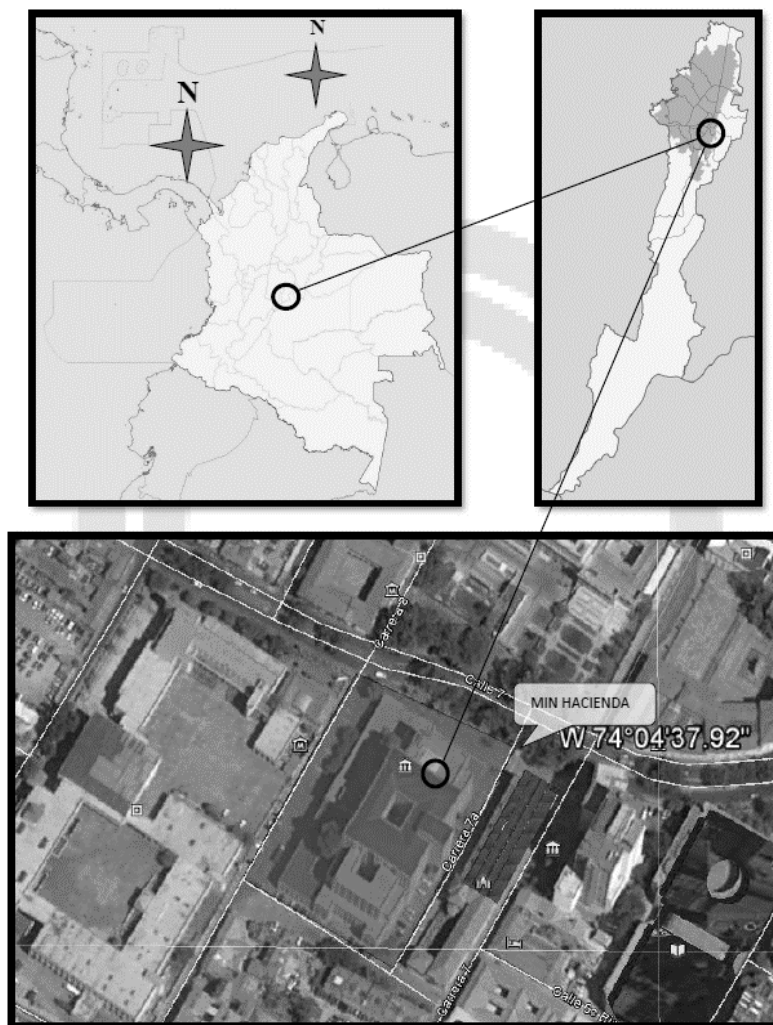


Figura 8. Planos ubicación del edificio San Agustín.

Por otra parte, usando la clasificación de la NSR – 10, normativa vigente, se clasifica dentro del uso de OCUPACIÓN ESPECIAL – GRUPO DE USO II, toda vez que corresponde a un EDIFICIO GUBERNAMENTAL.

El sistema constructivo con sistema estructural de pórticos en concreto reforzado, presentando un diafragma rígido a nivel de entrepisos y de cubierta.

El sistema de cimentación está conformado por zapatas aisladas a una profundidad de 2.00 m medidos desde el nivel de piso fino de sótano, dichas zapatas no se encuentran conectadas entre sí, condición corroborada en los trabajos de campo realizados por consultoría.

El Edificio San Agustín cuenta con una altura de 30.6 metros, desde el nivel del sótano hasta el cuarto de ascensores ubicado en el piso diez, en la figura 9 se muestra lo anterior.

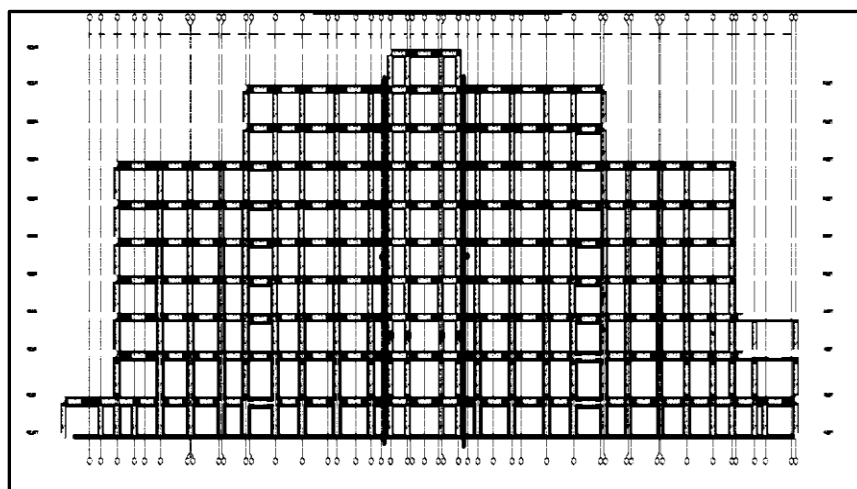


Figura 9. Levantamiento estructural pòrtico.

En la tabla 2, se relacionan las áreas por cada uno de los diez pisos que conforman el edificio San Agustín:

Tabla 2. Cuadro de áreas.

CUADRO DE ÁREAS DEL MHCP	
SÓTANO	6.624,69
1 PISO	6.293,87
2 PISO	6.153,75
3 PISO	4.180,55
4 PISO	3.594,60
5 PISO	3.579,87
6 PISO	3.260,20
7 PISO	3.275,71
8 PISO	2.181,69
9 PISO	109,41
10 PISO	169,15
ÁREA TOTAL	39.423,49

En lo que concierne al estado general de la construcción de la edificación, se identifican lesiones en algunas zonas del edificio, especialmente en uno de los costados del edificio Noroccidental, pisos uno, dos y sótano, lo anterior en lo que se refiere a la estructura y elementos de cerramiento. En cuanto a los acabados en general de estos tres niveles, se encuentran en un alto nivel de deterioro, por su antigüedad.

Por otro lado, la documentación encontrada, revisada y analizada es de alta confiabilidad, debido a que es una edificación ocupada actualmente por uso institucional gubernamental; adicionalmente, los planos investigados coinciden con la edificación en cuanto a la conformación arquitectónica, sin embargo, es difícil comparar lo descrito en la planimetría con lo encontrado en sitio, debido a que ha habido varias intervenciones en la conformación espacial de la construcción, a través del tiempo y por los cambios de uso que ha tenido el edificio.

Con el fin de verificar el estado del paciente, se realizó levantamiento a las lesiones que se encuentran actualmente visibles y de fácil acceso, sin embargo, hay zonas restringidas, las cuales no se pudieron verificar, tal es el caso de los espacios cerrados del sótano. Se verificó en sitio que hay espacios que en planos tienen una distribución diferente a los efectivamente construidos, además, existen áreas de difícil confrontación por el sistema de oficina abierta, que dificulta la comparación de los espacios con la planimetría. Por otra parte, se resalta que, en el transcurso de un tiempo, se han venido cubriendo lesiones con acabados superficiales, lo cual no permite su descripción en la historia clínica.

6.3.2 Aplicación patológica. El edificio San Agustín fue construido en 1939 por lo que tiene una antigüedad de 80 años, la patología aplicada en este caso es la geriátrica por ser mayor a diez años. Por otro lado, basado en el reconocimiento realizado, al edificio se le pueden realizar acciones curativas de las lesiones presentadas, tales como grietas, fisuras, desprendimientos de material producto del asentamiento diferencial que se ha producido en el edificio; así mismo, se deben realizar acciones de carácter preventivo, en relación con el asentamiento antes mencionado, con el fin de evitar problemas de estabilidad y durabilidad o un eventual colapso de la infraestructura.

6.3.3 Datos específicos de las lesiones. La descripción de las afectaciones, localización, clasificación y origen, como también la evaluación de los materiales, se presentan en las fichas descriptivas por cada lesión que se muestran en el Anexo C.

6.3.4 Datos generales del entorno. En lo que respecta a las edificaciones u obras vecinas, el edificio San Agustín, se encuentra circundado por vías, estando sin construcciones que lo afecten directamente, con los siguientes linderos:

Norte: Avenida 6ta – Vehicular.

Sur: Calle 6C – Vehicular.

Oriente: Carrera 7A - Peatonal.

Occidente: Carrera 8ª – Vehicular.

El acceso principal al edificio se realiza desde las fachadas oriental y occidental; desde la fachada oriental se ingresa directamente al primer piso, mientras que la fachada occidental igual que la sur, cuentan con un ingreso por la parte del sótano, es una condición que se debe al desnivel presente en la zona por la existencia de la ladera dada en las faldas de los cerros orientales de Bogotá. Por su lado la fachada norte no tiene ingreso al público. En la figura 10 se muestra el acceso principal de la edificación en estudio.



Figura 10. Planta primer nivel

Por otro lado, el medio ambiente que rodea la construcción es bastante contaminado, debido a la polución, por la presencia de vehículos a su alrededor, especialmente por la cercanía con la

carrera décima, una de las vías principales del centro de Bogotá. A su alrededor se ubican múltiples inmuebles con características similares, patrimoniales y de conservación histórica.

La temperatura en general en la ciudad de Bogotá está entre 11° C y 16° C, habitualmente. En la zona donde se ubica en edificio en estudio, la temperatura es un poco más baja 10°C promedio.

La edificación internamente tiene una sensación de temperatura mucho más baja, se puede hablar de aproximadamente 9° C. Las temperaturas más altas se presentan en el mes de abril, con épocas frías en los meses de julio y agosto. En el área donde se ubica el edificio San Agustín, las precipitaciones de lluvias son durante todo el año, incluso en el mes más seco hay lluvia en cantidad de 866 mm.

En lo que corresponde al área de terreno que soporta el edificio, el nivel freático está a 8,30 m de profundidad, este nivel tiene variaciones según las condiciones del clima del sector, debido a las fuertes escorrentías que se filtran en el suelo por la ubicación de la construcción, la cual se encuentra en la falda de los cerros, donde se concentran grandes fuentes de agua.

6.3.5 Descripción de la arquitectura. El concepto de Patrimonio, ha evolucionado desde la valoración del Monumento como un hecho individual, hasta el concepto del Patrimonio como el entorno construido; entorno con vida social, cultural y con gran significado para la comunidad, por sus valores testimoniales, históricos, urbanos y arquitectónicos, entre otros.

El concepto de Arquitectura Contextual, se puede asimilar y entender como las construcciones que componen y participan de un hecho urbano con valor patrimonial, por su historia, su morfología, su estado de conservación, etc., y que por pertenecer a un conjunto, en sí mismas contienen características físicas homogéneas, tanto de implantación urbana, como técnicas y tipológicas; es una arquitectura sencilla, concebida sin pretensiones, dando una respuesta funcional y técnica, de acuerdo con las demandas del uso propuesto, a través de la historia y evolución del entorno urbano y del inmueble mismo.

Para el caso del inmueble que nos ocupa en el presente documento, por su localización en el barrio La Candelaria, uno de los primeros barrios conformados desde la época de la colonia (1797), no refleja el proceso de evolución y transformación arquitectónica y espacial a lo largo

del tiempo, siempre enmarcado dentro de una retícula urbana establecida y de unos elementos naturales como los Ríos San Agustín y San Francisco que determinaron su desarrollo y morfología. Su implantación, tipología y materialidad, le ubican dentro de ésta categoría de contexto, con valores particulares y de conjunto, posibles de conservar.

