

**ESTUDIO PATOLÓGICO TORRE DE CENIZARIOS – PARROQUIA LA SAGRADA
EUCARISTÍA BARRIO PABLO VI – BOGOTÁ D.C.**



ARQ. ALDO FABIÁN ALCARAZ IBATÁ
Código: 2230953
ARQ. EDWIN OSWALDO SANTISTEBAN BALAGUERA
Código: 2244430

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
BOGOTÁ D.C. MARZO DE 2019

Abstract

The Cenizarios tower is part of the Sagrada Eucaristia's church. It's located in Pablo VI neighborhood (location of Teusaquillo - Bogotá D.C.). It was built in 1992. The building presents an overturn on the northwestern side, as a consequence of differential sag. This is due to the conditions of your ground is susceptible to deformations in front of changes in the phreatic level and/or humidity of the subsoil the lesion is accentuated due to the type of foundation with which it was designed.

The purpose of the pathological study is to identify and propose intervention alternatives to solve existing lesions in the patient.

For this it was collected the existing information and constructed the clinical history, to identify and classify each of the lesions present, then was made the diagnosis of the patient which was complemented with a study of seismic vulnerability, taking into account that the tower was designed and built prior to the entry into force of the Colombian Seismic-Resistant Design Code of 1998.

Besides the sinking found this structure doesn't satisfy the maximum permissible drift values, in the same way as with the minimum sections of beams and columns and structural steel; also it was possible to determine that the external walls are elements of brick of 16,84 meters in height, without any type of connection with the structure of the building, as well as with a little mortar in some of its sections, this generates a high risk before an eventual earthquake.

As a result, were structured two technically viable intervention alternatives to attend the existing lesions, these differ from each other, respect to the intervention process for the recovery of verticality. It's important to explain that this condition is not a risk for the stability of the construction since the main axis is the reinforcement of the structure and foundations, as well as the replacement of the external walls.

Resumen

La torre de cenizarios de la parroquia de la Sagrada Eucaristía del barrio Pablo VI, está localizada en la localidad de Teusaquillo en la ciudad de Bogotá D.C., y fue construida en el año 1992, la edificación presenta un volcamiento al costado noroccidental, como consecuencia de un asentamiento diferencial debido a que el suelo donde se erige es susceptible a deformaciones ante cambios en el nivel freático y/o humedad del subsuelo, lesión que se ve acentuada debido al tipo de cimentación con la cual fue diseñada.

El estudio patológico tiene como propósito identificar, estudiar y plantear alternativas de intervención para solucionar las lesiones existentes en el paciente, para esto se realizó el levantamiento de información existente y la historia clínica, con el objeto de identificar y clasificar cada una de las lesiones presentes; una vez estudiadas, se realizó el diagnóstico de la edificación, el cual se complementó con un estudio de vulnerabilidad sísmica, esto teniendo en cuenta que la torre fue diseñada y construida previo a la entrada en vigencia del Código Colombiano de Diseño Sismoresistente de 1998, encontrando aparte de la lesión por volcamiento, que su estructura no cumple con los valores máximos de deriva permitidos, así como con las secciones mínimas de vigas y columnas y acero de refuerzo; adicionalmente, se pudo determinar que los muros de fachada, son elementos de mampostería en tolete común de 16,84 metros de altura, sin ningún tipo de amarre con la estructura principal de la edificación y con escaso mortero de pega en varias de sus secciones, lo cual genera un alto riesgo ante un eventual evento sísmico.

Como consecuencia se estructuraron dos alternativas de intervención técnicamente viables para atender las lesiones existentes, alternativas que difieren una de la otra, respecto al proceso de intervención para la recuperación de la verticalidad, sin que esto presente un riesgo para la estabilidad de la construcción, ya que se plantea como eje principal el reforzamiento de la estructura y cimentación, así como el remplazo de los muros de fachada.

Tabla de contenidos

Introducción	1
Justificación.....	3
Objetivos	4
General.....	4
Específicos.....	4
Marco referencial	5
Teórico.....	5
Legal	5
Metodología	6
Descripción de la selección del paciente	6
Preparación y planteamiento del estudio.....	9
Inspección preliminar del paciente	9
Recopilación de información necesaria para el estudio.....	11
Permisos y autorizaciones para abordar estudio al paciente.....	11
Definición del equipo de trabajo que realizó la exploración	12
Definición de los medios para realizar la exploración	12
Historia clínica	13
Responsables del estudio	13
Fecha de realización del estudio.....	13
Datos generales del paciente.....	13
Información existente	14
Estado actual de la construcción.....	18
Aplicación patológica	18
Condiciones generales del entorno.	19
Condiciones climatológicas	19
Descripción general arquitectónica	20
Suelos y cimentaciones.....	21
Geología.....	21
Estudio de suelos.....	22
Cimentación	23
Clasificación y origen de lesiones.....	25
Volcamiento.....	25

Agrietamiento en espacio público	26
Fallo de sumidero	26
Fisuras en mampostería por aplastamiento.....	28
Desprendimientos de concreto en entrepisos.....	28
Humedad por capilaridad.....	29
Lavado diferencial	30
Suciedad por agentes biológicos.....	31
Diagnóstico.....	32
Análisis de vulnerabilidad sísmica.....	41
Propuestas de intervención.....	44
Proceso detallado de la intervención a ejecutar.....	46
Descripción del reforzamiento estructural.....	47
Diseño estructural	49
Diseño de vigas	50
Diseño de columnas	52
Diseño de cimentación	54
Alternativa 1: recuperación de verticalidad de la edificación	55
Alternativa 2: no recuperación de verticalidad, mejoramiento de percepción de inclinación con nivelación de losas de entrepiso en el interior	56
Presupuesto.....	58
Conclusiones	66
Recomendaciones.....	68
Bibliografía.....	69
Fuentes electrónicas	70
Anexos.....	71

Lista de Figuras

Figura 1. Localización geográfica.	6
Figura 2. Localización sectorial.	7
Figura 3. Acceso peatonal.	7
Figura 4. Costado Norte.	8
Figura 5. Costado Sur.	8
Figura 6. Agrietamientos en espacio público costado sur.	9
Figura 7. Vista zona verde, presencia de árboles de gran y mediano porte.	10
Figura 8. Hundimiento de muro de cerramiento aledaño sector occidental.	10
Figura 9. Estado de drenajes del sector costado occidental.	10
Figura 10. Localización de fotografías.	11
Figura 11. Diseños originales de la torre.	14
Figura 12. Plantas - levantamiento arquitectónico real.	15
Figura 13. Fachadas - levantamiento arquitectónico real.	16
Figura 14. Diseño de estabilización, año 2016.	17
Figura 15. Entorno inmediato paciente.	19
Figura 16. Ubicación en microzonificación sísmica de Bogotá.	21
Figura 17. Solución de cimentación.	24
Figura 18. Localización volcamiento.	25
Figura 19. Volcamiento presente en el paciente.	25
Figura 20. Localización agrietamiento en espacio público.	26
Figura 21. Agrietamiento en espacio público.	26
Figura 22. Localización fallo de sumidero.	27
Figura 23. Fallo de sumidero.	27
Figura 24. Localización agrietamiento por aplastamiento.	28
Figura 25. Agrietamientos por aplastamiento.	28
Figura 26. Localización desprendimientos de lozas.	28
Figura 27. Desprendimientos de concreto.	28
Figura 28. Localización humedad por capilaridad.	29
Figura 29. Humedad por capilaridad.	29
Figura 30. Localización suciedad por lavado diferencial en fachadas.	30
Figura 31. Suciedad por lavado diferencial en fachadas de la construcción.	30
Figura 32. Localización suciedad causada por agentes biológicos.	31
Figura 33. Suciedad por organismos animales.	31
Figura 34. Plano de localización de ensayos.	33
Figura 35. Ensayo de ultrasonido en viga de entrepiso por cara inferior.	34
Figura 36. Ensayo de ultrasonido en placa de entrepiso en cara superior.	34
Figura 37. Ensayo de ultrasonido en placa de entrepiso en cara inferior.	34
Figura 38. Ensayo con esclerómetro en columna.	34
Figura 39. Detalle funcionamiento viga-columna.	35
Figura 40. Identificación de muros de fachada con cargas no previstas.	35
Figura 41. Estado actual de la cimentación.	36
Figura 42. Flujograma de propuestas de intervención.	44
Figura 43. Identificación predio SINUPOT.	45
Figura 44. Identificación predio SINUPOT.	45
Figura 45. Viga existente.	50

Figura 46. Escarificación propuesta	51
Figura 47. Detalle de adición de acero de refuerzo.....	51
Figura 48. Detalle de armado de aceros de refuerzo.	51
Figura 49. Disposición final de vigas reforzadas.	51
Figura 50. Columna existente.....	52
Figura 51. Escarificación propuesta.	53
Figura 52. Detalle adición acero de refuerzo.	53
Figura 53. Armado de aceros de refuerzo columnas.	53
Figura 54. Disposición final de columnas.	53
Figura 55. Diseño de recalce de zapatas.	54
Figura 56. Planta de refuerzo de cimentación.	54
Figura 57. Vista general afectación y aplicación de fuerza para recuperación de verticalidad.	56
Figura 58. Ampliación detalle 3. Empuje en apoyo viga tercer nivel.	56
Figura 59. Ampliación detalle 4. Gato y dado de concreto.....	56
Figura 60. Detalle de nivelación de entrepiso y fachadas.	57

Lista de Tablas

Tabla 1. Datos generales climáticos para Bogotá D.C.	20
Tabla 2. Estado de conservación actual del paciente	20
Tabla 3. Descripción de ensayos de laboratorio realizados	33
Tabla 4. Especificaciones de concreto	49
Tabla 5. Especificaciones de acero	49
Tabla 6. Comparativo presupuesto de alternativas.....	58
Tabla 7. Presupuesto Alternativa 1	59
Tabla 8. Presupuesto Alternativa 2	62

Introducción

La torre de cenizarios del barrio Pablo VI, es una construcción representativa por su condición de equipamiento religioso sectorial. Actualmente se destaca por ser un factor de riesgo latente para la comunidad, dado que la edificación presenta un notorio volcamiento en sentido noroccidental.

El estudio patológico objeto del presente trabajo, es un referente de seguridad para la comunidad circundante, en el cual se diagnostica el estado actual de la construcción, abarcando desde los orígenes de la patología que presenta hasta las recomendaciones de solución resultantes del análisis de la información. Para ello, se tuvo en cuenta la información existente recopilada, los resultados de estudios de laboratorio practicados y el análisis de vulnerabilidad de la edificación.

Es importante precisar, que el estudio patológico se enmarca dentro de las disposiciones del Plan Maestro de Cultos, que fue concebido para lograr garantizar equipamientos de culto en condiciones de seguridad, accesibilidad, permanencia y calidad, en armonía con la estrategia de ordenamiento territorial de la ciudad (Alcaldía mayor de Bogotá, 2006). El Plan Maestro se encamina a lograr el reconocimiento urbanístico de las construcciones mediante la ejecución de estudios de vulnerabilidad para actualización a la NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010), en el presente caso de estudio se formulan además estudios detallados para el análisis de las lesiones que afectan a la construcción.

Como resultado del proceso metodológico implementado, se obtienen las alternativas de intervención a la edificación, que buscan actualizar la construcción a los requerimientos normativos y funcionales para los cuales fue concebida.

Justificación

Las construcciones religiosas en la ciudad de Bogotá, han creado arraigos en la memoria colectiva de la ciudadanía. Es importante destacar que además de cumplir funciones de culto, los centros religiosos son integradores de comunidad y medios para propiciar la construcción del tejido social, en razón a la vocación agrupadora inherente a su existencia dentro de las comunidades.

La parroquia La Sagrada Eucaristía pertenece a uno de los sectores residenciales tradicionales de la ciudad de Bogotá. El barrio Pablo VI fue modelo de innovación urbanística y constructiva en la década de 1970, y se convirtió en referente sectorial para el proceso de urbanización del occidente de la ciudad.

El estado actual de la edificación requiere que se realice un estudio patológico integral, que determine las causas del volcamiento identificado como lesión principal y sus propuestas de intervención, dada la necesidad de actualización estructural en cumplimiento de la NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010) y el Plan Maestro de Cultos (Alcaldía mayor de Bogotá, 2006) establecido por la Alcaldía Mayor de Bogotá.

De igual manera, se requiere la identificación y propuesta de intervención de las lesiones secundarias presentes en el paciente, en aras de restituir la función para la cual fue concebido, así como prolongar su vida útil.

Objetivos

General

Evaluar la construcción a nivel patológico, para diagnosticar las causas de las lesiones que presenta en la actualidad, y formular alternativas de intervención tendientes a corregir el comportamiento actual del paciente.

Específicos

Valorar las causas de la afectación que a la fecha presenta la cimentación de la edificación, contrastándola con la intervención realizada en 2016 por el propietario.

Establecer el comportamiento estructural del paciente mediante un análisis de vulnerabilidad sísmica acorde a la NSR-10.

Vincular el diagnóstico y las recomendaciones de solución a la normativa vigente, enmarcando la construcción dentro de los requerimientos de la NSR-10 y el Plan Maestro de Cultos.

Presentar dos propuestas de intervención que planteen soluciones aplicables a las condiciones estructurales actuales del paciente.

Valorar técnica y económicamente las propuestas resultantes, que permita al propietario de la edificación la toma de decisiones para su intervención.

Marco referencial

Teórico

Las diferentes asignaturas cursadas en desarrollo de la Especialización en Patología de la Construcción, en especial los conceptos adquiridos en los módulos de Vulnerabilidad Sísmica, Concretos, Suelos y Cimentaciones, la Electiva I - Ensayos Equipos y la Electiva II - Mampostería.

Legal

NSR-10: El estudio patológico se enmarcará dentro de sus disposiciones, específicamente dentro de los siguientes capítulos:

- **Título A.** Requisitos generales de diseño y construcción sismo-resistente.
- **Título C.** Concreto estructural.
- **Título H.** Estudios Geotécnicos.

(Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Plan Maestro de Cultos: Concebido para lograr garantizar equipamientos de culto en condiciones de seguridad, accesibilidad, permanencia y calidad, en armonía con la estrategia de ordenamiento territorial de la ciudad. El estudio patológico se encuentra enmarcado dentro de las disposiciones establecidas para las metas a corto plazo, que entre otras ordena el inicio de las adecuaciones urbano-arquitectónicas y del reforzamiento estructural de los equipamientos que lo requieran (Alcaldía mayor de Bogotá, 2006).

Metodología

Descripción de la selección del paciente

La Torre de Cenizarios es una construcción del año 1992, cuenta con 26 años en uso. se encuentra localizada en el barrio Pablo VI de la localidad de Teusaquillo, en el costado norte de la iglesia de la Sagrada Eucaristía, es decir sobre la Calle 57A entre Carreras 54 y 55, específicamente bajo las coordenadas Latitud $4^{\circ}39'2.74''\text{N}$ y Longitud $74^{\circ}5'16.59''\text{O}$, como se observa en la figura 1.

Es una construcción prismática rectangular de 4,25 metros de lado, cuenta con un sistema aporticado en concreto con siete niveles, muros de cerramiento sin confinamiento en mampostería y cubierta metálica. La edificación está cimentada en zapatas aisladas. La altura de la edificación es de 18,26 metros totales de altura.

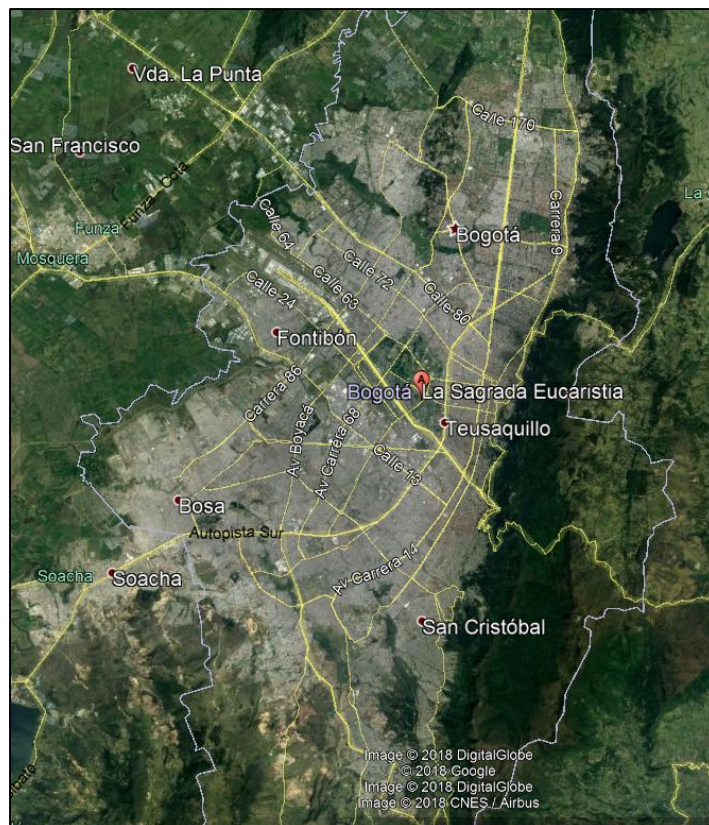


Figura 1. Localización geográfica.

Fuente: Google Earth, 2018. Sin escala.

La torre fue erigida adyacente al corredor peatonal que conecta la plazoleta del barrio, la cancha de fútbol y la iglesia, tal como se aprecia en la figura 2.



Figura 2. Localización sectorial.

Fuente: Google Earth, 2018. Sin escala.

Entorno inmediato:

- Costado oriental: En la figura 3 se observa el acceso sobre circulación peatonal que conecta la primera y la segunda etapa del Barrio Pablo VI. Chancha de Fútbol a una distancia de 25 metros.



Figura 3. Acceso peatonal.

Fuente propia. 2018.

- Costado occidental: Plazoletas y edificaciones de vivienda.
- Costado Norte: Zona verde con dos árboles de gran porte y dos de mediano porte a menos de 20 metros de distancia (figura 4).
- Costado sur: Iglesia (figura 5).



Figura 4. Costado Norte.

Fuente propia. 2018



Figura 5. Costado Sur.

Fuente propia. 2018

Preparación y planteamiento del estudio

Inspección preliminar del paciente

La torre presenta asentamiento diferencial, generando un giro y volcamiento en su masa en sentido noroccidental. El suelo en fachada occidental, corresponde a una zona verde. El espacio público adyacente a la fachada sur presenta agrietamientos paralelos a la geometría de la torre, como se observa en la figura 6.

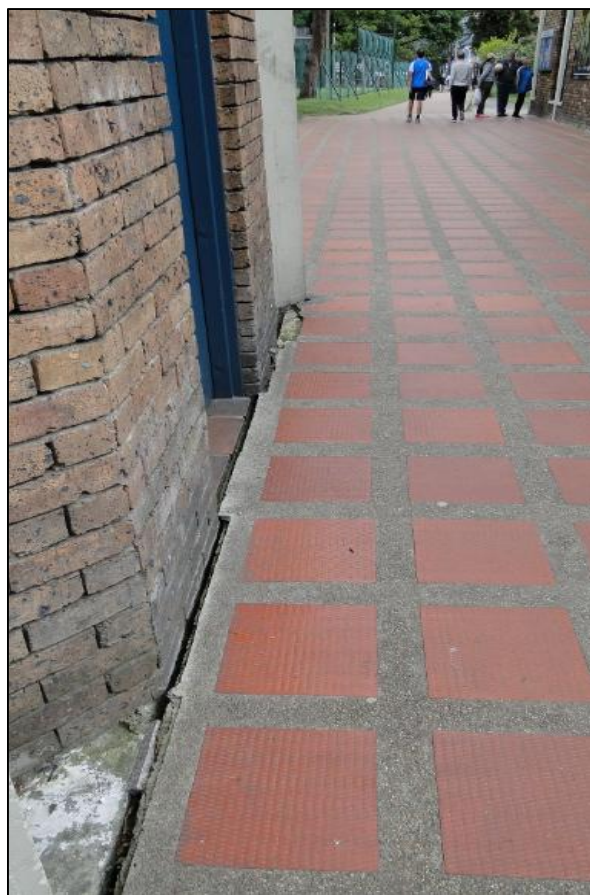


Figura 6. Agrietamientos en espacio público costado sur.

Fuente propia. 2018

El volcamiento de la edificación es presuntamente generado por una pérdida de la capacidad portante del terreno, en especial en el localizado en el costado noroccidental de la edificación. Este fenómeno es muy común en el sector debido al tipo de suelo limo arcilloso,

combinado con tipos de cimentación insuficiente para las cargas aportadas por la mayoría de las edificaciones existentes.

Adicionalmente, se puede observar que la zona verde localizada en la parte posterior (costado norte) carece de drenajes. En esta misma zona se observa la presencia de árboles de medio y gran porte, lo cual puede estar generando subpresiones en el terreno.



Figura 7. Vista zona verde, presencia de árboles de gran y mediano porte.

Fuente propia. 2018



Figura 9. Estado de drenajes del sector costado occidental.

Fuente propia. 2018.

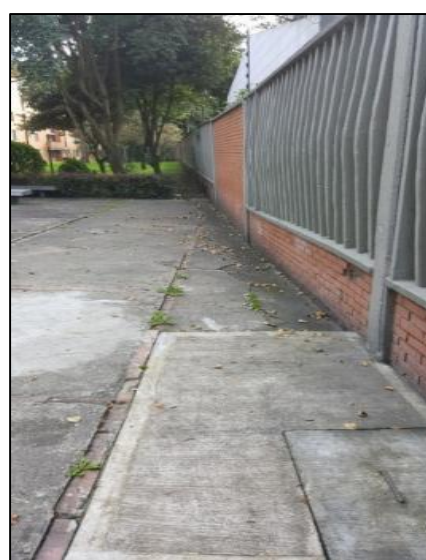


Figura 8. Hundimiento de muro de cerramiento aledaño sector occidental.

Fuente propia. 2018.



Figura 10. Localización de fotografías.

Fuente propia. 2018.

Recopilación de información necesaria para el estudio

Al consultar al responsable actual de la edificación, se pudo evidenciar la existencia de:

- Diseño arquitectónico del año 1992. (Anexo 1).
- Diseño estructural del año 1992, incluye estudio de suelos. (Anexo 2).
- Diseño estructural - solución de estabilización del año 2016. (Anexo 3).
- Levantamiento topográfico del año 2016. (Anexo 4).

La anterior información, se tomó como punto de partida para la formulación de la metodología para la intervención.

Permisos y autorizaciones para abordar estudio al paciente

Se efectuó solicitud al responsable en el mes de enero de 2018, para acceso a la información existente de la edificación y la autorización para elaboración de historia clínica y la

realización de ensayos no destructivos, con el objeto de determinar las condiciones presentes en la torre.

Definición del equipo de trabajo que realizó la exploración

- Arquitectos aspirantes al título de especialistas en patología de la construcción.
- Especialista estructural.
- Topógrafo.
- Laboratorio.

Definición de los medios para realizar la exploración

Acorde con la autorización otorgada, fue posible adelantar los estudios necesarios para la realización del presente trabajo profesional integrado. En el mes de enero de 2018, se llevó a cabo la visita de reconocimiento inicial, para la toma de registro fotográfico y levantamiento de lesiones.

En una segunda visita en el mes de mayo de 2018, se realizó el levantamiento arquitectónico y estructural, teniendo en cuenta que, al cotejar la información existente con el resultado del reconocimiento inicial, se encontraron divergencias entre lo construido y lo diseñado. Así mismo, se realizó un análisis de progresión de las lesiones identificadas en el mes de enero de 2018.

En el mes de julio de 2018, se realizó la tercera visita para la ejecución de ensayos no destructivos. Se llevó a cabo la toma de resistencia de concretos mediante el uso de esclerómetro y pruebas de ultrasonido para la detección de aceros de refuerzo y su diámetro.

Historia clínica

Responsables del estudio

Los profesionales responsables del presente estudio, son los arquitectos Aldo Fabián Alcaraz Ibatá y Edwin Oswaldo Santisteban Balaguera. Para la realización del estudio de vulnerabilidad de la edificación, se contrató al ingeniero Daniel Ricardo Lozano Monsalve, Magister en estructuras.

Fecha de realización del estudio

Tal como se mencionó en el capítulo anterior, el presente estudio inició en el mes de enero de 2018, con visita de reconocimiento. Posteriormente, en los meses de mayo y julio se realizaron visitas para la elaboración de planimetría, registros fotográficos y la realización de ensayos no destructivos.

Este documento se presentó en su primera versión en el mes de diciembre de 2018. Una vez realizadas correcciones y observaciones en el mes de marzo de 2019 por parte del equipo docente a cargo de revisión, se presenta en su versión final en el mismo mes.

Datos generales del paciente

La construcción es un prisma rectangular de 4,25 metros en cada uno de sus lados, constituido por un sistema aporticado en concreto, con una cimentación superficial basada en zapatas; la edificación cuenta con siete pisos más una cubierta liviana, con una altura total de 18,26 metros (altura tomada a cota superior de cubierta).

Los muros de fachada están contruidos en mampostería simple no reforzada, la edificación no cuenta con muros divisorios internos. Ficha de identificación. (Anexo 5).

La torre presenta un volcamiento hacia su costado noroccidental, provocado al parecer, por un asentamiento diferencial en el terreno de fundación.