El uso del suelo en el sector, al parecer residencial en un 98% y de 2% comercial en su primera etapa de formación, le imprimen características especiales a cada inmueble, así como una definida flexibilidad para adaptar las antiguas estructuras a nuevos usos. La dinámica de expansión urbana en esta parte de la ciudad, fue generada por elementos de carácter religioso, como la Ermita de Santa Bárbara y el Templo de San Agustín.

No obstante, que los usos de vivienda y comercio, se mantienen a finales del siglo XX, dentro de una estructura urbana y tipológica consolidada desde la colonia, la presencia de arrendatarios y propietarios que no ejecutan las acciones de mantenimiento sistemáticas en los inmuebles y las intervenciones puntuales de renovación urbana como es el caso del Archivo General de la Nación, el Conjunto Residencial de Santa Fé, el Archivo Distrital de Bogotá y la Vía de los Comuneros, se inicia un proceso acelerado de deterioro, de todo el entorno y de cada uno de los inmuebles que conformaban las manzanas de la Candelaria.

El Edificio San Agustín, propiedad del Ministerio, se ha mantenido, por cuanto su estructura espacial y material no ha sido alterada, ni transformada a través del tiempo; no ocurrió lo mismo con los inmuebles restantes de la manzana, estos fueron clasificados como Republicanos y Modernos o Contemporáneos.

A pesar de que se han ampliado y clarificado los conceptos de patrimonio, los mecanismos de conservación, valoración y apropiación se continúan implementando y aprobando acciones que aportan a la irreversible desaparición de los últimos vestigios de lo que otrora, fuera un barrio con valor contextual no monumental. En la figura 11 se muestra un inmueble con la arquitectura que predominaba en el sector.



Figura 11. Casona Colonial sector Santa Bárbara.
Tomado de Historia de Bogotá Tomo II.

Monumento de conservación. Mediante comunicación MC-011916-EE-2013 del 19 de septiembre de 2013, el Director de Patrimonio del Ministerio de Cultura, le informó al Ministerio de Hacienda y Crédito Público lo siguiente: “(...) una vez revisado el Listado de Bienes de Interés Cultural del ámbito Nacional (BIC Nal.), competencia del Ministerio de Cultura, **no se encontró registro del inmueble denominado “Edificio San Agustín” localizado en la carrera 8 No. 6c - 38, no obstante, se indica que el bien se encuentra dentro de la zona de influencia del Sector Antiguo de la ciudad de Bogotá**” (...) los cuales cuentan con la declaratoria de BIC Nal mediante Ley 163 de 1959 y Decretos 1584 del 11 de agosto de 1975 y 3124 del 10 de noviembre de 1983.)” (Negrillas y subrayas fuera del texto).

De igual forma, mediante comunicación 2013-210-002753-1 de fecha 25 de septiembre de 2013, el Instituto Distrital de Patrimonio Cultural, le informó a esta cartera ministerial que: “(...) una vez consultada la UPZ 94 Candelaria, y el Decreto 678 de 1994 (...) y los actos administrativos modificatorios del mismo, se verificó que el predio de la Cra 8 No. 6C - 38 de Bogotá DC, se encuentra declarado como ***Bien de Interés Cultural del Distrito Categoría B (Conservación Arquitectónica)***”.
Negrilla fuera de texto.

En lo correspondiente al tipo y características de la arquitectura de la edificación, se tiene que la edificación corresponde a una estructura conformada por un sótano, diez pisos y cubierta, la cual está diseñada para funcionar como edificio del sector laboral, con espacios habilitados para oficinas, esparcimiento social, funciones administrativas, entre otros.

A continuación, se presenta un breve resumen de la ocupación general de cada uno de los pisos de la edificación, no obstante, no se da mayor detalle por motivos de seguridad nacional.

- Piso Sótano “MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO”. Este nivel corresponde a un piso de uso exclusivo del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, alojando espacios de oficinas, archivos, cuartos de control de instalaciones y comedores. En este piso se encuentran los ingresos de las fachadas sur y occidental.
- Piso 1 “MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO”. Este nivel corresponde a un piso de uso exclusivo del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, alojando espacios de oficinas y auditorio. En este piso se encuentra el ingreso de la fachada oriental.
- Piso 2 “MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO”. Este nivel corresponde a un piso de uso exclusivo del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, alojando espacios de oficinas. En este piso se encuentra el primer retroceso de las fachadas del edificio que ocurre en las fachadas occidental, norte y sur.
- Piso 3 “MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO”. Este nivel corresponde a un piso de uso exclusivo del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, alojando espacios de oficinas.
- Piso 4 “DIAN”. Este nivel corresponde a un piso de uso exclusivo de la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales de Colombia / DIAN, alojando espacios de oficinas.
- Piso 5 “MINISTERIO DE HACIENDA Y DIAN”. Este nivel corresponde a un piso de uso compartido del Ministerio de Hacienda y Crédito Público y de la DIAN, alojando espacios de oficinas. En este piso se encuentra el segundo retroceso de las fachadas del edificio que se evidencia mediante unas terrazas localizadas en las esquinas sur y norte de las fachadas oriental y occidental.
- Piso 6 “DIAN”. Este nivel corresponde a un piso de uso exclusivo de la DIAN, alojando espacios de oficinas.

- Piso 7 “MINISTERIO DE HACIENDA”. Este nivel corresponde a un piso de uso exclusivo del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, alojando espacios de oficinas. En este piso se encuentra el tercer retroceso de las fachadas del edificio que se evidencia mediante unas terrazas localizadas en las fachadas sur y norte de la edificación.
- Piso 8 “MINISTERIO DE HACIENDA”. Este nivel corresponde a un piso de uso exclusivo del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, alojando espacios de oficinas. Este es el último piso útil de la edificación, toda vez que los pisos 9 y 10 son pisos de uso técnico y corresponden a una pequeña fracción de la planta del edificio.
- Piso 9 “MINISTERIO DE HACIENDA”. Este nivel corresponde a un piso de uso exclusivo del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, alojando espacios de almacenamiento liviano. Este piso corresponde a la proyección en planta de los puntos fijos, correspondiente a los ascensores y escalera principal.
- Piso 10 “MINISTERIO DE HACIENDA”. Este nivel corresponde a un piso de uso exclusivo del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, alojando el cuarto de máquinas de los ascensores principales, además, corresponde a la proyección en planta de los puntos fijos, correspondiente a los ascensores y escalera principal.

Por otra parte, el estilo arquitectónico del edificio San Agustín es Deco, con una geometría marcada por el movimiento en sus fachadas y en planta. En el anexo x se muestran los planos de las fachadas del edificio.

6.3.6 Descripción de la estructura. La edificación, corresponde a una estructura de diez pisos con cubierta, de uso principal oficinas y con sistema estructural de pórticos en concreto reforzado, presentando un diafragma rígido a nivel de entrepisos y de cubierta.

El sistema de cimentación está conformado por zapatas aisladas a una profundidad de 2.00 m medidos desde el nivel de piso fino de sótano, dichas zapatas no se encuentran conectadas entre sí, condición corroborada en los trabajos de campo realizados por consultoría.

Los entrepisos se encuentran constituidos por una losa aligerada en una dirección con vigas y viguetas de altura variable entre 0.30 y 0.70 m, con luces promedio de 6.0 m. El espesor de la loseta superior es de 10 cm. El aligeramiento fue retirado durante la construcción y se tienen viguetas con una separación aproximada de 2.0 m.

A nivel de cubierta se tienen vigas que configuran los pórticos en las dos direcciones principales, sobre las cuales descansan cerchas de madera que soportan la cubierta liviana en teja. Por encima del nivel de la cubierta se encuentran las plantas nueve y diez que resuelven el sobre recorrido de los ocho ascensores principales del edificio. Este nivel aloja el cuarto de máquinas de los ascensores principales. En el anexo E del presente informe, se adjuntan los planos estructurales de la edificación.

Por otro lado, el modelo estructural aplicado en el edificio San Agustín es como el que se muestra en la figura 12.

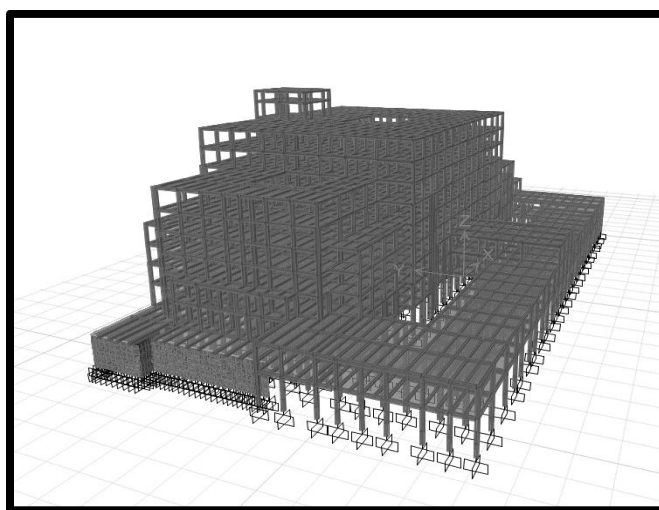


Figura 12. Modelo estructural en 3D.

El sistema estructural de la edificación corresponde a un sistema de pórticos de concreto resistente a momentos (DMO). Este es permitido por la NSR-10 (Tabla A.3-1) para zonas de amenaza sísmica intermedia, sin límite de altura.

Información de la estructura original. La calidad de la construcción de la estructura original y el estado de conservación de la estructura es buena. No se encontraron evidencias de deflexiones excesivas, ni patologías muy relevantes en los materiales estructurales. Tampoco se aprecian efectos de asentamientos diferenciales importantes que hayan afectado a la estructura. (NSR 10... A.10.2.2.1).

Calificación del sistema estructural. La concepción estructural de la edificación presenta una clara trayectoria de las cargas verticales y horizontales de los entrepisos hasta la

cimentación, distribución regular de masas, existencia de diafragma y gran redundancia estructural. (NSR 10 numeral A.10.2.2.2).

Calidad de diseño y construcción de la estructura (buena) $\phi_c=1.0$

Calidad del estado de la estructura (buena) $\phi_e=1.0$

6.3.7 Suelos y cimentaciones. La Sabana de Bogotá presenta las siguientes morfologías estructurales: 1) Franja plana con leve inclinación, formada por llanura cuaternaria de origen fluvioacuestre y depósitos de materiales transportados corriente fluvial y coluviales. 2) Franja de montaña formada por rocas arenosas, duras y resistentes a la erosión y arcillosas blandas, con edades del cretáceo superior al terciario superior.

De acuerdo con los diferentes estudios realizados a los suelos de Bogotá, geológicamente se han identificado cinco zonas, así:

- Roca o zona montañosa: areniscas duras resistentes a la erosión y arcillositas.
- Piedemonte o conos de deyección: materiales granulares gruesos con matriz arcillosa transportados y depositados en forma de cono o abanico.
- Suelos duros: arcillas pre-consolidadas con intercalaciones de arena y suelos arenosas de origen aluvial.
- Suelos blandos: arcillas blandas de alta compresibilidad y de origen lacustre.
- Ronda de ríos y humedales: cuerpos de agua (humedades, antiguos lagos y zonas de inundación).