Información existente

La construcción cuenta con la siguiente documentación técnica:

- **Diseño arquitectónico del año 1992**

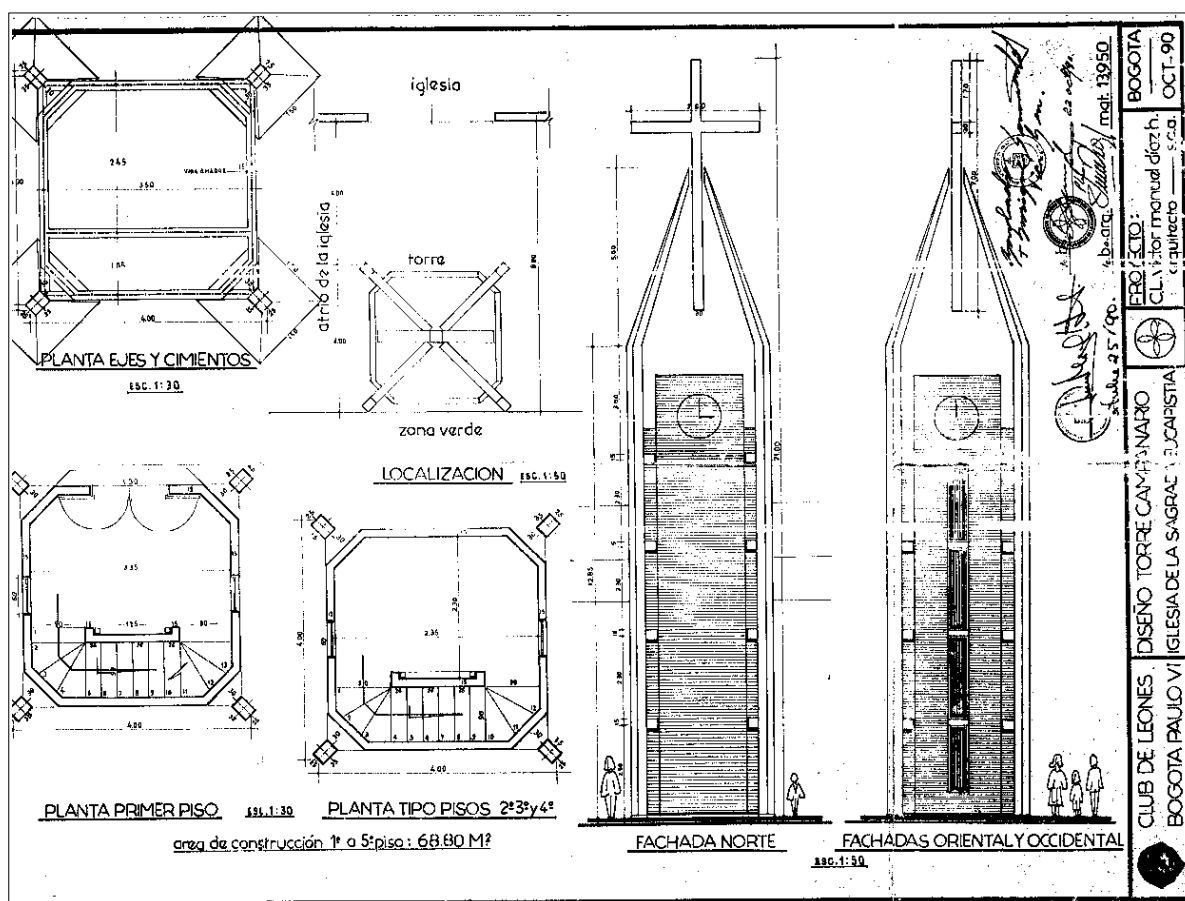


Figura 11. Diseños originales de la torre.

Fuente: Tomado de planos originales, diseño elaborado por Arq. Víctor Manuel Díaz H. Octubre de 1990.

Al analizar la información contenida en planos, se pudo evidenciar que la construcción no fue realizada siguiendo el diseño. Tanto las plantas como fachadas y cubierta, fueron alteradas en su composición y dimensiones.

Esta situación generó la necesidad de realizar un nuevo levantamiento arquitectónico, que se muestra a continuación en las figuras 12 y 13. (Anexo 6).

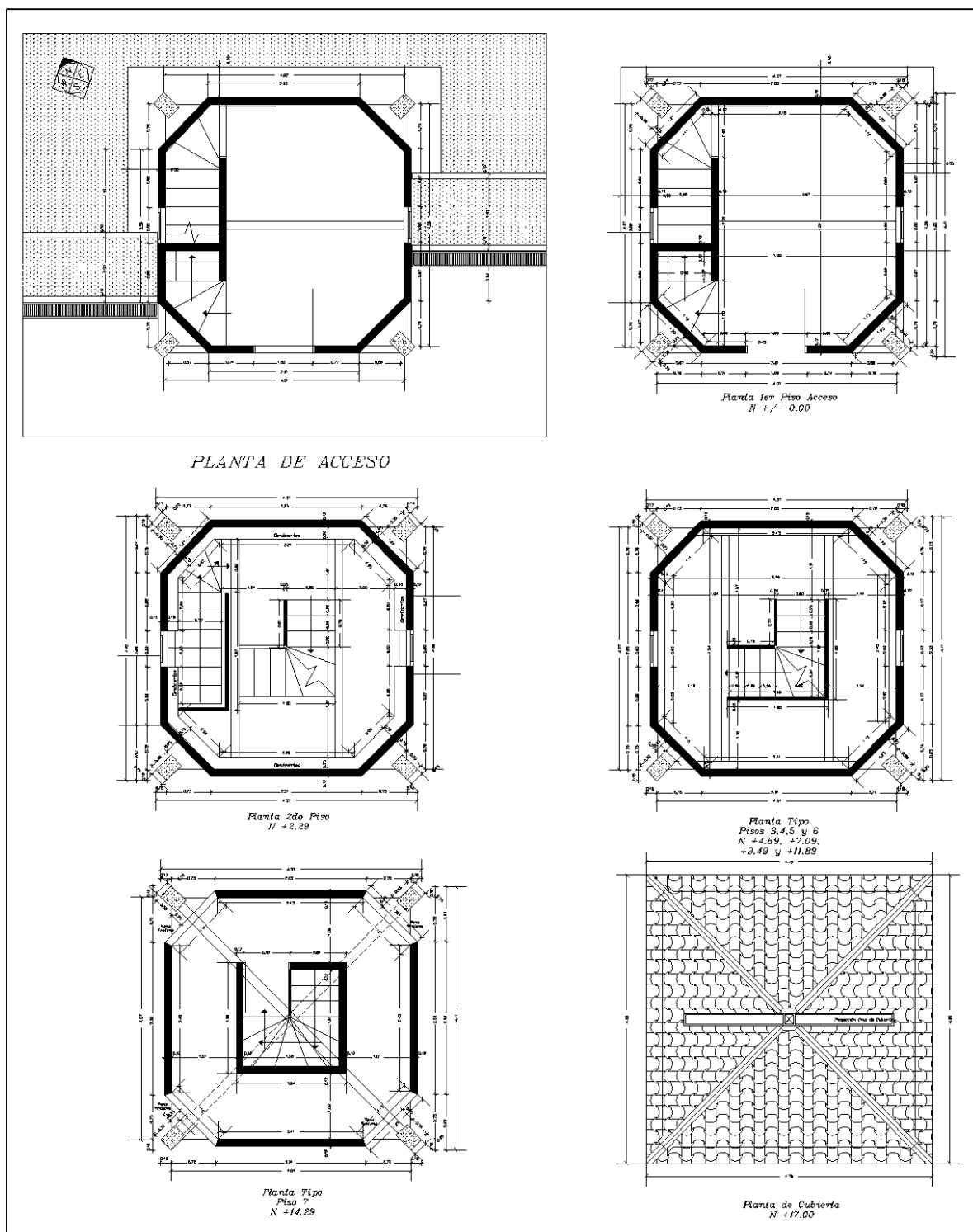


Figura 12. Plantas - levantamiento arquitectónico real.

Fuente: Elaboración propia. 2018.

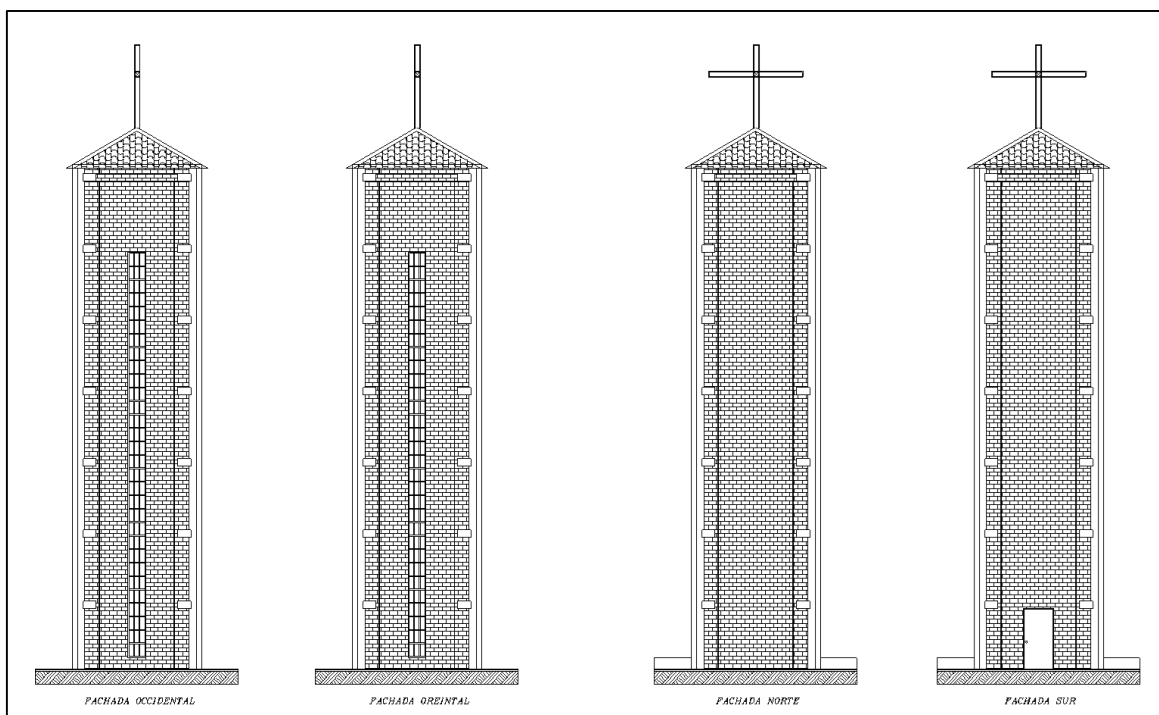


Figura 13. Fachadas - levantamiento arquitectónico real.

Fuente: Elaboración propia. 2018.

- **Diseño estructural del año 1992, incluye estudio de suelos**

Se identificó la existencia de diseño estructural de la edificación (Maximino Rojas Torres, 1992), sin embargo, se caracteriza por no poseer un grado de detalle confiable y a la fecha se encuentra fuera de cumplimiento de la NSR-10.

- **Diseño estructural - solución de estabilización del año 2016**

Dado el fenómeno de volcamiento presente en la torre y que se ha evidenciado desde el año 2015, según información proporcionada por el responsable actual de la edificación, fue contratado un estudio para detener y corregir la lesión (Fernando Pachón Fajardo, 2016). Este estudio consideró el recalce de zapatas junto con la adición de micropilotes, los cuales deberían estar hincados a una profundidad de 20 metros. En el año 2016, se realizó la construcción parcial

de la solución descrita, ejecutando el recalde de las zapatas del costado norte y el hincado de un micropilote de los 16 diseñados. Ver figura 14.

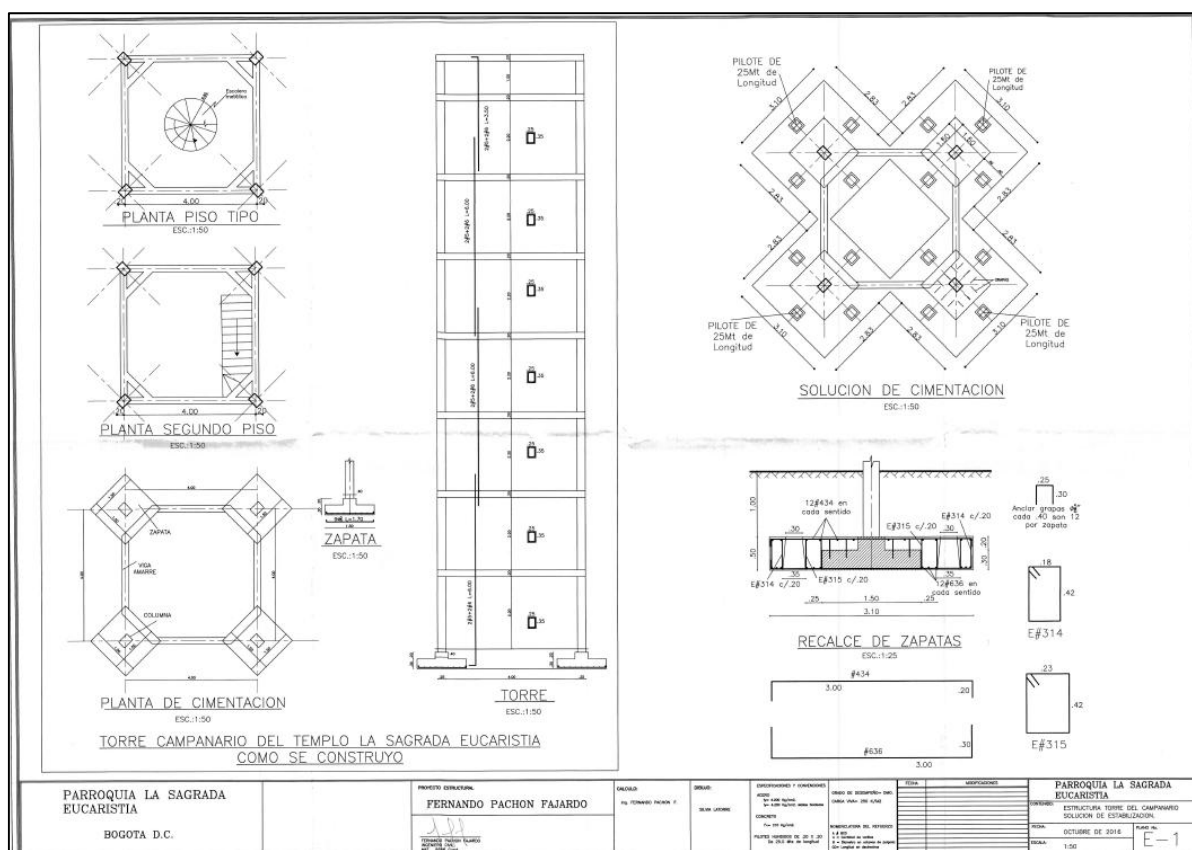


Figura 14. Diseño de estabilización, año 2016.