Por otro parte, el suelo de la ciudad ha presentado evolución a través del transcurso del tiempo, en la cual se han presentado movimientos tectónicos desde hace aproximadamente 3.5 millones de años; por otro lado, la sedimentación depositada en los bordes de la cuenca se corrió hacia el centro de la misma en un ambiente lacustre fluvial. En el pleistoceno inferior, en el mismo ambiente, se desarrolla nuevamente la cuenca y se genera la formación de Subachoque.

Adicionalmente, se ha producido la colmatación y desecación de los lagos de la Sabana, depositándose en la zona arcillas de inundación dando origen a la llanura aluvial; este fenómeno data de hace 10.000 años. Por último, hace aproximadamente 3.000 años se presentaron

depósitos de sedimentos limosos correspondientes a las llanuras aluviales, lo cual dio origen a la formación de Chía.

Por otra parte, se encuentra la Falla de Bogotá que está bordeada por los cerros orientales, Monserrate y Guadalupe, hacia el páramo de Sumapaz al sur y al norte de Bogotá es probable que llegue más al nortefosilizada por los almacenamientos cuaternario, el salto va disminuyendo progresivamente desde Usaquén hasta Usme, va desapareciendo la evidencia de la falla con la formación en Cacho y Guaduas.

La zona en Bogotá donde se encuentra el edificio, es un extenso relleno sedimentario con origen lacustre, de la edad cuaternaria, rodeado por cerros conformados por arcillolitas, areniscas y conglomerados, con predominación de materiales granulares gruesos, también se encuentran suelos arcillosos de lata plasticidad, suelos arenosos de baja plasticidad y suelos arcillosos y arenosos. La parte plana denominada sabana, está formada por capas horizontales de arcilla y limo normalmente consolidados, arcillas duras de color verdosas, sedimentales en el fondo de las lagunas que llenaron los pliegues formados en el terciario.

Así mismo, el edificio San Agustín se encuentra ubicado en el piedemonte del cerro oriental donde hay arrastre de agua, con una condición particular por la pendiente de dos vías importantes la Carrera 8^{va} y la avenida 6^{ta} que lo circundan, confluyendo las aguas que se concentran en esa área del terreno.

En cuanto a las características del suelo que soporta el edificio, en el año 2017 se realizó un estudio geotécnico para verificar el estado y condiciones de este, en el que se realizaron cuatro sondeos y apiques a diferente profundidad y se obtuvieron los resultados relacionados a continuación:

La exploración del subsuelo se llevó a cabo mediante la ejecución de cinco sondeos a una profundidad máxima de 15.0 m. La distribución de los sondeos se muestra en la figura 13 y el resumen de exploración se presenta en la tabla 3. En los sondeos se efectuaron ensayos corridos de penetración estándar (SPT.) con equipo de perforación a percusión – rotación como se muestra en la figura 14, donde se sacaron muestras semi - alteradas para los respectivos ensayos de laboratorio.



Figura 13. Ubicación de los sondeos realizados en el área de estudio.

Tabla 3. Profundidad de sondeos.

Sondeo	Profundidad (m)	Ensayo de campo
Sondeo 1	12.70	SPT
Sondeo 2	15.00	SPT
Sondeo 3	6.00	SPT
Sondeo 4	6.00	SPT



Figura 14. Ejecución sondeo 1.

A continuación, se presenta la descripción del subsuelo a partir del nivel actual del terreno:

- a. **0.0 m –9.0/10.0 m.** Coluvial compuesto de una matriz arcillo-limosa, que superficialmente presenta el menor contenido de gravas y arenas y por lo tanto una menor consistencia. De consistencia entre media y compacta, con N del ensayo de penetración estándar entre 7 y 31 golpes/pie.
- b. **0.0 m –9.0/10.0 m.** Coluvial de matriz arcillo-limosa con una mayor presencia de gravas y por lo tanto un aumento de la densidad. De consistencia entre muy compacta, con N del ensayo de penetración estándar entre 41 y 60 golpes/pie. Se debe resaltar que en el sondeo uno se detectó rechazo y se hizo necesario rotar hasta alcanzar el empotramiento exigido por la NSR-10.

Se considera que el método de exploración fue adecuado, sin embargo, teniendo en cuenta la magnitud del proyecto, del cual el terreno asciende a un área de aproximadamente 6.900 M², los sondeos y apiques no fueron suficientes. Adicionalmente, en el área que presenta mayor afectación de acuerdo con las lesiones que presenta la edificación, en el costado sur occidente, se debieron haber realizado mínimo tres sondeos de acuerdo con el capítulo H, numeral H.3.1.1.

En los suelos reportados en el estudio geotécnico se encuentran tres tipos de suelos MH (limo de alta plasticidad), CL (arcilla de baja plasticidad), CH (arcilla de alta plasticidad), con límites líquidos que oscilan entre 40 y 60% lo que son indicativos de suelos de baja plasticidad con altos contenidos de caolinita e ílita.

Adicionalmente, se realizaron ensayos a las muestras de suelo de los sondeos para obtener el índice de consistencia e índice de liquidez de este a diferentes profundidades, encontrándose que el comportamiento del suelo en donde está apoyada la edificación, respecto a los parámetros antes mencionados, es el que se muestra en la tabla 4:

Tabla 4. Comportamiento del suelo.

SONDEO 1				
No. DE MUESTRA	PROF. (M)	INDICE DE LIQUIDEZ	CONSISTENCIA DEL SUELO	COMPORTAMIENTO DEL SUELO
3	3,8	0,141	Firme	El suelo se comportará como un plástico.
4	5,9	0,448	Medio Blanda	El suelo se comportará como un plástico.
6	8,65	1,294	Líquido	El suelo se comportará como un líquido muy viscoso al ser sometido a esfuerzo cortante, porque el contenido natural de humedad (Wn) es mayor al límite líquido (LL). Pueden ser extremadamente sensibles al colapso de la estructura del suelo.
7	9,0	0,165	Firme	El suelo se comportará como un plástico y tendrá poca o nula expansión.
SONDEO 2				
No. DE MUESTRA	PROF. (M)	INDICE DE LIQUIDEZ	CONSISTENCIA DEL SUELO	COMPORTAMIENTO DEL SUELO
3	4,2	0,18	Firme	El suelo se comportará como un plástico y tendrá poca o nula expansión.
5	7,2	0,569	Blanda	El suelo se comportará como un plástico.
6	8,75	1,451	Líquido	El suelo se comportará como un líquido muy viscoso al ser sometido a esfuerzo cortante, porque el contenido natural de humedad (Wn) es mayor al límite líquido (LL). Pueden ser extremadamente sensibles al colapso de la estructura del suelo.
9	13,1	-0,033	Semisólido	El suelo presentará fractura rígida al ser sometido a esfuerzo cortante, porque el contenido natural de humedad (Wn) es menor al límite plástico (LP). Estanto en estado sólido a semisólido.
SONDEO 3				
No. DE MUESTRA	PROF. (M)	INDICE DE LIQUIDEZ	CONSISTENCIA DEL SUELO	COMPORTAMIENTO DEL SUELO
2	2,6	0,357	Medio Blanda	El suelo se comportará como un plástico.
3	4,3	0,867	Muy Blanda	El suelo se comportará como un plástico y normalmente consolidado, su humedad natural (Wn) está cercana al límite líquido.
SONDEO 4				
No. DE MUESTRA	PROF. (M)	INDICE DE LIQUIDEZ	CONSISTENCIA DEL SUELO	COMPORTAMIENTO DEL SUELO
4	5,7	-0,39	Semisólido	El suelo presentará fractura rígida al ser sometido a esfuerzo cortante, porque el contenido natural de humedad (Wn) es menor al límite plástico (LP). Estanto en estado sólido a semisólido.

Es preciso anotar que, en suelos con contenido de agua o humedad natural alto, tales como los blandos y muy blandos, su resistencia al esfuerzo cortante es mínima, y los suelos con menor contenido de agua o humedad natural, consistencia rígida o firmes, presentan mayores resistencias. Por lo que los índices de consistencia y de liquidez, permiten identificar a qué profundidad se obtienen suelos resistentes o no.

El análisis de granulometría se realizó por el método del hidrómetro, debido a que en la zona de estudio se encontraron suelos como limos y arcillas de alta plasticidad, lo que impidió que se realizara mecánicamente.

Las compacidades de estos suelos tienen un alto contenido de humedad que oscila entre 25 al 51 %, por eso se consolidan en un periodo largo de tiempo, y con ángulo de fricción de arcillas o suelo finos de 0.5 y 0.10. La consolidación de este tipo de suelos muy finos, tienden con el tiempo a reducir su volumen.

La permeabilidad de los suelos como los limos y las arcillas contienen en su estructura un alto contenido de humedad, generando una permeabilidad lenta, debido a que el agua no se mueve tan rápidamente como un suelo granular. La relación de los valores resultantes de la permeabilidad del terreno, están dados por el tamaño del material encontrado, donde a menor tamaño del grano menor permeabilidad, en el caso específico del edificio San Agustín, el terreno es permeable hasta una profundidad aproximada de 5,8 mt en general, debido a la presencia de gravas, arenas y limos a diferentes niveles, lo cual es consistente con el suelo prevalente en la zona de ubicación geográfica de la edificación.

Dentro del cuadro análisis de resultado de los sondeos, según los rangos de profundidades seleccionados, se encontraron los tipos de materiales en el terreno, relacionados en la tabla 5:

Tabla 5. Tipos de suelo soporte de la edificación.

PROF (M)	TIPO DE SUELO
0 - 0,6	Limos sueltos de colores oscuros y/o rellenos
1,4 - 2,6	Limo arenoso y arcilloso consistentes (Sondeos 2, 3 y 4)
2,9 - 4,3	Limo arcilloso muy consistente y arcilla (Sondeos 1, 2 y 3)
5,7 - 5,9	Arcilla con gravas y arena de grano fino
7,2 - 8,75	Arcilla consistente y arcilla arenosa (Sondeos 1 y 2)

Basado en los resultados anteriormente relacionados, se concluye que el suelo encontrado en el Edificio San Agustín es un suelo con arcillas y limos de alta plasticidad y con contenidos de humedad que oscilan entre el 25 a 50 % de humedad natural, como el material encontrado es un suelo fino, el agua fluye muy lentamente por su baja permeabilidad.

Por otra parte, la consolidación del suelo que ocasionó reducción de su volumen, se presentó en años anteriores, sin embargo, después de 80 años de construido el edificio, se están presentando problemas de asentamiento, lo cual es generado por el tipo de suelo encontrado coadyuvado por la presencia de contenido alto de humedad, por encontrarse el edificio en el piedemonte de los cerros orientales donde hay arrastre de agua de escorrentías.

Capítulo 7

7. Estudio de Vulnerabilidad Sísmica

El sistema estructural de la edificación corresponde a un sistema de pórticos de concreto resistente a momentos (DMO). Este es permitido por la NSR-10 (Tabla A.3-3) para zonas de amenaza sísmica intermedia, sin límite de altura. La calidad del diseño, la construcción de la estructura original y el estado de conservación de la estructura es buena. La concepción estructural de la edificación presenta una clara trayectoria de las cargas verticales y horizontales de los entresijos hasta la cimentación, distribución regular de masas, existencia de diafragma y gran redundancia estructural. (NSR 10 Numeral A.10.2.2.1).

Estado de la estructura. No se encuentra evidencia de deflexiones excesivas, ni patologías relevantes en los elementos estructurales, se aprecian efectos de asentamientos diferenciales importantes en el costado Sur Occidental de la edificación, sin afectar considerablemente la estructura. En general, la estructura se encuentra en regular estado. (NSR 10 Numeral A.10.2.2.2). Con base en lo anteriormente expuesto, la calificación del sistema estructural es la siguiente:

- Calidad de diseño y construcción de la estructura (Buena)
- Calidad del estado de la estructura (Regular)

Aun cuando el edificio San Agustín fue construido en 1939 y declarado “*Bien de Interés Cultural del Distrito Categoría B (Conservación Arquitectónica)*”, se aplica el criterio establecido en el numeral A.10.4.2.1 “*Movimientos sísmicos para un nivel de seguridad equivalente al de una edificación nueva*”, lo anterior argumentado en que, en la ciudad de Bogotá, en donde se encuentra ubicado la edificación en estudio, cuenta con microzonificación, por lo tanto, se utilizan los movimientos sísmicos de diseño descritos en el capítulo A.2.2, así:

Movimientos sísmicos de diseño se definen en función de la aceleración pico efectiva A_a , y de la velocidad pico efectiva A_v , para una probabilidad del diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años (A.2.2.1).

El edificio ubicado en la ciudad de Bogotá se encuentra en zona de amenaza sísmica intermedia y en la región tres, de conformidad con las figuras A.2.3-1 y A.2.3-2 respectivamente, por lo tanto, el valor de los coeficientes $A_a = 0.15$ y $A_v = 0.20$ (Tabla A.2.3-2).

Clasificación del sistema estructural: El sistema estructural del edificio es el de pórtico (A.3.2.1.3): sistema estructural compuesto por un pórtico espacial resistente a momentos sin diagonales (Tabla A.3.-3).

Configuración estructural: para pórticos resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) y en zona de amenaza sísmica intermedia (ciudad de Bogotá), aplican los datos de R_o – Capacidad de disipación de energía básico = 5 y P_o - Sobrerresistencia = 3 (Tabla A.3-3), además la altura máxima es sin límite y tiene uso permitido.

Se realiza el análisis elástico de la estructura y de su cimentación para las solicitaciones equivalentes, además se realizó el análisis dinámico de la estructura el cual se efectuó con el método de análisis modal espectral, dando uso a las herramientas computacionales existentes como lo es el software ETABS (Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems) desarrollado por la compañía Computers and Structures y Excel de la compañía Microsoft programas versátiles más utilizados a nivel mundial para la modelación de elementos estructurales con diferentes propiedades y características.

Se utilizaron las cargas ya analizadas en los numerales anteriores y se emplearon las combinaciones de carga expuestas en la NSR-10 título B.2.4.2., mediante el cual se pudo concluir que el edificio se comporta como una estructura rígida con un periodo fundamental de 1.246 segundos, valor que coincide con la altura y el número de pisos. Así mismo, que la cortante máxima basal del edificio presenta valores bastante altos que están en el orden de 14.000 kN (1400 Tonf) para ambos sentidos de análisis del sismo, fuerzas que afectan de forma negativa a todos los elementos de la estructura.

Por otra parte, las máximas aceleraciones de piso tienen valores de hasta $6,1 \text{ m/s}^2$ en los sentidos principales en los que se analiza el sismo, valores encontrados en la cubierta del último piso de la edificación, siendo así un dato consistente con las condiciones estructurales presentes en el proyecto. Adicionalmente, se observa que el índice de flexibilidad más crítico de la

estructura es de 17.25 lo que indica que la estructura es muy susceptible a tener desplazamientos en el sentido del eje X y Y, debido a la poca rigidez que aportan los pórticos en ambas direcciones según los parámetros de la norma sismo resistente NSR-10.

En cuanto a los índices de sobreesfuerzo para momento negativo en vigas, tienen valores mayores a uno en el 40% de los elementos, esto se debe principalmente a las secciones que no poseen suficiente sección, refuerzo o zonas de confinamiento que le permitan soportar las cargas provenientes de la cubierta, muerta, viva y granizo que se deben considerar según la normativa vigente, teniendo en cuenta que el grupo de uso de la estructura es gubernamental. Así mismo, los índices de sobreesfuerzo en columnas después de hacer la modelación matemática del estado actual de la estructura, demuestra que solo el 21% de las columnas presentan un índice de sobreesfuerzo menor a uno. Se deben tomar las acciones de reforzamientos necesarias para que los índices de sobreesfuerzo mejoren en las columnas de la edificación y esta obtenga una mayor rigidez para poder afrontar de mejor manera un evento de sismo.

Por último, la resistencia de la estructura existente se encuentra en 16.50 mpa, resultado que arrojó después de hacer el análisis de cada uno de los elementos de la estructura, lo anterior debido a que en el año 1939 fecha de construcción del edificio, no se contaba con norma sismo resistente, sin embargo, con este resultado no se está cumpliendo con los requerimientos de resistencia establecidos en la NSR-10 que es la norma vigente en Colombia, por lo tanto, el Edificio San Agustín presenta una estructura vulnerable sísmicamente.

Capítulo 8

8. Diagnóstico

El edificio San Agustín está presentando problemas de asentamiento diferencial, que ha afectado la estructura, los muros y los acabados de la construcción, haciéndose evidente en la inclinación del edificio y en las grietas y fisuras presentadas en columnas, placas de entepiso y escaleras del sótano y primer y segundo nivel, lo cual es producto de lo anteriormente mencionado, a la antigüedad de construcción del edificio San Agustín (construido en 1939) y a los cambios que ha sufrido el suelo en su morfología a través de los 80 años transcurridos desde la construcción del edificio en estudio.

El área donde se encuentran el mayor número de las lesiones es de 7200 M², ubicados en primer, segundo piso y sótano, estas se presentan en muros internos y sobre fachadas interna que dan sobre un patio al interior de la construcción, lo anterior en lo que se refiere a la estructura y elementos de cerramiento. En cuanto a los acabados en general de estos tres niveles, se encuentran en un alto nivel de deterioro, por su antigüedad y por las humedades que se detectan en los muros internos y fachadas. Las lesiones son visibles y de fácil acceso, sin embargo, hay zonas restringidas, las cuales no se han podido verificar, espacios cerrados del sótano. Se resaltan los siguientes tipos de lesiones:

Mecánicas. Son las más frecuentes en la edificación, presentadas en:

- **Grietas y fisuras**, en muros internos, claramente definidas, se presentan por dilatación y Contracción, debido a los movimientos estructurales que tiene la edificación. Se presentan en varios elementos, estructurales - vigas, y de cerramiento - muros y en diferentes tipos de acabados.
- **Desprendimientos**, se presentan en acabados de fachada – piedra, en pisos, pañetes.

Físicas. Las más visibles, están marcadas por:

- **Humedades**, dadas por filtraciones debido a las fisuras que se presenta en los muros de fachadas, tanto internas con del exterior.

- **Capilaridad**, encontradas en los bordes inferiores de los zócalos de piso en los patios, donde hay pequeños hundimientos en los acabados de piso.

Biológicas. Presentadas específicamente en las fachadas del edificio, con mayor frecuencia en el costado Oriental de la construcción, frente a la peatonal.

- **Organismos animales**, específicamente dada por los excrementos de las aves, que se posan en las partes superiores del edificio y en algunos espacios se deduce que han habitado roedores debido a los rastros dejados por excremento y los daños causados al cableado eléctrico.
- **Organismos vegetales**, en espacios internos, los cuales se encuentran al contacto del agua – patios, se encuentran hongos (moho), especialmente en las partes inferiores de los muros.

Químicas. Son poco frecuentes, sin embargo, las hay en algunos sitios de las fachadas exteriores, el impacto del medio ambiente, en su entorno agresivo, posiblemente contribuye a estas lesiones, debido a la ubicación del edificio en pleno centro de Bogotá.

- **Eflorescencias**, Coloración en partes de la fachada.

La principal causa de las lesiones mecánicas son los asentamientos que presenta la edificación, los cuales ocasionan fisuras, grietas y desprendimientos de elementos de acabados y muros, adicionalmente la compresión ejercida a la edificación por dicho asentamiento, se presenta una distorsión de la configuración geométrica de los elementos estructurales con la mampostería, así mismo, las fisuras verticales muestran el impacto que están teniendo los elementos rígidos de la edificación, que es donde hay mayor afectación, además, se registran fisuras en varias vigas y pilares en espacios más cercanos a la esquina de la edificación en donde se presenta el asentamiento.

De igual forma, existen fisuras y grietas que se presentan por la tracción que ocurre cuando uno de los elementos, el que más se asienta, se lleva el conjunto constructivo, ladrillos y mortero de pega, hacia el extremo en el cual ocurre el movimiento descendente, por ser estos elementos los más débiles del sistema constructivo.

Las lesiones de origen químico, están dadas por las filtraciones de agua que se presentan por las fisuras causadas por los asentamientos diferenciales que está teniendo el inmueble, especialmente en el costado sur occidental, adicionalmente la edad de la construcción requiere de mantenimientos especiales, los cuales se han dejado de realizar como es debido, causando en algunos sitios humedades marcadas por las manchas al interior de los muros.

En el terreno del edificio San Agustín, se presentan deformaciones, las cuales al parecer no son constantes por presentarse en un área específica del lote, lo anterior se asocia a los cambios del suelo que se han dado a través del tiempo, ya que han transcurrido 80 años desde su construcción, además, a las transformaciones en el urbanismo circundante, como movimientos de tierra generados por la construcción de la avenida sexta en el año 2003.

Adicionalmente, la ubicación del edificio en el piedemonte del cerro oriental donde que presenta una condición particular por la pendiente de dos vías importantes que lo circundan en donde confluyen las aguas que se concentran en esa área del terreno, es la principal causa geotécnica que genera el asentamiento diferencial que presenta el inmueble, afectando tanto la estructura, como los muros y acabados de la construcción, con la formación de fisuras y grietas en los pisos bajos: sótano, primer y segundo piso. Así mismo, el soporte del edificio al tener suelos cohesivos blandos y saturados, el fallo por hundimiento que presenta es más frecuente por el agotamiento del suelo con relación a su capacidad portante, debido a que el agua es un agente físico que impacta el terreno desencadenando consecuencias que afectan la construcción.

Debido a que el edificio San Agustín hace parte de un gran número de construcciones antiguas ubicadas en el centro de Bogotá en una zona sísmica especial, con una composición arquitectónica irregular, es una de las estructuras que debe ser revisada para demandas sísmicas mayores a las utilizadas en su diseño original.

Capítulo 9

9. Propuesta de Intervención

El Edificio San Agustín ubicado en el centro de Bogotá, es una edificación que aloja la sede del Ministerio de Hacienda y la DIAN la representa un periodo de la historia urbana de la ciudad de Bogotá. Debido a su antigüedad, es una estructura que no fue concebida en su momento con los parámetros apropiados y necesarios para evitar daños estructurales en el futuro, por las lesiones evidenciadas en la misma y frente a la probabilidad de falla ante un evento sísmico.