Fuente: Tomado del original, diseñado por Ing. Fernando Pachón Fajardo.

- Levantamiento topográfico del año 2016

El levantamiento topográfico descrito en el presente numeral, fue realizado como parte de la documentación técnica necesaria, para la el diseño y ejecución de la solución de estabilización planteada en el año 2016.

Esta información fue analizada y cotejada en la visita de reconocimiento, determinando diferencias considerables al comparar el levantamiento y la información recolectada en campo junto con los diseños arquitectónicos iniciales. Por esta razón, se realizó un nuevo levantamiento

topográfico que permitiera determinar de manera acertada las dimensiones reales de la edificación en altura, así como el grado real de inclinación producido por el volcamiento. (Anexo 7).

Estado actual de la construcción

En la actualidad, tal como se observa en el levantamiento topográfico actualizado (Anexo 7), la torre presenta una inclinación en dirección sur - norte de $1^{\circ}27'10''$ y en dirección oriente - occidente de $1^{\circ}46'17''$. La construcción presenta fisuras y agrietamientos en la mampostería a causa de un aplastamiento entre placas producido por el movimiento del paciente. Es importante mencionar que se notó la ausencia de pega entre los mampuestos.

De igual manera, se evidencian humedades en la mampostería de primer nivel por capilaridad, así como humedades por escorrentía, lavado diferencial y ensuciamiento en fachadas.

Al interior, se detectan lesiones de origen mecánico, producidas por demoliciones parciales en losas para el anclaje de escaleras metálicas.

Finalmente, en el nivel de cubierta se encuentra un alto nivel de ensuciamiento causado por agentes biológicos.

Aplicación patológica

Teniendo en cuenta que la torre fue construida en el año de 1992, el presente trabajo profesional integrado tiene un enfoque geriátrico. No obstante, se buscará la formulación de recomendaciones para la aplicación de patología preventiva.

Condiciones generales del entorno.



Figura 15. Entorno inmediato paciente.

Fuente: Google Earth. 2018. Sin escala.

Tal como se puede observar en la figura 15, en el entorno inmediato predomina el uso de vivienda en altura, configurada alrededor de zonas verdes de uso público para recreación activa.

Condiciones climatológicas

En la ciudad de Bogotá D.C., la precipitación media es de 866 milímetros y la variación entre los meses más secos y más húmedos es 85 milímetros. Las temperaturas medias varían durante el año en un 0.9 °C. (Climate-data.org. s.f.).

Tabla 1. Datos generales climáticos para Bogotá D.C.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media (°C)	13.2	13.5	13.9	14	13.8	13.4	13.1	13.1	13.2	13.3	13.5	13.4
Temperatura mínima (°C)	7.2	7.6	8.6	9.2	9.3	9.1	8.7	8.5	8.2	8.5	8.6	8
Temperatura máxima (°C)	19.2	19.4	19.3	18.8	18.4	17.8	17.6	17.8	18.2	18.2	18.4	18.8
Precipitación (mm)	34	46	67	113	102	63	47	47	56	119	112	60

Fuente: Recuperado de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/bogota/bogota-5115/>

Los datos consignados en la tabla 1, adquieren relevancia en razón a la inspección efectuada al manejo de aguas del entorno inmediato, que arrojó como resultado una disposición inadecuada por la mala condición de sumideros y desagües con el alto nivel de precipitaciones presentes en la ciudad de Bogotá. Así mismo se constató que en el perímetro de la cancha de fútbol, no existen redes para el manejo de aguas lluvias.

Descripción general arquitectónica

El paciente data del año 1992, lo que permite catalogar la construcción dentro del período moderno de construcción. El diseño arquitectónico fue elaborado por el Arq. Víctor Manuel Díaz H., el diseño estructural fue elaborado por el Ing. Maximino Rojas T.

No se cuenta con registro alguno que permita identificar constructor y/o interventor. En la tabla 2 se especifica el estado actual de los diferentes componentes de la edificación.

Tabla 2. Estado de conservación actual del paciente

Elemento	Material	Técnica	Estado
Estructura portante	Concreto	Pórticos	Regular
Muros	Ladrillo	Mampostería	Aceptable
Estructura cubierta	Metálica	Cerchas	Bueno
Cubierta	Teja galvanizada	A cuatro aguas	Bueno
Estructura entre piso	Concreto	Maciza	Bueno

Elemento	Material	Técnica	Estado
Escaleras	Metálica	Soldadas a lozas	Bueno
Pisos	Cemento	Loza a la vista	Regular
Carpintería (puertas – ventanas)	Lamina Cold Rolled	Tradicional	Bueno
Ins. Eléctricas y telefónicas	Corrugado/pvc	Tradicional	N/a
Ins. Hidráulicas y sanitarias	N/a	N/a	N/a

Fuente: Propia. 2018.

Suelos y cimentaciones

Geología

Con relación a la localización de la edificación dentro del mapa de microzonificación sísmica de Bogotá (figura 16), se tiene que ésta se encuentra en zona Lacustre 300, la cual tiene un espesor de depósito entre 200 y 300 metros, es decir un suelo lacustre blando, conformado por arcillas limosas o limos arcillosos, en algunos sectores con intercalaciones de lentes de turba. Es importante tener en cuenta que este tipo de suelo se asocia con efectos de amplificación durante un sismo.

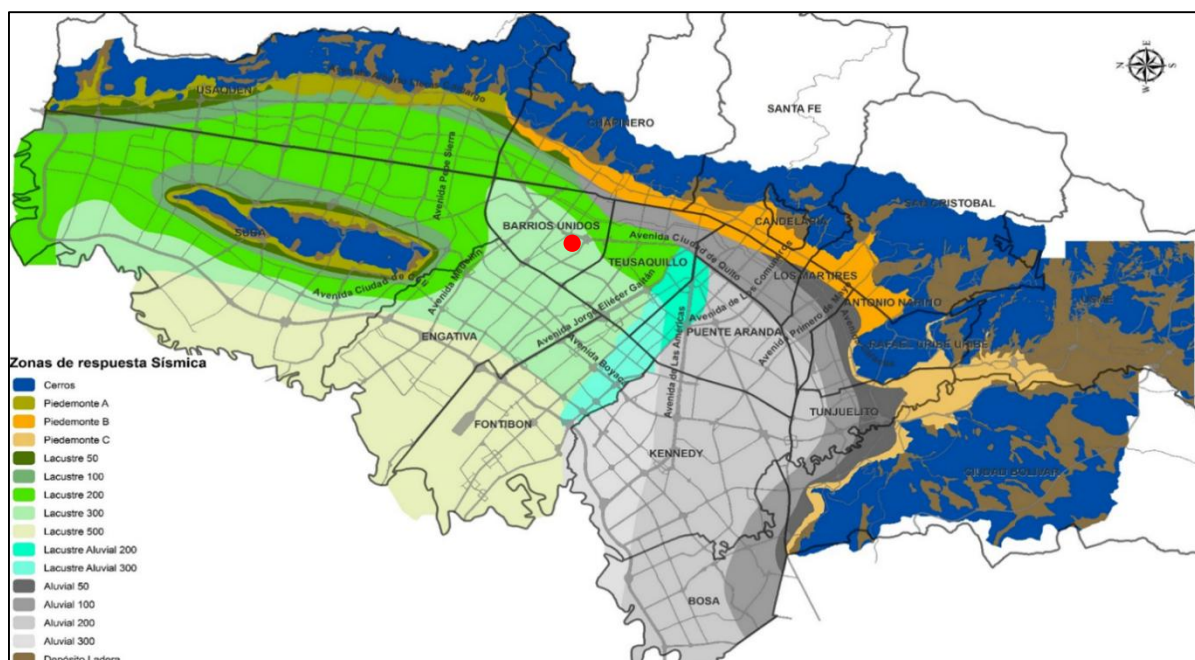


Figura 16. Ubicación en microzonificación sísmica de Bogotá.

Fuente: IDIGER 2019. Sin escala

Estudio de suelos

Como se mencionó en el capítulo 5.1, la Torre de Cenizarios es una edificación del año 1992, una vez levantada la información existente sobre su diseño y construcción, se encontró que dentro del informe de Análisis Estructural elaborado por el ingeniero Maximino Rojas Torres (Anexo 2), existe un anexo denominado estudio de suelos para el proyecto: Torre Campanario, en el cual se concluyó: *“Dada la magnitud de las cargas y el tamaño del proyecto solo fue necesario hacer un apique en el sitio donde se va a levantar el proyecto”* (Maximino Rojas Torres, 1992), no obstante no se encontró registro de los resultados del apique realizado.

De otra parte y teniendo en cuenta el volcamiento que presenta la edificación, en el año 2016 se adelantó un nuevo estudio del suelo (Anexo 3), el cual fue dirigido a evaluar la capacidad para colocar micropilotes como parte del reforzamiento de la torre, para esto se realizó un sondeo de 30 metros de profundidad y un apique para evaluar las condiciones de la cimentación.

Dentro de los resultados del estudio de suelos del año 2016 (Víctor Romero y Cia LTDA., 2016), se logró determinar que la edificación se cimentó a una profundidad de 1,37 metros a partir del nivel actual del terreno, esto sobre una capa de recebo de 0,15 metros el cual mejora el suelo limo arcilloso existente a la profundidad de 1.52 metros. Así mismo, se pudo observar que la zona verde donde se localizan las zapatas del costado norte, se encuentra afectada por las raíces de los arboles existentes, recomendando realizar corte y podado constante, ya que pueden afectar de una forma mayor las condiciones del terreno. En el mismo informe se presentan las siguientes conclusiones:

- Resistencia a la penetración del cono (R_p) promedio de 5.0 Kg/cm²
- Peso Unitario Promedio: 1.30 Tn/m³
- Angulo de fricción interna de 0°
- Cohesión aparente de 3.61 Tn/m²

- Capacidad portante para cimiento cuadrado admisible de 7.82 Ton/m² con factor de seguridad de 3.0.
- Módulo de reacción a la subrasante a nivel de cimentación de 125 a 325 Ton/m³.

Cimentación

De acuerdo con los diseños estructurales elaborados en el año 1990 (Anexo 2), la Torre de Cenizarios se encuentra cimentada sobre cuatro zapatas aisladas (cimentación superficial) de una dimensión de 1,50 m por 1,50 m, con una altura de 0,20 m, esto a una profundidad de 1,15 m contados a partir del andén existente en su momento (Maximino Rojas Torres, 1992).

No obstante, en el año 2016 se realizó una nueva exploración con el objeto de validar las condiciones del suelo existente, esto como consecuencia del asentamiento diferencial que presenta la estructura hacia su costado noroccidental; dando origen a una intervención para controlar el asentamiento, con lo cual se recalzaron las dos zapatas del costado norte, ampliando su sección a 3,10 m por 3,10 m, obteniendo que estas dos unieran generando una estructura de cimentación continua.

Adicionalmente, se realizó el hincado de un micropilote de 25 metros de longitud bajo lado más extremo de la zapata noroccidental, lo anterior se puede observar en la figura 17.

Clasificación y origen de lesiones

En el presente capítulo se hará una referencia resumida del inventario de lesiones elaborado para el paciente, sin embargo, el análisis detallado se puede consultar en las fichas de calificación (Anexo 8).

Volcamiento

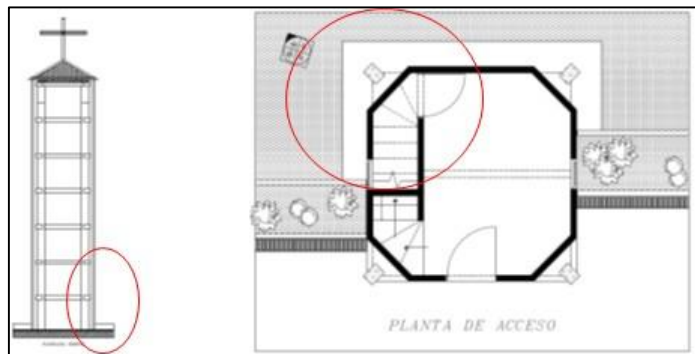


Figura 18. Localización volcamiento.

Fuente: Elaboración propia. 2018.



Figura 19. Volcamiento presente en el paciente.

Fuente: Elaboración propia. 2018.