Después de analizar los resultados del estudio geotécnico y de la revisión del plano de cimentaciones, una de las propuestas de solución es la intervención mediante pilotes cilíndricos de concreto reforzado hincados a partir de la losa de contra piso. En cuanto a los resultados arrojados en el análisis de vulnerabilidad sísmica de la estructura, la solución viable técnica y económicamente para el reforzamiento de la estructura, es la intervención mediante la modificación de su base con la implantación de aisladores sísmicos con el fin de no demoler el edificio y lograr la conservación de este monumento cultural de la ciudad de Bogotá.

Se propone la instalación de aisladores sísmicos con centro de plomo como la alternativa de solución más viable, porque es una técnica poco invasiva que mantiene una rigidez inicial y un amortiguamiento que llega hasta el 30%. El otro tipo de reforzamiento consistiría en el recalce incrementando el área de las columnas, pero este no es viable debido a que en varios pisos del edificio se han hecho remodelaciones y por consiguiente se tendría que intervenir desde el nivel del sótano hasta el piso diez. Además, se deberán proyectar una red de drenajes superficiales con el objeto de recoger y conducir todas las aguas de escorrentía por fuera de los límites del proyecto para evitar el acceso de las aguas lluvias a los suelos de fundación.

Es importante mencionar que la intervención mediante aisladores sísmicos en la base, es una nueva técnica de reforzamiento que es implementada en la actualidad en estructuras existentes y en construcciones nuevas, es un método de reforzamiento utilizado en el mundo en especial en países como Japón, Estados Unidos, México y Chile; el objetivo de esta propuesta para superestructuras como lo es el Edificio San Agustín, es mantener la estructura de interés cultural y poder hacer el reforzamiento en la base sin afectar la fachada, en este análisis se pudo observar que el costo de la obra es alto debido a la dimensión del proyecto, ya que la instalación de los

aisladores y el mantenimiento de los mismos debe ser continuo, sin embargo, dicho costo es despreciable frente al valor que ostenta el edificio San Agustín por ser declarado “*bien de interés cultural*” y además, por la relevancia que presenta en la actualidad por su uso gubernamental donde se gestiona y proyecta la economía macroeconómica de nuestro país.

La propuesta de intervención mediante aisladores sísmicos en la base para la estabilización de la cimentación juntamente con el suelo donde se encuentra el edificio San Agustín, se muestra en la figura 15:

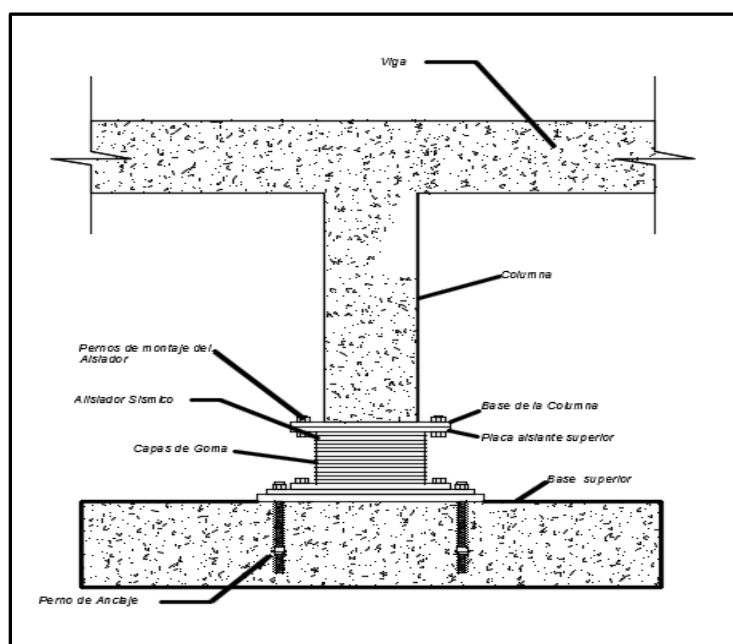


Figura 15. Propuesta de intervención.

Dichos aisladores, deben ser instalados en puntos de la estructura donde puedan ser inspeccionados y donde se pueda hacer mantenimiento en caso de dicho requerimiento. Para ello es necesario iniciar con la intervención de aproximadamente 30 columnas en la zona sur-occidental del edificio San Agustín dado que “*El monitoreo topográfico de asentamientos de la edificación reporta asentamientos diferenciales del orden de 5 mm durante las seis semanas del monitoreo en las zonas cercanas al patio interior sur occidental de la edificación*”.

Para ejecutar la intervención es necesario implementar un sistema de apuntalamiento estructural que sea ajustable de forma que soporte el peso de la estructura, la zona a intervenir debe estar aislada para iniciar los trabajos de reforzamiento, a su vez el primer nivel debe ser

desalojado por cuestiones de seguridad. Una vez ejecutado los apuntalamientos en las zonas aledañas a las columnas intervenidas, se procede a su demolición según sean las indicaciones dada por el ingeniero calculista.

Previo a la instalación del aislador se debe inspeccionar visualmente la superficie en donde se va a disponer la estructura de fijación, de tal forma que esté perfectamente plana y limpia, en cuanto al aislador se debe verificar su limpieza, en especial las caras superior e inferior, dado que esto influye directamente en la correcta unión del aislador con la estructura, de forma tal que se disipen los esfuerzos sísmicos que puedan presentarse.

La instalación de la estructura de fijación en la superficie debe tener una precisión milimétrica en el elemento estructural, para ello es necesario contar con los elementos de fijación apropiados, los cuales constan de plantillas metálicas, soporte de moldaje y pernos de unión como se aprecia en la figura 16:

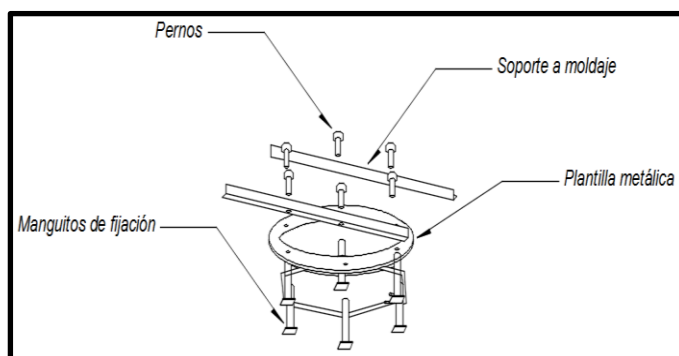


Figura 16. Elementos de la estructura del aislador.

Así mismo, debe comprobarse la cantidad de pernos, verificando que no presenten corrosión. En la estructura de fijación, hay que inspeccionar el estado del hilo interior (comprobando que no existan elementos extraños en su interior, asegurando que el perno pueda completar su recorrido completo antes de instalar en la armadura). En el exterior la presencia de corrosión no afecta significativamente la instalación. Para garantizar la nivelación perfecta de la estructura de fijación se debe garantizar que la plantilla metálica de soporte esté perfectamente horizontal con ayuda de un nivel de burbuja de alta precisión, dado que irá unida a la tapa inferior del aislador. Es recomendable que la plantilla sea metálica y de un espesor mínimo de 12 mm, manteniendo su forma hasta la instalación del último aislador.

Para el soporte de moldaje se emplea un perfil metálico de un espesor que oscile entre 6 a 8 mm, de esta forma se previene la flexión al sostener el conjunto plantilla - estructura de fijación con los respectivos pernos. Posteriormente, se instala el moldaje respectivo al nivel inferior del aislador (con las tolerancias estimadas por el ingeniero calculista de la obra). Una vez instalado y fijado el moldaje, se ensambla el conjunto garantizando siempre el nivel requerido por el uso de los pernos incorporados para tales efectos, como se muestra en la figura 17.

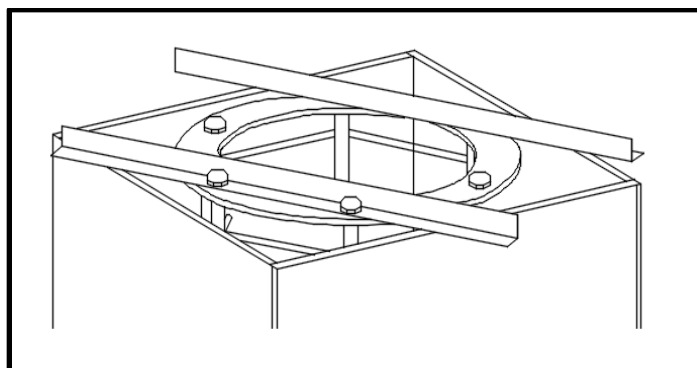


Figura 17. Ensamble del soporte de modelaje.

Una vez completada la etapa de ubicación se continúa con el vaciado del concreto, procurando dejar una zona sin concreto en la superficie, de tal forma que se exponga la estructura de fijación, se recomienda que dicho espacio esté entre 20 a 30 mm como se muestra en las figuras posteriores. Este espacio será ocupado posteriormente por el grout (mortero autonivelante). El procedimiento mencionado se muestra en las figuras 18 y 19.

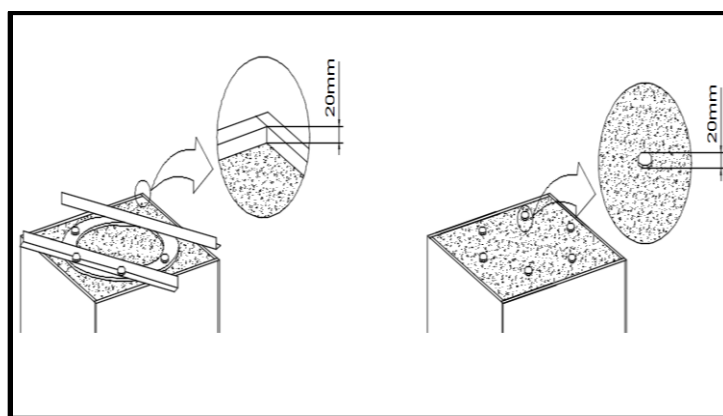


Figura 18. Vaciado del concreto en el soporte del modelaje.



Figura 19. Vaciado del concreto en el soporte del moldaje en obra.

Una vez fraguado el concreto según sea su especificación, se satura de agua la superficie previa a la colocación del grout, de esta manera se evita que el hormigón absorba agua del mismo. Se recomienda utilizar grout que no tenga contracción, en consistencia líquida; la preparación y aplicación debe regirse de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Además de lo anterior, debe evitarse la presencia de bolsones de aire, así como también aislar de vibraciones cercanas el punto de colocación del grout; su aplicación se muestra en la figura 20.

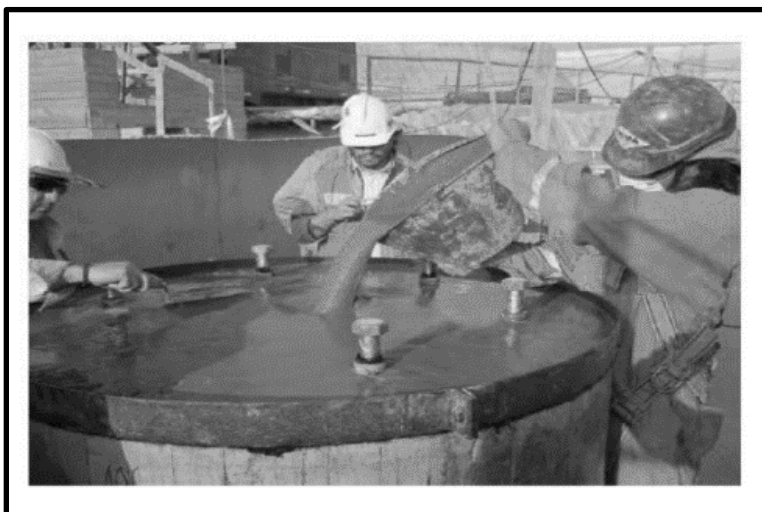


Figura 20. Aplicación del grout en obra.

El grout debe estar completamente nivelado, es decir, al mismo nivel de los extremos de la estructura de fijación como se muestra en la figura 21:

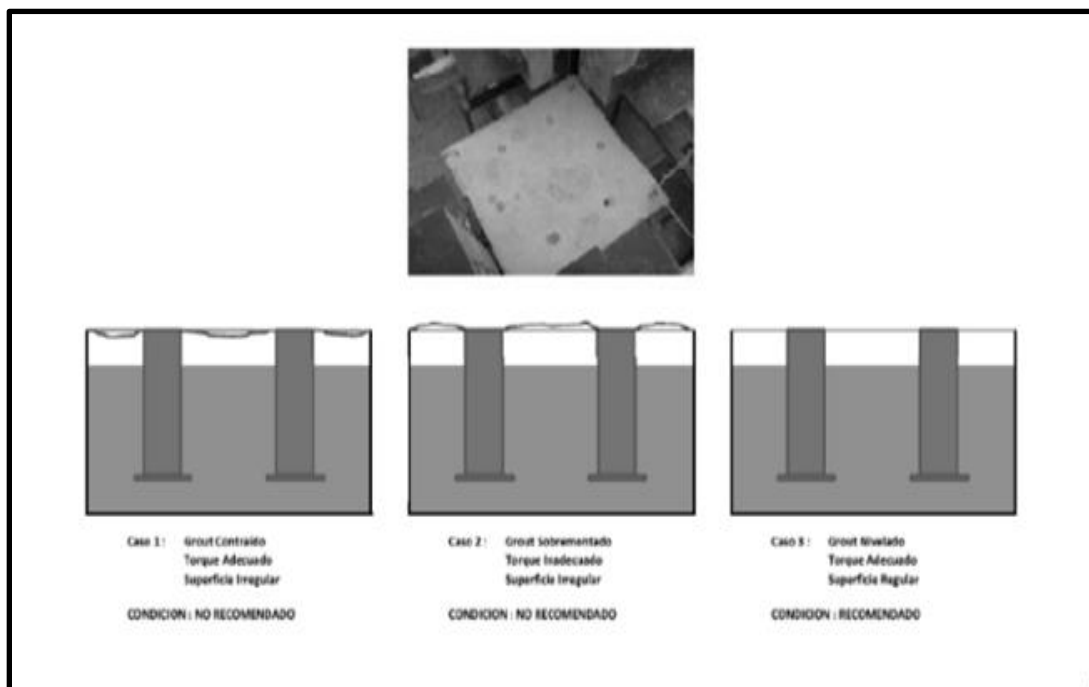


Figura 21. Nivelación del grout.

Para iniciar la operación de instalación del aislador sobre el capitel se debe esperar como mínimo 24 horas de fraguado en el grout, teniendo en cuenta que dichos tiempos varían según sea el fabricante. Previo al montaje del aislador, se deben efectuar los siguientes chequeos:

- ✓ Limpiar el pilar de restos de concreto y de cualquier elemento que evite el perfecto contacto del Aislador con la estructura de fijación.
- ✓ Aplicar sobre las tapas superior e inferior un desmoldante, o en su defecto algún tipo de grasa, de modo que se evite la adherencia del hormigón al aislador, dado que esto dificulta una futura renovación del mismo.
- ✓ Incorporar grasa del tipo anti agrupante en el interior de la estructura, para luego instalar y fijar el aislador con los pernos como se aprecia en las figuras 22 y 23.

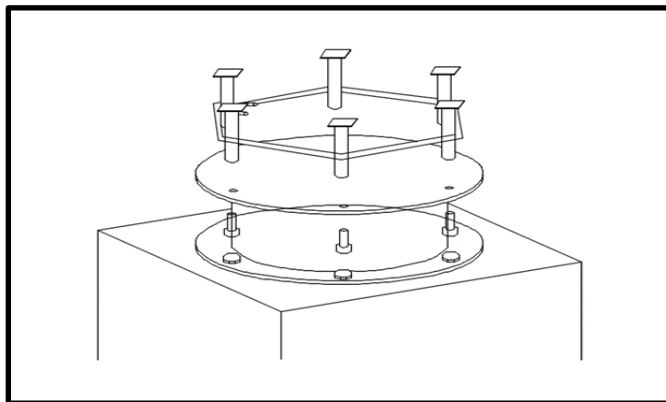


Figura 22. Elementos necesarios para el ensamblaje del aislador.

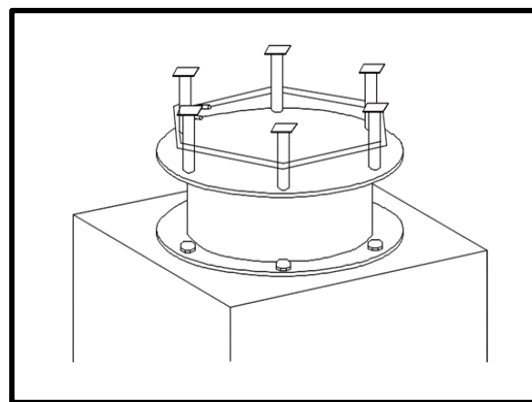


Figura 23. Fijación del aislador.

- ✓ Una vez ensamblado en la zona inferior se procede a montar la estructura de fijación de la tapa superior, aplicando grasa antiagrupante antes de la fijación, ajustándose los pernos de forma que se garantice la perpendicularidad con la tapa superior. Para los aisladores sin núcleo de plomo, este debe estar sellado para evitar la entrada de concreto en su interior; para esto es recomendable utilizar una tapa de madera de espesor mínimo de 12 mm, así cubrirá totalmente el orificio que se fijará con de silicona a la tapa superior. Adicionalmente, puede llenarse esta cavidad con espuma de poliuretano ó poliestireno expandido.
- ✓ Una vez finalizada esta instalación se completan las enfierraduras de acuerdo con el diseño estructural y se ubica el moldaje perimetral del capitel superior, teniendo en cuenta que el nivel interior del moldaje debe estar a 5 mm sobre la placa superior del aislador.
- ✓ Finalmente se recomienda limpiar internamente el moldaje para proceder al vaciado del concreto en el capitel superior. El torque final no podrá realizarse antes de 7 días, con el valor correspondiente al diámetro del perno, calidad o grado, siendo parcializado y alternado, teniendo en cuenta que el valor de torque lubricado dado que el perno está engrasado.

El procedimiento del ensamblaje del aislador en las columnas de una edificación se muestra en las figuras 24 y 25.

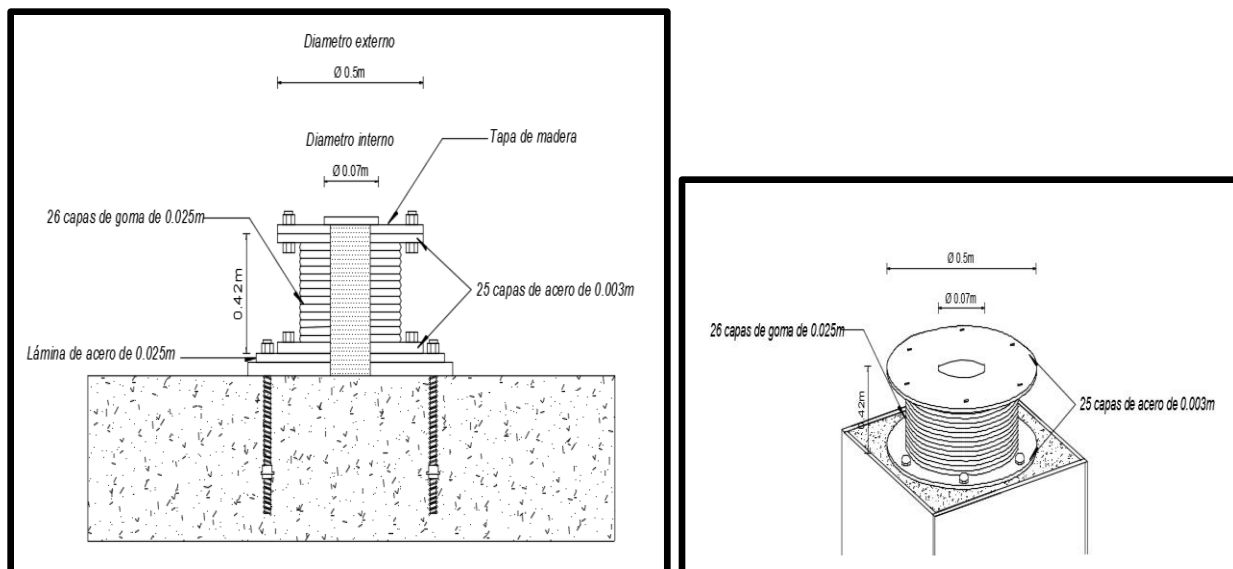


Figura 24. Ensamble de aislador.

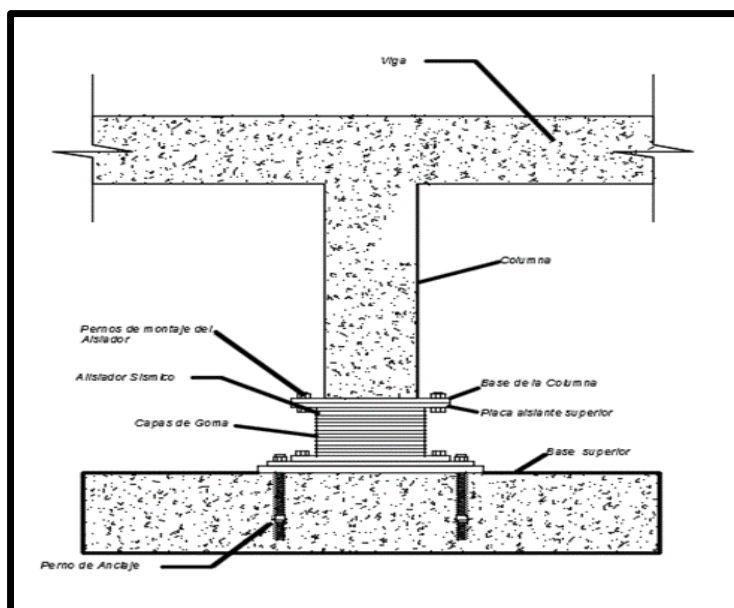


Figura 25. Instalación del aislador en las columnas.

En la movilización de los aisladores desde la caja de fábrica o el vehículo de transporte se recomienda el uso de los elementos adecuados para el izaje de cargas pesadas como se ve en la figura posterior, contando con cárcamos cerrados y cadenas que soporten el peso del aislador, como se muestra en la figura 26.