Volcamiento integral de la totalidad de la edificación sobre el costado noroccidental. Para el mes de mayo de 2018, presentaba 0,53 m de desplazamiento en cubierta, con relación a la base de la torre.

Mediante la realización de un levantamiento topográfico actualizado, se determinó la magnitud de inclinaciones en dirección sur - norte de $1^{\circ}27'10''$ y en dirección oriente - occidente de $1^{\circ}46'17''$. Figuras 18 y 19.

Agrietamiento en espacio público

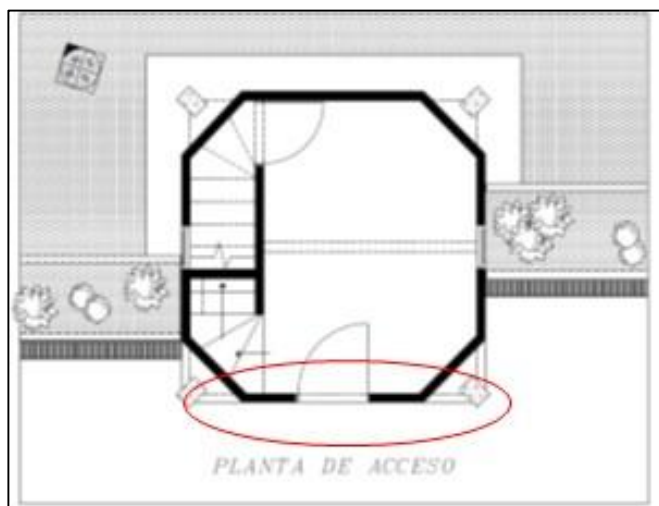


Figura 20. Localización agrietamiento en espacio público.

Fuente propia. 2018.



Figura 21. Agrietamiento en espacio público.

Fuente propia. 2018.

Grieta con una longitud de 4,40 metros y un ancho de 3,7 centímetros, localizada de forma paralela al acceso de la torre de cenizarios, ésta separa la edificación de la losa de contrapiso de la zona de circulación. Figuras 20 y 21.

Fallo de sumidero

Sumidero de aguas lluvias localizado en el costado occidental de la edificación, específicamente entre la zona de circulación y la jardinera. Construido en mampostería con una reja de protección metálica en ángulo.

Se produjo una modificación espacial de la sección interna del sumidero, agravado por desprendimiento interno de algunos de los mampuestos y alteración de las dimensiones superiores, lo cual expulsó la reja de protección fabricada en ángulo. Figuras 22 y 23.



Figura 22. Localización fallo de sumidero.

Fuente propia. 2018.



Figura 23. Fallo de sumidero.

Fuente propia. 2018.

Fisuras en mampostería por aplastamiento

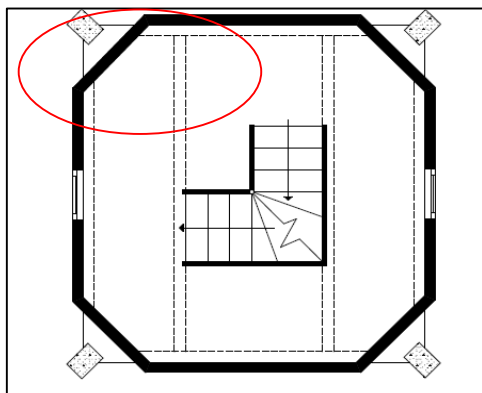


Figura 24. Localización agrietamiento por aplastamiento.

Fuente propia. 2018.



Figura 25. Agrietamientos por aplastamiento.

Fuente propia. 2018.

El agrietamiento se produjo como consecuencia del volcamiento que presenta la edificación en el costado noroccidental. Lo anterior, en razón al asentamiento diferencial. Figuras 24 y 25.

Desprendimientos de concreto en entrepisos

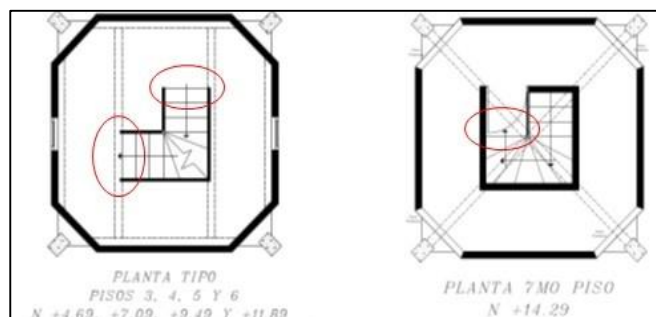


Figura 26. Localización desprendimientos de losas.

Fuente propia. 2018.



Figura 27. Desprendimientos de concreto.

Fuente propia. 2018.

Se observa el desprendimiento de concreto de las losas de entrepiso por acción mecánica, específicamente en el arranque y terminación de las escaleras metálicas. Figuras 26 y 27.

Humedad por capilaridad

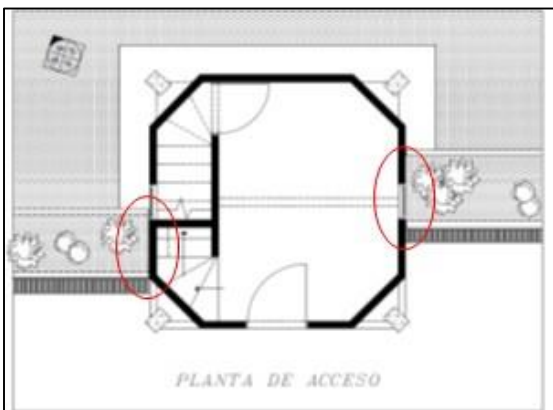


Figura 28. Localización humedad por capilaridad.

Fuente propia. 2018.



Figura 29. Humedad por capilaridad.

Fuente propia. 2018.

Humedad por capilaridad localizada en la base de los muros del costado oriente y occidente de la edificación, como se aprecia en las figuras 28 y 29, puntualmente en los muros donde se encuentran localizadas las jardineras que separan la circulación peatonal de la zona verde.

Lavado diferencial

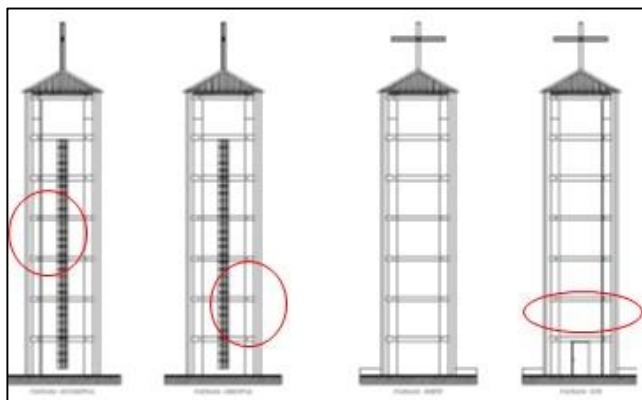


Figura 30. Localización suciedad por lavado diferencial en fachadas.

Fuente propia. 2018.



Figura 31. Suciedad por lavado diferencial en fachadas de la construcción.

Fuente propia. 2018.

Ensuciamiento por lavado diferencial de los muros de fachada de la edificación (figura 30), se presenta principalmente bajo las vigas de entrepiso que se proyectan fuera de los muros de cerramiento en los cuatro vértices (figura 31).

Suciedad por agentes biológicos

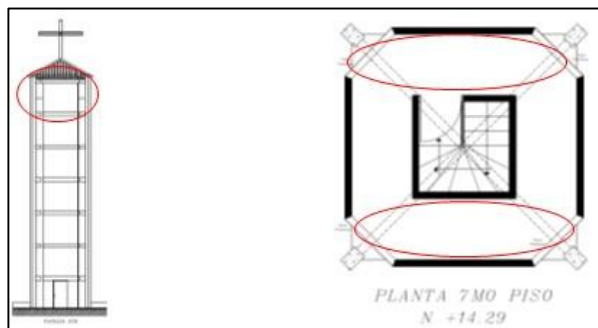


Figura 32. Localización suciedad causada por agentes biológicos.

Fuente propia. 2018.



Figura 33. Suciedad por organismos animales.

Fuente propia. 2018.

En la figura 32 se localiza la lesión, y en la figura 33 se observa el ataque biológico por organismos animales que ocasionan el deterioro acelerado de la estructura en concreto, elementos en madera y metálicos, así como la mampostería a la vista del séptimo piso.

Diagnóstico

Una vez realizada la inspección de la edificación, así como la evaluación de los estudios y diseños, se procedió a realizar la historia clínica del paciente, que incluyó un levantamiento arquitectónico y estructural actualizado, esto teniendo en cuenta que los existentes diferían de la realidad encontrada en campo. Para el caso arquitectónico se adelantó el levantamiento físico del exterior e interior de la edificación, acompañado de un levantamiento topográfico, que determinó la inclinación actual de la edificación, corroborado a través de los plomos de control ubicados en el costado norte.

Así mismo, como parte complementaria a la historia clínica dentro las fichas de calificación (Anexo 8), se realizó el diagnóstico por cada una de las lesiones identificadas en el paciente.

Con el objetivo de recolectar información para el análisis de vulnerabilidad de la estructura, se realizaron los siguientes ensayos de esclerometría y ultrasonido (anexo 9), en el mes de julio de 2018, (PROCIESTRUCTURAS S.A.S, 2018).

- Esclerometría: Losa del cuarto piso, viga de entrepiso del cuarto piso (eje B) y columna con falla (costado noroccidental de la edificación).
- Pruebas de Ultrasonido (Ferroscan): Losa del cuarto piso (inferior y superior), viga de entrepiso del cuarto piso (eje B), columna suroriental y columna con falla (costado noroccidental de la edificación).

Se corroboró que el despiece de aceros es el mismo contemplado en los diseños estructurales iniciales (Maximino Rojas Torres, 1992). De igual manera, se encontró que la resistencia a compresión del concreto es aceptable según los requerimientos de la NSR-10, con un promedio de 24 MPa.

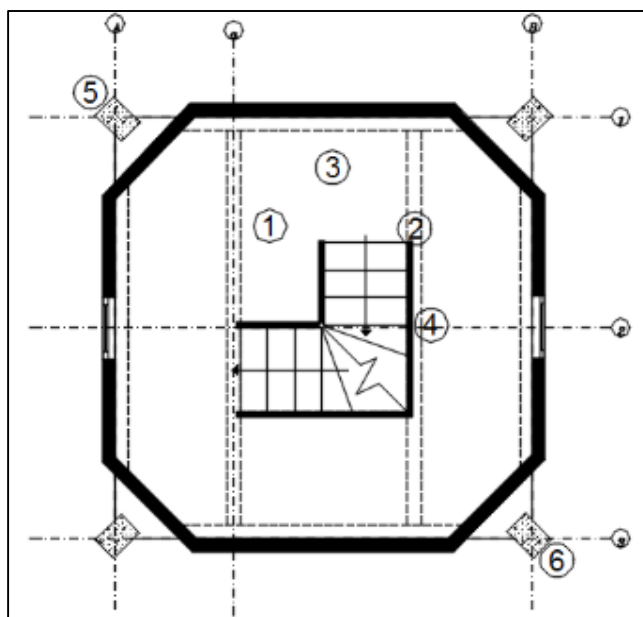


Figura 34. Plano de localización de ensayos.

Fuente propia. 2018.

Se detalla la ubicación de los ensayos realizados en la figura 34, y se describe el tipo de cada uno en la tabla 3.

Tabla 3. Descripción de ensayos de laboratorio realizados

Numero	Descripción
1	Esclerómetro en losa de cuarto piso.
2	Esclerómetro en viga escalera cuarto piso.
3	Ultrasonido en placa de cuarto piso.
4	Ultrasonido en viga de escalera cuarto piso.
5	Esclerómetro en columna primer piso.
	Ultrasonido en columna primer piso.
6	Ultrasonido en columna primer piso.

Fuente propia. 2018.



Figura 35. Ensayo de ultrasonido en viga de entrepiso por cara inferior.

Fuente propia. 2018.



Figura 36. Ensayo de ultrasonido en placa de entrepiso en cara superior.

Fuente propia. 2018.



Figura 37. Ensayo de ultrasonido en placa de entrepiso en cara inferior.

Fuente propia. 2018.



Figura 38. Ensayo con esclerómetro en columna.

Fuente propia.2018.

Ahora bien, con relación al comportamiento de la estructura, se determinó que los pórticos no están cumpliendo su función, esto teniendo en cuenta que el apoyo viga – columna es de alrededor del 25% (ver figura 39), lo cual no permite la transmisión de cargas de una manera adecuada. Es necesario precisar que los muros simples de la fachada de las caras diagonales de la edificación, se encuentran sometidos a aplastamiento por las placas de entrepiso (figura 40), sin que cuenten con resistencia de diseño de muro estructural. De igual forma se evidenció que el

resto de muros de fachada no se encuentran apoyados sobre las losas de entrepiso, por lo que se tienen elementos de 16,84 metros de altura en mampostería simple sin amarre alguno.