Figura 26. Izaje de los aisladores.

De tener espacio en el cajón, instalar protección a la superficie de goma del aislador (figura 27), para evitar cortes en la superficie o daños mayores que tendrían que ser reparadas en la fábrica generando retrasos en la obra; en algunos casos el fabricante puede hacer las reparaciones que haya lugar en el sitio, dichas operaciones se hacen en frío, de esta forma se conservan las propiedades físicas y químicas del aislador.



Figura 27. Protección de la goma del aislador.

Por otra parte, se propone la recuperación de elementos que presentan grietas, mediante el reemplazo de los mismos, como muros y elementos estructurales, posiblemente con refuerzo estructural de columnas y vigas.

En cuanto a las humedades que se presentan se deben atender puntualmente con los productos y procesos correspondientes al tipo de afectación que se identifican.

Capítulo 10

10. Presupuesto

El presupuesto de este proyecto tiene por objeto determinar el costo de las actividades para el reforzamiento estructural del Edificio San Agustín. Para realizarlo, se conformaron dos fases, en la primera se realizó el presupuesto por unidad de columna debido a la magnitud del sistema estructural del edificio, ya que cuenta con 322 columnas. En la segunda fase, se contempló un presupuesto general en donde se incluye el costo para el reforzamiento de la totalidad de las columnas existentes y se adiciona el costo para la intervención de las lesiones evidenciadas en la zona sur-occidental del edificio, área definida en el presente estudio patológico, entre las cuales se encuentran fisuras, grietas y humedades.

La estimación de los valores unitarios de las actividades contempladas en el presupuesto está basada en precios actuales del mercado con su respectiva cantidad de obra, con el fin de obtener un costo real del proyecto y de estudiar su factibilidad.

El propósito al intervenir edificaciones catalogadas como bienes de “*Interés Cultural del Distrito Categoría B (Conservación Arquitectónica)*”, tal es el caso del edificio San Agustín, es mantener la estructura sin afectar la fachada, por lo tanto, es requerido realizar el reforzamiento en la cimentación de este. La propuesta de intervención escogida utilizando aisladores sísmicos colocados en la base, es una alternativa efectiva en estructuras existentes.

En el análisis detallado del presupuesto, se observó que el costo para la intervención del edificio es bastante alto por el tamaño del proyecto, especialmente en lo correspondiente a su sistema estructural, adicionalmente, la instalación de los aisladores y el mantenimiento de los mismos deben ser continuos, lo cual incrementa el precio de la intervención; sin embargo, el costo referido, podría ser despreciable al ser comparado con la importancia del edificio San Agustín, por ser ocupado por un ente gubernamental como es el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, en donde se gestiona y proyecta la economía macroeconómica de nuestro país, aunado a un factor preponderante al ser declarado este edificio como un bien de interés cultural.

Por otra parte, para la ejecución de la obra consistente en la intervención para el reforzamiento estructural del edificio San Agustín, se requiere de capital para financiarla, el presupuesto elaborado para esta obra, es un plan de avance que permite estudiar el

financiamiento para realizar el mencionado reforzamiento. La mencionada obra es de carácter indispensable, por lo tanto, el costo de la misma, contenida en el presupuesto relacionado en el presente estudio patológico, debe ser estudiado y posteriormente aprobado en el Plan Nacional de Desarrollo en el rubro de proyectos de inversión.

PRESUPUESTO POR UNIDAD DE COLUMNA					
1. PRE LIMINARES					
Item	Capitulo	Und	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1.1	Campamento	UND	0,022	\$2.400.000	\$52.800
1.2	Cerramiento del perímetro de la obra H=2.0	M2	18	\$8.500	\$153.000
1.3	Localización y replanteo	M2	9	\$7.448	\$67.036
TOTAL PRELIMINARES					\$272.836
2. DESMONTES, DEMOLICIONES Y EXCAVACIONES					
Item	Capitulo	Und	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
2.1	Desmote y retiro de cielo raso	M2	9	\$38.000	\$342.000
2.2	Demolición acabado de pisos (Incluye trasiego y retiro)	M2	2,4	\$13.357	\$32.057
2.3	Demolición de losa contra piso (Incluye trasiego y retiro)	M2	2,4	\$49.110	\$117.864
2.4	Demolición losa macizas (Incluye trasiego y retiro)	M2	2,4	\$95.459	\$229.101
2.5	Demolición columna (Incluye trasiego y retiro)	M3	0,928	\$172.056	\$159.668
2.6	Demolición de acabado de piso	M2	7	\$55.000	\$385.000
2.7	Excavación manual	M3	6,00	\$82.000	\$492.000
2.8	Relleno en material seleccionado	M3	2,20	\$120.283	\$264.623
TOTAL DEMOLICIONES Y EXCAVACIONES					\$1.415.690
3. ESTRUCTURAS EN CONCRETO					
Item	Capitulo	Und	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
3,1	Pedestal en concreto de 28 Mpa	M3	1,00	\$834.902	\$834.902
3.2	Columnas en concreto de 28 Mpa	M3	1,9	\$834.902	\$1.586.315
3.3	Losa contra piso en concreto de 21 Mpa	M3	2,4	\$625.817	\$1.501.960
3.4	Losa macizas en concreto de 21 Mpa	M3	2,4	\$625.817	\$1.501.960
3.5	Grouting Fluido	M3	0,2	\$578.502	\$115.700
3.6	Refuerzo hierro de 60000 fc	Ton	0,56	\$3.450.899	\$1.932.503
3.7	Puntales estructurales	mes	26	\$65.000	\$1.690.000
TOTAL ESTRUCTURAS EN CONCRETO					\$9.163.341

4. AISLADORES SISMICOS					
Item	Capítulo	Und	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
4.1	Aisladores sísmicos LBR	UND	1,0	\$42.000.350	\$42.000.350
4.2	Placa de Anclaje	UND	2,0	\$1.250.000	\$2.500.000,0
4.3	Montaje (Incluye equipo hidraulico de elevación)	UND	1,0	\$75.000.000	\$75.000.000,0
TOTAL AISLADORES SISMICOS					\$119.500.350
5. PISOS					
Item	Capítulo	Und	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
5.1	Alistado para piso en mortero 1:4 e=0,04	M2	9	\$19.000	\$171.000
5.2	Suministro e instalacion de baldosa ceramica	M2	9	\$51.000	\$459.000
TOTAL PISOS					
6. ACABADOS					
Item	Capítulo	Und	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
6.1	Pañete Mortero 1:4 e=0.02	M2	9,12	\$19.000	\$173.280
6.2	Filos y dilataciones	M1	11,4	\$7.500	\$85.500
6.3	Estuco y tres (3) manos de pintura en vinilo tipo 1 sobre pañete	M2	9,12	\$21.000	\$191.520
6.4	Suministro e Instalación de cielo raso descolgado fibra mineral liso (61x61)	M2	9	\$85.000	\$765.000
TOTAL ACABADOS					\$1.215.300
VALOR COSTOS DIRECTO POR UNIDAD DE COLUMNA					\$128.663.691

PRESUPUESTO GENERAL DE OBRA					
1. COSTO UNIDAD DE COLUMNA					
ITEM	CAPITULO	UND	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1.1	Costo de unidad de columna incluyendo aislador sismico LRB, demoliciones, trasego de escombros, estructuras de concreto, refuerzo, acabados	UND	322	\$128.663.691	\$41.429.708.608
TOTAL COSTO DIRECTO					\$41.429.708.608
2. REHABILITACION ÁREA A INTERVENIR					
Item	Capítulo	Und	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
2.1	Preparación superficies de concreto	M2	3500	\$185.000	\$647.500.000
2.2	Refuerzo vigas de concreto con aplicación fibras de carbono	M2	140	\$450.000	\$63.000.000
2.3	Resanes de concretos	M2	200	\$450.000	\$90.000.000
2.4	Inyección grietas y fisuras	Kg	160	\$550.000	\$88.000.000
					\$0
TOTAL					\$888.500.000
VALOR COSTOS INDIRECTOS A.I.U					
	ADMINISTRACION	17%			\$7.043.050.463
	UTILIDAD	8%			\$3.314.376.689
	IMPREVISTOS	8%			\$3.314.376.689
VALOR IVA 19 % SOBRE LA UTILIDAD					\$629.731.571
VALOR TOTAL					\$57.508.244.019

Capítulo 11

11. Programación de Obra

El proyecto para la intervención del edificio San Agustín consistente en el reforzamiento estructural con aisladores sísmicos y reparación de las lesiones existentes, requiere la elaboración de una programación de obra, en la cual se plasma el procedimiento durante la ejecución de cada una de las actividades que conforman la obra, adicionalmente, la programación va a determinar el tiempo de duración de cada actividad y de ejecución que abarca la obra.

En ciertos proyectos de construcción se requieren materiales o equipos poco comerciales, como es el caso especial para el reforzamiento del Edificio San Agustín, que requiere aisladores sísmicos en la base, por lo tanto, deben ser pedidos con anticipación a la empresa fabricante, previo a un diseño especial del aislador, así mismo, tener en cuenta que en ocasiones se requiere que sean sometidos a pruebas de calidad antes de ser utilizados. Los factores antes mencionados, requieren lapsos de tiempo que deben incluirse dentro de la programación para la ejecución de la obra.

Por otra parte, los aisladores generalmente son fabricados por empresas que se encuentran fuera del país, por lo que dentro del presupuesto se tiene que contemplar los costos de transporte, y en la programación, se tiene que calcular y estimar el tiempo de traslado y los posibles retrasos si no se cuenta con una adecuada planeación de entrega por parte del fabricante.

En la programación, se observa la duración estimada de cada actividad, el tiempo de inicio y terminación, en el que se evidencia que la actividad con mayor duración es la de apuntalamiento de la estructura, actividad relevante y compleja debido a que se requiere realizar cortes en las columnas de la estructura a nivel de sótano, para ensamblar el aislador y ser fijado en un pedestal de concreto según diseño y especificaciones del ingeniero estructural.

Así mismo, se requiere especial cuidado en las actividades que continúan después del apuntalamiento realizado mediante la utilización de gato hidráulico, las cuales consisten en una serie de demoliciones que deben ser trabajadas con personal experto e idóneo para evitar imprevistos en la obra.