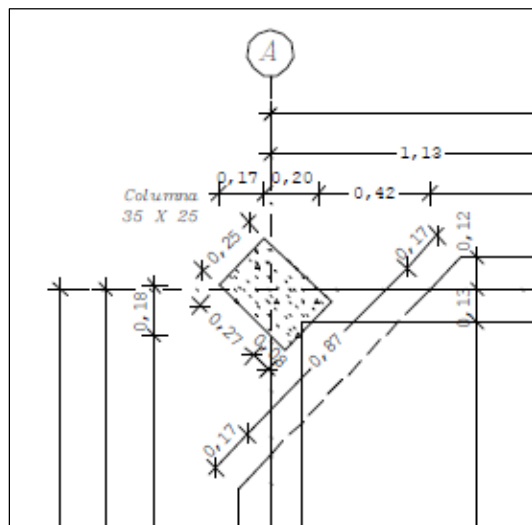


Figura 39. Detalle funcionamiento viga- columna.

Fuente propia. 2018.

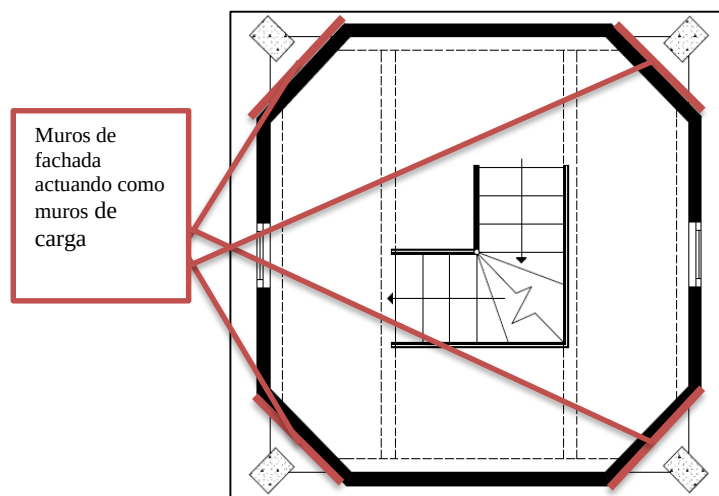


Figura 40. Identificación de muros de fachada con cargas no previstas.

Fuente propia. 2018.

Con relación a la cimentación, se concluye que sigue siendo superficial, esto a pesar de la intervención realizada en el año 2016, donde solamente se hincó un pilote de los dieciséis

propuestos. Siendo así, la cimentación de la torre está constituida por dos zapatas aisladas en el costado sur y una gran zapata en el costado norte por efecto del recalce del año 2016. De acuerdo con lo indagado con el propietario, se realizó un solo vaciado de concreto a pesar de tener parrillas de acero independientes, y adicionalmente cuenta con un micropilote de 20 metros de profundidad. Ver figura 41.

Como parte del diagnóstico se puede concluir que la falla presentada es por corte local, esto teniendo en cuenta que se muestra en un lugar específico de la cimentación (costado noroccidental de la edificación), y adicionalmente se presenta un pequeño desplazamiento del suelo natural y un asentamiento vertical, lo cual se refleja en el volcamiento presentado.

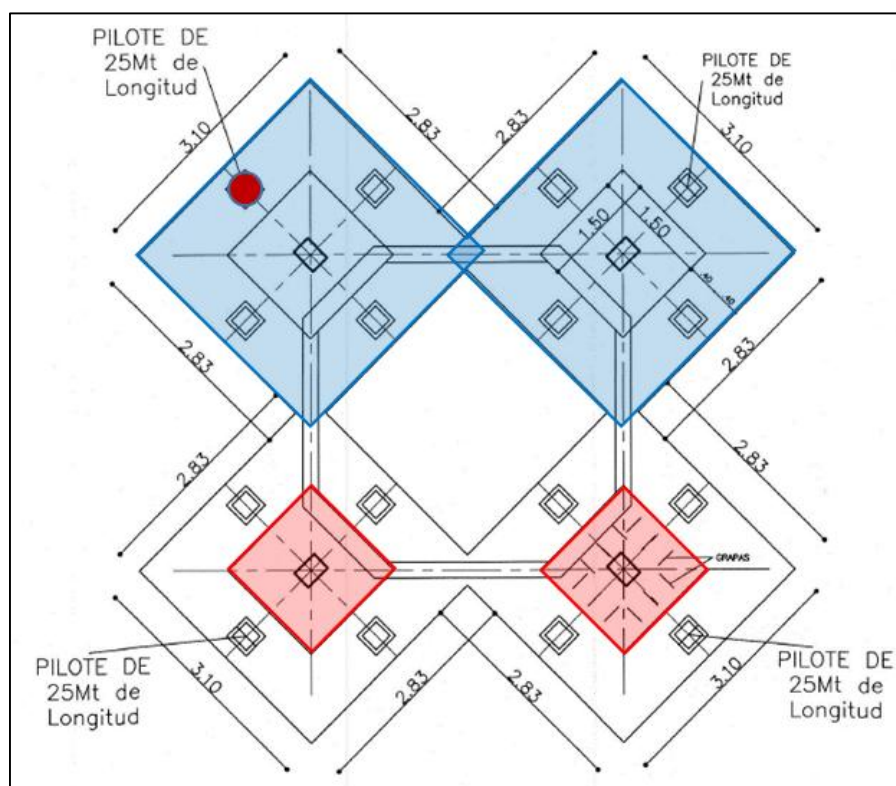


Figura 41. Estado actual de la cimentación.
Fuente propia

Zapata existente sin recalce



Recalce de zapatas ejecutado en 2016



Pilote fundido en 2016



Ahora bien, como conclusión se puede determinar que el sistema de cimentación escogido en el diseño estructural inicial pudo no contemplar las condiciones reales del suelo, ya que se evidencian grandes diferencias entre los asentamientos esperados con los reales obtenidos a través de los 25 años de construcción de la edificación. Teniendo en cuenta el tipo de suelo (lacustre blando), el tipo de cimentación más recomendable sería la profunda por medio de pilotes hincados.

Finalmente, se debe tener en cuenta que, al no haberse desarrollado la totalidad de la propuesta de mejoramiento de la cimentación realizada en el año 2016, la edificación se encuentra vulnerable a nuevos asentamientos, toda vez que su comportamiento se encuentra en desequilibrio en sus cuatro esquinas.

Por otra parte, teniendo en cuenta los resultados de la inspección en campo comparada con la información obtenida de los estudios existentes y los realizados dentro del proceso de investigación, se han podido determinar las posibles causas de la serie de lesiones encontradas en la edificación, las cuales en su mayoría están relacionadas con el volcamiento de la edificación, en particular las relacionadas con la cimentación y la estructura, esto teniendo en cuenta su integralidad dentro del sistema portante y de transmisión de cargas y esfuerzos.

A continuación, se presenta un análisis de cada una de las posibles variables:

Factores Intrínsecos:

- Deficiencias en el diseño de proyecto: De acuerdo a lo evidenciado en el diseño estructural inicial de la edificación (Maximino Rojas Torres, 1992), se evidencia que no se realizó un estudio de fondo que permitiera conocer las condiciones generales y específicas de los suelos del sector, lo cual pudo derivar en la selección del tipo de cimentación errada para las necesidades de los suelos, cimentación que adicionalmente no tuvo en cuenta el factor de seguridad en el

cálculo estructural (Víctor Romero y Cia LTDA., 2016). Lo anterior se ratifica con lo encontrado en la exploración realizada en el año 2016 y lo encontrado en el mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá, donde se pudo determinar que la torre se encuentra en la zona Lacustre 300, la cual tiene un espesor de depósito entre 200 y 300 metros, es decir un suelo lacustre blando, conformado por arcillas limosas o limos arcillosos. En conclusión, hubo una subvaloración del riesgo geotécnico.

- Aunado a lo anterior, el diseño estructural de la edificación presenta varias falencias, ya que no permite la transmisión de cargas de una manera óptima a la cimentación y ésta a su vez al terreno, teniendo en cuenta que el apoyo o conexión de las vigas de entrepiso a las columnas es inferior al 25% de su condición ideal; lo cual genera que la transmisión de cargas de la totalidad de la edificación sea realizada por cuatro pequeños muros en mampostería simple por acción de aplastamiento, los cuales no fueron diseñados para tal fin.
- Así mismo, se debe tener en cuenta que los muros de las cuatro fachadas no se encuentran anclados a la estructura, simplemente se encuentran trabados con los muros diagonales mencionados en el párrafo anterior, por lo que se encuentran totalmente sueltos, generando un riesgo mayor por el volcamiento presentado.
- Defecto de ejecución: De acuerdo con las evidencias obtenidas de los elementos visibles (ensayos realizados en el año 2018) y de las conclusiones de los estudios adelantados en el año 2016 para la solución del asentamiento presentado, se concluye que no se presentaron problemas en la ejecución de la estructura y cimentación de la edificación, así mismo los materiales seleccionados han tenido un comportamiento acorde con el tiempo de construcción.

Factores Extrínsecos

- Variaciones en las hipótesis de proyecto: De acuerdo con lo evidenciado en campo, al compararlo con los diseños iniciales, no se observa que se hayan generado cambios en las condiciones de uso de la construcción, se ha mantenido su función como tal en sus dos primeros niveles, en los demás se tienen contempladas algunas cargas despreciables para el uso de la estructura (deposito del pesebre del barrio fabricado en icopor).
- Variaciones en las condiciones del entorno: Como consecuencia de los asentamientos presentados, se observa que algunos de los sumideros de aguas lluvias se encuentran prácticamente destruidos, por lo tanto, no cumplen su función permitiendo el depósito de aguas en algunos puntos específicos. Por otra parte, en la zona verde localizada en el costado norte hay presencia de árboles de mediano y gran porte. Como es conocido, la desecación del suelo se produce por la absorción de agua que realizan las raíces, desencadenando en pérdida de volumen y capacidad portante del mismo, situación que se acentúa con el pasar del tiempo.

Teniendo en cuenta la información recolectada para la elaboración de la historia clínica y la evaluación realizada, se diagnostica que la falla presentada es consecuencia de un **ASENTAMIENTO DIFERENCIAL** localizado en su costado noroccidental, esto debido a que el suelo es susceptible a deformaciones ante cambios en el nivel freático y/o humedad del subsuelo, agravado por un manejo inadecuado de las aguas lluvias superficiales y por la presencia de cuatro árboles de gran porte con diámetro de copa mayor a 6 metros y alturas entre 12 y 16 metros, los cuales a través de sus raíces modifican la condición freática.

Es pertinente mencionar que lo anterior no se contempló en los estudios iniciales, ya que no se tuvo un riguroso estudio geotécnico que permitiera evaluar las necesidades reales del proyecto frente a las condiciones del suelo, proponiendo una cimentación superficial (sin tener en cuenta el factor de seguridad) en un suelo lacustre blando.

Lo anterior se ratifica por medio de las siguientes evidencias:

- Fisuras en muro diagonal del costado noroccidental del tercer nivel (aplastamiento).
- Se presentan sobreesfuerzos y daños en elementos estructurales por el volcamiento de la edificación.
- Se presenta inclinación notoria de la edificación.

Análisis de vulnerabilidad sísmica

Como parte del presente trabajo profesional integrado, se realizó un análisis de vulnerabilidad sísmica descrito a continuación (Lozano, 2018, p.8-10).

Se reconoció la estructura, se identificaron sus dimensiones y se calificó la construcción dentro de los parámetros establecidos en la NSR-10 como estado regular (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010, p. A-105). Esta calificación es consecuente con las características actuales de la edificación. De igual manera, se estableció que la construcción tiene un grado de Disipación Moderada de Energía dados los parámetros anteriores.

Así mismo, se calcularon las cargas vivas y muertas para la estructura, el movimiento sísmico de diseño de acuerdo a lo establecido en la Microzonificación Sísmica para Bogotá (Fondo de Prevención y Atención de Emergencia, 2010) junto con los parámetros de irregularidad establecidos en la NSR-10. El coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía por irregularidad en planta y altura se estableció en 1,00 lo que indica que la geometría regular y la continuidad en altura de la edificación son favorables para el cálculo de exigencias de diseño actual. No obstante, el coeficiente de reducción de capacidad de disipación de energía por redundancia se calculó en 0,75 lo que indica una deficiencia de elementos colaborativos presentes en la estructura en caso de un evento sísmico.

Posteriormente, se procedió a realizar la modelación tridimensional en software de cálculo, lo que arrojó las siguientes conclusiones:

- La estructura no cumple con los valores máximos de deriva permitidos. La condición se genera dado que las vigas existentes en la edificación, no cumplen con los requisitos dimensionales de la NSR-10.
- Los índices de sobreesfuerzo sobrepasan la unidad, indicando la falta de resistencia de los elementos estructurales ante un sismo real.

- La revisión de la cimentación arrojó que el limo orgánico en el cual se fundó, no cuenta con la capacidad portante necesaria para la edificación y las dimensiones de las zapatas no son suficientes para la transmisión efectiva de cargas.
- Ante los resultados obtenidos de la modelación, se recomienda en el estudio reforzar la estructura para garantizar condiciones mínimas de servicio. Este reforzamiento se plantea mediante el recalce de vigas y columnas, método viable de implementar en la edificación.
- Es importante destacar, que el estudio también arrojó la necesidad de intervención de la cimentación. Para garantizar la correcta transmisión de cargas al suelo, se propone el recalce de las zapatas existentes que no se intervinieron en el año 2016, más la adición de pilotes hasta el estrato de fundación adecuado, contemplado a 15 m de profundidad.

Si bien se presentará en las alternativas de intervención un procedimiento para recuperar verticalidad en el paciente, el consultor precisa que el volcamiento actual no es reversible. Además, el reforzamiento estructural que debe realizarse, no blindará a la estructura de afectaciones que se puedan generar por la acción de esfuerzos puntuales de empuje para la corrección de la inclinación. Así mismo, no hay antecedentes o casos de estudio similares que puedan servir de referencia.

Acorde a lo anterior, se plantea intervenir la cimentación para detener el proceso de volcamiento, seguido del reforzamiento estructural. De igual manera, en concordancia con las recomendaciones del especialista contratado para la realización del presente trabajo, se propondrá también la intervención de la edificación a partir de adecuaciones arquitectónicas que no adicionen cargas considerables a la estructura.

Es necesario precisar que el cumplimiento de los requerimientos técnicos establecidos en la NSR-10, condiciona de manera imperativa que, como parte de las alternativas de solución aportadas dentro de las conclusiones del diagnóstico, se tenga que considerar el reforzamiento estructural como eje transversal a la intervención a realizar.

Finalmente, se debe prestar especial atención a las condiciones actuales de la mampostería de fachadas. Lo anterior, dado que al ser cuerpos de 16,84 metros de altura sin confinamiento ni amarre a la estructura y con sectores donde se ha perdido el mortero de pega, son un factor de riesgo latente que requieren intervención urgente como parte de la solución que se ejecute dentro de las propuestas presentadas en el presente trabajo.

Se anexa el análisis de vulnerabilidad sísmica realizado para el presente trabajo profesional integrado. (Anexo 10).

Propuestas de intervención

Derivado del proceso metodológico que tuvo como inicio la elaboración de la historia clínica, la formulación de hipótesis y el diagnóstico final, que se complementan y sustentan de manera directa con el análisis de vulnerabilidad realizado a la edificación, se propone implementar el proceso del flujograma de la figura 42.

Al respecto, es importante precisar que, si bien la primera etapa de la Urbanización Pablo VI se encuentra dentro de un Sector de Vivienda en Serie de Interés Cultural (Secretaría Distrital de Planeación, s.f.), la torre de cenizarios fue construida en el año 1992, 26 años luego del inicio de la construcción de la urbanización. El lenguaje de fachadas de la torre no armoniza con el entorno inmediato de la primera etapa, teniendo en cuenta que los edificios circundantes construidos con anterioridad, tienen en fachada muros pañetados pintados de color, mientras que la torre está construida con mampostería en ladrillo recocado a la vista.

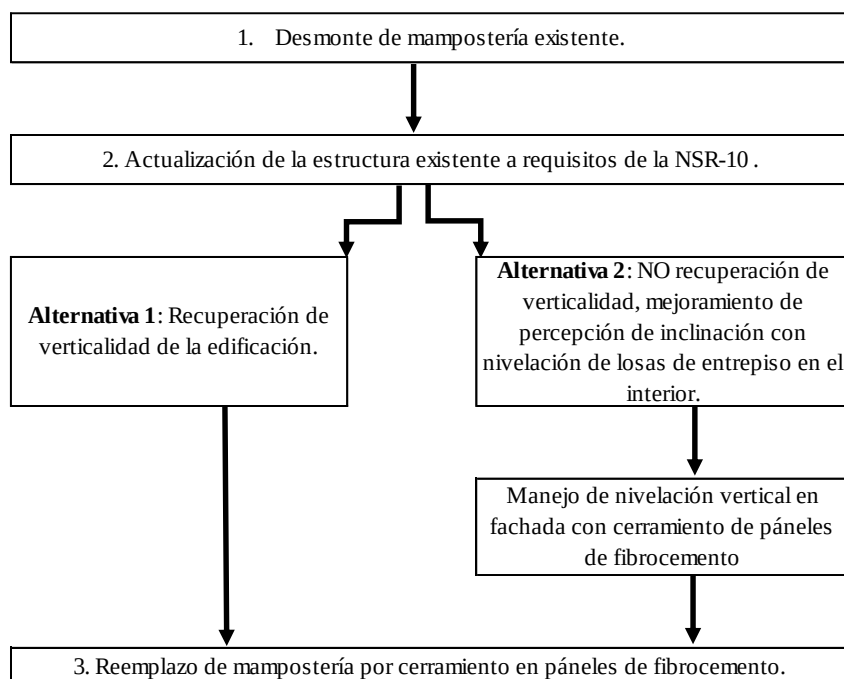


Figura 42. Flujograma de propuestas de intervención.

Fuente propia. 2018.

Adicionalmente, se efectuó consulta en el Sistema de Información de Norma Urbana y Plan de Ordenamiento Territorial (SINUPOT), donde se pudo verificar que tanto la iglesia como la torre, no son considerados bienes de interés cultural (figuras 43 y 44) (Sinupot, s.f.).



Figura 43. Identificación predio SINUPOT

Fuente: sinupotp (s.f.) sin escala

Norma Urbana	
Sector Normativo	Código Sector: 3 Sector Demanda: B Decreto: Dec 928 de 2001
Acuerdo 6 de 1990	Actividad6: RE Tratamiento6: C Decretos: Tipología:
Subsector Uso	ÚNICO
Excepciones de Norma	El predio no se encuentra en esta zona.
Subsector Edificabilidad	UNICO
Fuente: Secretaria Distrital de Planeación - Dirección de Norma Urbana, Dirección de Legalización y Mejoramiento Integral de Barrios.	
Inmuebles de Interés Cultural	
Inmueble de Interés	El predio no se encuentra en esta zona.
Fuente: Secretaria Distrital de Planeación - Dirección de Patrimonio y Renovación Urbana.	

Figura 44. Identificación predio SINUPOT

Fuente: sinupotp (s.f.)

Proceso detallado de la intervención a ejecutar

Teniendo en cuenta que actualmente los muros de fachada de 16,84 metros de altura, se encuentran contruidos en ladrillo recocido no perforado, no cuentan con amarre o tratamiento alguno como elementos no estructurales, el riesgo de colapso de los mismos es alto y se incrementará de manera proporcional en caso de progresar el volcamiento.

Como primera medida la edificación debe apuntalarse en el exterior y en el interior, para proceder a realizar el desmonte de la totalidad de la mampostería de fachada, El proceso debe realizarse iniciando en el nivel superior, en tramos de un metro, al cabo del cual debe verificarse el comportamiento de la inclinación actual.

La disposición de la mampostería desmontada, podrá ser objeto de revisión con entidades del distrito que puedan hacer uso del material, dentro de sus planes de gestión de residuos de construcción.

Una vez resuelta la fase preliminar y preventiva de la intervención, se debe proceder a actualizar la estructura del paciente, a los requisitos de la NSR-10. Lo anterior será requisito previo para ejecutar cualquiera de las alternativas descritas en la figura 42.

A continuación, se detalla el análisis y diseño estructural realizado conforme a las disposiciones de la NSR-10; se consideraron también las condiciones locales tales como parámetros sísmicos, capacidad portante de suelo y el uso de la edificación. La estructura se contempla como edificación de ocupación normal, la cual se encuentra dentro del grupo de uso I definido por NSR-10.

La estructura de la torre conservará su geometría en planta y en altura según sus condiciones actuales. Así entonces, es una estructura que comprende siete niveles de entrepiso de alturas promedio de 2.40 m., con una altura total cercana a los 16,84 m. y 1,57 m. de altura

adicional de cubierta liviana sobre último nivel. La torre dispone de un área en planta de 16,65 m².

La estructura fue analizada como sistema estructural para cargas verticales y resistencia sísmica en pórticos resistentes a momentos en concreto reforzado (columnas y vigas). Los muros de mampostería de ladrillo tolete recocido trabado sin confinamiento se disponen como elementos no estructurales. Los entrepisos de la torre se conservan como placas de concreto reforzado sobre viguetas en una dirección y como cubierta se mantiene la estructura liviana metálica a cuatro aguas con teja arquitectónica galvanizada en el último nivel, en donde se ubican tres campanas fabricadas en hierro colado.

Descripción del reforzamiento estructural.

Con base en las conclusiones del análisis de vulnerabilidad sísmica de la edificación, se realizó el diseño del reforzamiento estructural para el paciente, con el objeto que soporte las fuerzas sísmicas, así como las cargas vivas y muertas.

Para diseñar el reforzamiento, se tuvo en cuenta la localización en zona intermedia estipulada en la NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010), adicionalmente, el sistema de microzonificación sísmica establecido para la ciudad de Bogotá D.C. (Fondo de Prevención y Atención de Emergencia, 2010), esto con el objeto de valorar el tipo de suelo y caracterización de la zona ante un eventual sismo. Los anteriores criterios son importantes teniendo en cuenta que el paciente fue diseñado y construido previo a la entrada en vigencia de la NSR-98.

Como se evidenció en el resultado del análisis de vulnerabilidad, la mayoría de sus elementos estructurales no cumplen con las dimensiones y refuerzos mínimos para un buen comportamiento ante las cargas vivas y muertas a las cuales está expuesto el paciente, por lo cual

se hace necesario el reforzamiento mediante el recalce de vigas y columnas (diseño que se explicará puntualmente en el siguiente capítulo).

Ahora bien, considerando la información recopilada la estructura se diseñó de la siguiente manera:

Estructura en pórticos de concreto, resistentes a momento según NSR-10 Tabla A.3-3 “Sistema estructural de pórtico resistente a momentos con capacidad de disipación de energía moderada” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010, p. A-42). Dos pórticos por sentido ortogonal separados por una luz de 4,0 m, secciones ampliadas de columnas a 0,50 m. por 0,40 m y vigas de sección 0,25 m por 0,40 m.

La cimentación se analiza y valida según el producto del estudio de capacidad del suelo para colocar pilotes como parte del reforzamiento llevado a cabo en 2016, los pilotes son complementación del sistema superficial de cimentación que consiste en zapatas aisladas a una profundidad de 1,30 m y ampliación de dimensiones a 2,30 m por 2,30 m, las vigas de amarre tienen sección de 0,25 m por 0,40 m. Las zapatas se disponen sobre un sistema de pilotes de diámetro 0,30 m de profundidad 25 m, acorde a diseño del Ing. Víctor Romero (Víctor Romero y Cia LTDA., 2016).

Los muros de fachada de mampostería de ladrillo tolete recocido trabado, son considerados como elementos no estructurales y se reemplazarán en las propuestas de intervención mediante la implementación de un cerramiento ligero en paneles de fibrocemento.

El entrepiso de cada nivel, consiste en una placa maciza de concreto reforzado $e=0,10$ m, con dos viguetas embebidas descolgadas dispuestas en una dirección; las escaleras son metálicas y van soportadas en la placa de entrepiso a través de un sistema pernado.

Sobre el último nivel, a una altura de 16,84 m sobre el sistema de vigas descansa la cubierta liviana en estructura metálica a cuatro aguas y teja arquitectónica galvanizada.

Se anexa el Estudio de Reforzamiento Estructural realizado para el presente trabajo profesional integrado (Anexo 11), junto con la planimetría resultante para su ejecución. (Anexo 12).

Diseño estructural

A continuación, se expondrá de manera resumida la intervención que se realizará a cada elemento estructural, información detallada en el Anexo 11. De igual manera, en las tablas 4 y 5 se relacionan las especificaciones técnicas de los materiales a implementar en el proceso constructivo:

Tabla 4. *Especificaciones de concreto*

Elemento	Material	Resistencia
Zapatas	Concreto grava común	28 Mpa
Columnas.	Concreto grava fina	28 Mpa
Placas y vigas aéreas	Concreto grava fina	28 Mpa
Pilotes	Concreto tremie	28 Mpa
Limpieza	Concreto pobre	14 Mpa

Fuente propia 2018.

Tabla 5. *Especificaciones de acero*

Elemento	Resistencia
Acero de refuerzo	420 Mpa
Anclaje varilla de diámetro 9,5 mm	420 Mpa
Anclaje varilla de diámetro 12,7 mm	420 Mpa
Anclaje varilla de diámetro 15,9 mm	420 Mpa

Nota: Acero según especificaciones particulares y de acuerdo a lo estipulado por la NSR-10, norma ASTM A-706, ICONTEC 2289 para el acero PDR-60.

Fuente propia 2018.

Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos en el proceso constructivo:

- La escarificación mecánica se realizará con corte mediante disco diamantado para recalce y/o ampliación de elementos estructurales, la profundidad puede ser variable entre 0,04 m y 0,07 m.
- Se debe realizar limpieza y aplicación de recubrimiento anticorrosivo para el acero de refuerzo existente, así mismo la aplicación de mortero de reparación estructural.
- El puente de adherencia entre concreto fresco y endurecido debe ser de fraguado lento, que cumpla con la norma ASTM C - 881 tipo 5 grado II.

Diseño de vigas

Con los momentos máximos de la envolvente de vigas en cada elemento se procedió a definir el refuerzo en cada caso. El refuerzo transversal o estribos, son definidos bajo las sollicitaciones de la envolvente de cortante para vigas según la condición evaluada. figura 45.