La programación para la ejecución de la obra se realizó considerando la intervención por unidad de columna, como el proyecto tiene una cantidad de 322 columnas, se determina la utilización de cinco frentes o cuadrillas de trabajo al mismo tiempo, con la finalidad de realizar el reforzamiento estructural en un tiempo estimado de tres años. Una condición indispensable para la ejecución de la obra, es procurar que el edificio se encuentre desocupado para evitar cargas vivas sobre la estructura en el momento de hacer el ensamblaje del aislador.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES POR UNIDAD DE COLUMNA																																																																							
ACTIVIDADES	MES 1							MES 2							MES 3																																																								
	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4																																																
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7															
I. PRE LIMINARES																																																																							
1.1	Campamento																																																																						
1.2	Cerramiento del perímetro de la obra H=2.0																																																																						
1.3	Localización y replanteo																																																																						
2. DESMONTES, DEMOLICIONES Y EXCAVACIONES																																																																							
2.1	Desmónte y retiro de cielo raso fibrocemento/ycopor (Incluye periferia en aluminio y retiro de escombros)																																																																						
2.2	Demolición baldosa de pisos (Incluye trasiego y retiro)																																																																						
2.3	Demolición de losa contra piso (Incluye trasiego y retiro)																																																																						
2.4	Demolición losa macizas (Incluye trasiego y retiro)																																																																						
2.5	Demolición columna (Incluye trasiego y retiro)																																																																						
2.6	Demolición de acabado de piso																																																																						
2.7	Excavación manual (Incluye cargue, retiro de material excavado)																																																																						
2.8	Recebo común (Extendido y compactado)																																																																						
3. ESTRUCTURAS EN CONCRETO																																																																							
3.1	Pedestal en concreto de 28 Mpa (No incluye refuerzo) Según diseño																																																																						
3.2	Columnas en concreto de 28 Mpa (No incluye refuerzo) Según diseño																																																																						
3.3	Concreto ciclopeo cimientos(40% Concreto 3000 PSI y 60% piedra media zonga)																																																																						
3.4	Losa contrapiso en concreto 3.000 PSI mezclado en obra E= 0.12 (Incluye malla electrosoldada 4mm y polietileno cal 4)																																																																						
3.5	Losa maciza en concreto 3000 PSI Mezclado en obra E=0.10																																																																						
3.6	Grouting Fluid 17.5 Mpa Columnas																																																																						
3.7	Acero 60.000 psi (Incluye alambre negro y figuración)																																																																						
3.8	Puntales estructurales																																																																						
4. AISLADORES SISMICOS																																																																							
4.1	Aisladores sísmicos LBR (Con núcleo de Plomo)																																																																						
4.2	Placa de Anclaje																																																																						
4.3	Montaje (Incluye equipo hidraulico de elevación)																																																																						
5. PISOS																																																																							
5.1	Alistado para piso en mortero 1:4 e=0,04																																																																						
5.2	Baldosa grano de marmol 30x30 E=24mm (Perlato claro + destroncada, pulida brillante + mortero de nivelacion)																																																																						
6. ACABADOS																																																																							
6.1	Pañete liso 1:4 muros interiores																																																																						
6.2	Filos y dilataciones																																																																						
6.3	Estuco y vinilo 3 manos sobre muro (Incluye filos y dilataciones pintura tipo 1).																																																																						
6.4	Suministro e Instalación de cielo raso descolgado fibra mineral liso (61x61)																																																																						
7. LIMPIEZA GENERAL																																																																							
7.1	Aseo y limpieza general																																																																						

Capítulo 12

12. Conclusiones

El presente trabajo profesional integrado – TPI, consistió en el estudio de patología geriátrica del edificio San Agustín, en el cual se realizó el levantamiento de lesiones, la investigación de la información referida a la construcción y a los estudios e intervenciones realizadas anteriormente, con el fin de establecer el estado actual de la edificación y plantear alternativas de intervención que sean viables en parámetros relevantes como tiempo, costo, pertinencia y oportunidad, y principalmente en su aspecto técnico, que cumpla con la normativa vigente colombiana – NSR – 10.

El edificio se encuentra ubicado en el Centro Histórico de Bogotá, limita con importantes estructuras patrimoniales del orden religioso, administrativo y de defensa, presenta una característica especial, debido a que en este sector existen construcciones declaradas como patrimonio arquitectónico y cultural de la ciudad. Además, por su disposición y según la normativa vigente (NSR-10), es una estructura de especial importancia por las funciones que presta a la comunidad, clasificado dentro del uso de ocupación especial – Grupo de Uso II, toda vez que corresponde a un edificio gubernamental en el que funciona el Ministerio de Hacienda y Crédito Público.

Por otra parte, debido a su antigüedad, 80 años de construcción, la estructura del edificio no fue concebida con todos los parámetros apropiados y necesarios para evitar daños estructurales considerables ante un eventual evento sísmico y/o por las lesiones que presenta en la actualidad.

Para el estudio patológico del edificio, se realizó el levantamiento de las lesiones presentes en la zona escogida, con el fin de establecer el estado general de la construcción, por medio de este, se evidenciaron lesiones en la estructura (vigas y columnas), sobre muros y fachadas internas, tales como fisuras, grietas, filtraciones, entre otras, como también deterioro en los acabados de los niveles que conforman el área establecida. Adicionalmente, se evidenció que se están presentando problemas de asentamiento del edificio, lo cual es generado por el tipo de suelo encontrado coadyuvado por la presencia de contenido alto de humedad, por encontrarse el edificio en el piedemonte de los cerros orientales donde hay arrastre de agua de escorrentías.

En concordancia con el resultado del levantamiento de las lesiones, el trabajo de proyecto integrado se enfocó en el reconocimiento del suelo y de la estructura donde está cimentada el área definida de la edificación para el presente estudio patológico, para lo cual se realizó la verificación y análisis detallado del estudio geotécnico, con la finalidad de conocer las particularidades y/o propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo, y del estado estructural, para establecer la incidencia de estas variables en los problemas que presenta actualmente la construcción.

Con base en lo anterior, fue necesario realizar un análisis de la vulnerabilidad sísmica del edificio. Como es sabido, la vulnerabilidad sísmica de una estructura, se puede establecer mediante la cuantificación de la capacidad estructural de una edificación para soportar daño o afectación frente a la ocurrencia de un sismo, por lo que, para disminuir su vulnerabilidad, es indispensable evaluar y adaptar la estructura a los requerimientos exigidos en la NSR 10.

El resultado que arrojó dicho análisis de cada uno de los elementos que conforman la estructura, es que la resistencia existente es de 16.50 mpa, el índice de flexibilidad es de 17.25 lo que indica que la estructura es muy susceptible a tener desplazamientos en el sentido de los ejes X y Y, debido a la poca rigidez que aportan los pórticos en ambas direcciones, y los índices de sobreesfuerzo para vigas tienen valores mayores a uno en el 40% de los elementos, debido a que las secciones no poseen suficiente sección, refuerzo o zonas de confinamiento que le permitan soportar las cargas provenientes de la cubierta, muerta, viva y granizo, y los índices de sobreesfuerzo en columnas solo el 21% de estas presenta índices menores a uno. Los datos antes mencionados, no estarían cumpliendo con la norma vigente NSR-10, por lo tanto, el edificio San Agustín presenta una estructura vulnerable sísmicamente.

Adicionalmente, el estudio geotécnico arrojó que el suelo que soporta la estructura es un suelo con arcillas y limos de alta plasticidad, por lo que es permeable, y con alto contenido de humedad natural, condiciones que disminuyen la capacidad portante del mismo.

Con base en los resultados arrojados en el estudio de suelos y en el análisis de la vulnerabilidad sísmica del edificio San Agustín, se requiere realizar el reforzamiento de la estructura, cimentación, columnas y las vigas, con la finalidad de disminuir la probabilidad de falla ante un evento sísmico, incrementar la resistencia de los elementos estructurales, disminuir

los asentamientos diferenciales existentes y evitar la presencia de lesiones como las evidenciadas en el levantamiento patológico realizado.

Con la finalidad de realizar el reforzamiento para la cimentación, se planteó una alternativa de intervención acorde con los parámetros arriba indicados, el cual consiste en aisladores sísmicos en la base de la estructura.

Es importante mencionar la efectividad de los aisladores en la base cuando son implementados en estructuras existentes como es el caso del edificio San Agustín, el objetivo de estos es mantener la estructura con sus características arquitectónicas iniciales, realizando el reforzamiento en la base sin afectar la fachada.

En el análisis se observa que el costo de la obra es alto, debido a la dimensión del proyecto, ya que la instalación de los aisladores y el mantenimiento de estos deben ser continuo, este costo podría ser despreciable frente al valor que aporta la estructura de un edificio con arquitectura de ámbito histórico y cultural, y además, por ser gubernamental, se encuentra ocupado por el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, donde se gestiona y proyecta la macroeconómica del país.

Adicionalmente, se plantean alternativas para la intervención de reforzamiento de la estructura, columnas y vigas, además, de otras lesiones encontradas en la visita de campo, tales como fisuras y grietas de muros y pisos, y las humedades.

Capítulo 13

13. Recomendaciones

Luego del análisis realizado a los resultados del estudio de vulnerabilidad sísmica del edificio, bajo los parámetros contenido en el capítulo A – Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente, del Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR – 10, la construcción requiere del reforzamiento de la cimentación, por lo que se recomienda la intervención inmediata de la misma mediante la instalación de los aisladores sísmicos propuestos en el presente estudio patológico, con el fin de disminuir los asentamientos diferenciales existentes y controlar las lesiones evidenciadas en el levantamiento realizado, estabilizando la estructura del edificio, y lo fundamental lograr disminuir la probabilidad de fallas de la construcción ante eventos sísmicos, actuaciones que se enmarcan dentro de la patología preventiva.

Así mismo, después del reforzamiento antes señalado, se recomienda realizar en la patología curativa la rehabilitación o reparación puntual de forma inmediata de los diferentes elementos estructurales o no estructurales afectados por los asentamientos presentados en la edificación, en los que se evidencian lesiones tales como fisuras, grietas, humedades, entre otras, con el propósito de restablecer o incrementar la resistencia de dichos elementos estructurales y su apariencia estética.

Adicionalmente, se recomienda un plan de seguimiento durante un período mínimo de un año, donde se registre el comportamiento de los aisladores sísmicos con respecto a la cimentación.

Con las intervenciones antes mencionadas se obtendría la funcionalidad constructiva de los elementos estructurales y no estructurales del edificio y la estabilidad y durabilidad de este, igualmente se daría una solución integral a los problemas que presenta en la actualidad y que podría presentar durante un evento sísmico.

Lista Bibliográfica

- Alvarez, S., Romero, M. (2017). Reforzamiento con aisladores sísmicos en la base del Edificio San Agustín Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (Trabajo de grado) Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 *Título A Requisitos generales de Diseño construcción sismo resistente*. Recuperado de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/titulo-a-nsr-100.pdf>
- Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2009). Consultoría para diseños complementarios al contrato No. 2081672 para el edificio San Agustín Del Ministerio De Hacienda Y Crédito Público.
- Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2016). Realizar monitoreo estructural, análisis de patologías estructurales y el estudio de suelos para el inmueble propiedad del Ministerio de Hacienda y Crédito Público ubicado en la carrera 8 No. 6c-38, Edificio San Agustín, Bogotá, D.C, de acuerdo con la norma sismo-resistente vigente NSR – 10.
- Trujillo, B., (2017) Diseño integral de estructuras con sistema de aislación sísmica a un edificio de concreto armado. (Trabajo de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú). Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4108/Trujillo%20Benito.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez, N. Vásquez, M. (2016). Diseño de aisladores sísmicos de base para edificio de oficinas de 10 niveles con sistema estructural de pórticos rígidos de concreto reforzado. (Trabajo de grado, Universidad Centroamericana. Managua) Recuperado de <http://repositorio.uca.edu.ni/3675/1/UCANI4609.pdf>

Anexos

Anexo A. Estudio geotécnico.

Anexo B. Análisis de vulnerabilidad sísmica.

Anexo C. Fichas de lesiones.

Anexo D. Planos.

Anexo E. Aisladores sísmicos.