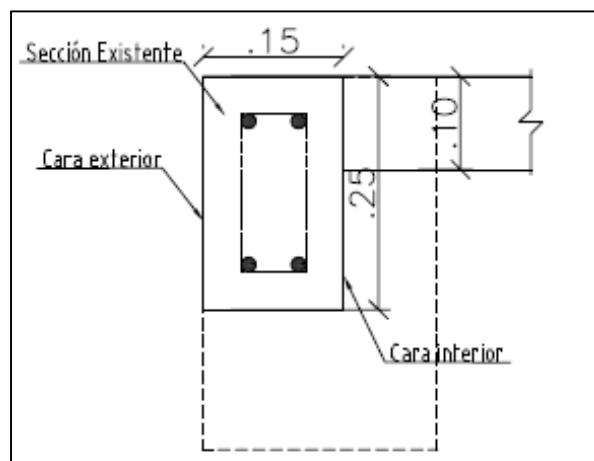


Figura 45. Viga existente.

Fuente: Estudio de reforzamiento estructural.

Las vigas existentes de sección 0,15 m por 0,25 m, serán escarificadas con un perfil de superficie mínimo tipo CSP-7 conforme a la Guía No. 03732 del ICRI, aproximadamente 0,04 m. La intervención se efectuará hacia la cara interna de los elementos existentes. Figura 46.

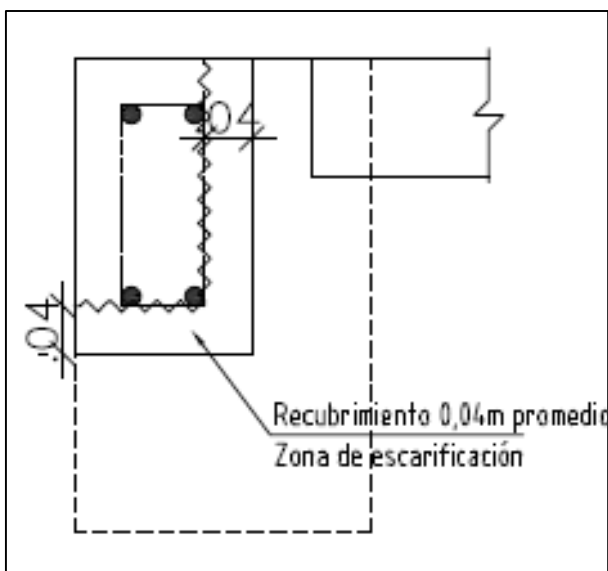


Figura 46. Escarificación propuesta

Fuente: Estudio de reforzamiento estructural.

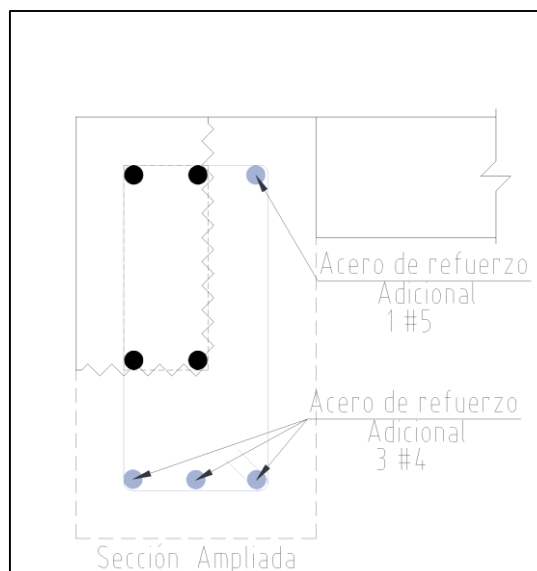


Figura 47. Detalle de adición de acero de refuerzo.

Fuente: Estudio de reforzamiento estructural.

Posteriormente se procederá a realizar el anclaje del acero de refuerzo adicional, en diámetros 12,7 mm (#4) y 15,9 mm (#5) para los aceros horizontales, y 9,5 mm (#3) para flejes (figura 47 y 48), con una separación de 0,075 m en nudos de confinamiento (en un desarrollo de 0,70 m. aprox.) y 0,15 m. en sección media de viga. Ver disposición final en figura 49.

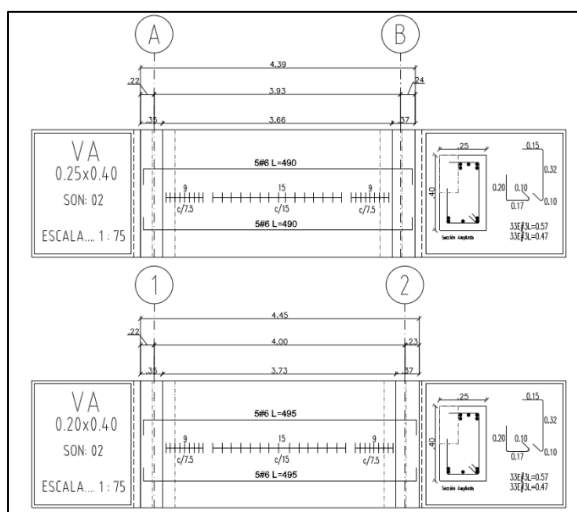


Figura 48. Detalle de armado de aceros de refuerzo.

Fuente: Estudio de reforzamiento estructural

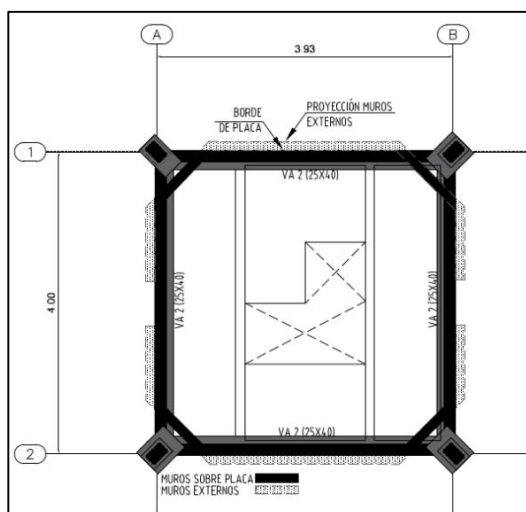


Figura 49. Disposición final de vigas reforzadas.

Fuente: Estudio de reforzamiento estructural

Diseño de columnas

Para el diseño de las columnas se revisó el axial último de la envolvente de combinaciones y sus correspondientes momentos tanto en X como Y, posteriormente se tomó la curva de interacción completa para la sección única de columna y se tomaron los momentos ϕM_{nX} y ϕM_{nY} de acuerdo al ángulo de análisis para la sección de la columna entre 0° y 90° .

Con estos momentos de diseño se verificó el cumplimiento de los momentos últimos en X y Y. Las solicitaciones se comparan con la curva de interacción P-M de la sección de la columna, que considera tanto el refuerzo existente reducido y el refuerzo adicional, es decir se tiene en cuenta el aporte del refuerzo existente.

Todas las solicitaciones se encuentran dentro de la curva de interacción, lo cual significa que la sección y el refuerzo son apropiados.

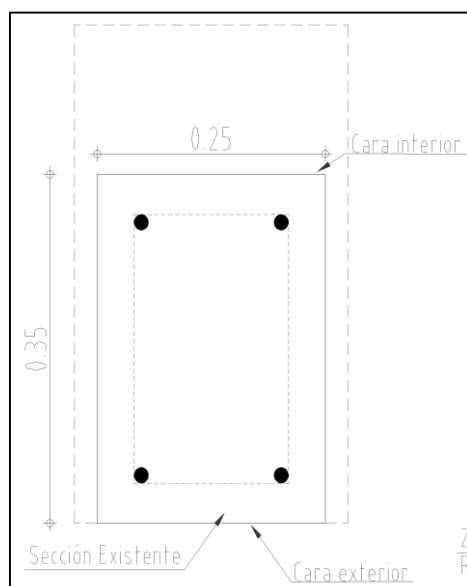


Figura 50. Columna existente.

Fuente: Estudio de reforzamiento estructural.

Las columnas existentes de sección 0,25 m por 0,35 m, serán escarificadas con un perfil de superficie mínimo tipo CSP-7 conforme a la Guía No. 03732 del ICRI, aproximadamente 0,04 m. La intervención se efectuará en los cuatro lados del elemento. Ver imagen 51.

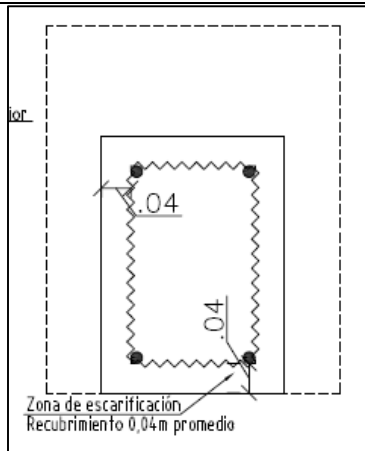


Figura 51. Escarificación propuesta.

Fuente: Estudio de reforzamiento estructural.

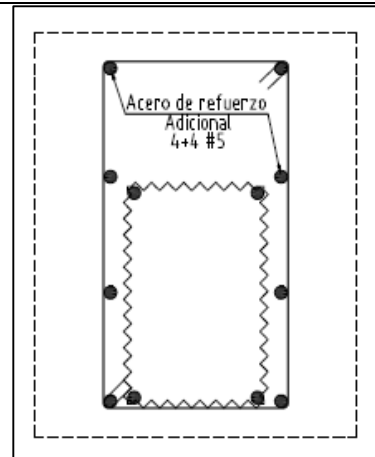


Figura 52. Detalle adición acero de refuerzo.

Fuente: Estudio de reforzamiento estructural.

El refuerzo adicional para columnas será en acero de diámetro 15,9 mm (#5) de longitudes variables y 9,5 mm (#3) para flejes, con una separación de 0,10 m en nudos de confinamiento (desarrollo de 0.80 m.) y 0,175 m en sección media de columna, figura 52.

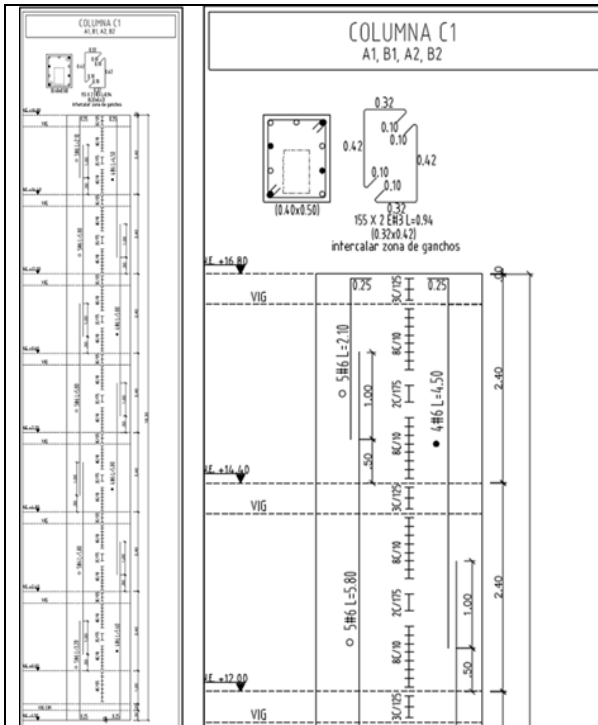


Figura 53. Armado de aceros de refuerzo columnas.

Fuente: Estudio de reforzamiento estructural.

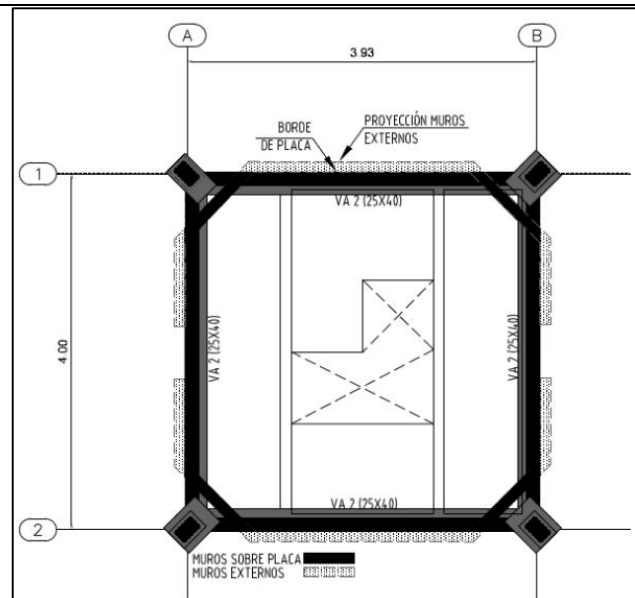


Figura 54. Disposición final de columnas.

Fuente: Estudio de reforzamiento estructural.

En las figuras 53 y 54 se observa la disposición final de los aceros de refuerzo, así como su configuración final en planta.

Diseño de cimentación

La capacidad admisible del terreno es de $\sigma=7.82$ T/m² para cimientos cuadrados tipo zapatas aisladas (Víctor Romero y Cia LTDA., 2016) y acorde con diseño estructural y solución de estabilización del año 2016 (Fernando Pachón Fajardo, 2016), se verificó la cimentación recomendada, ajustándola a los requerimientos actuales según análisis de vulnerabilidad y diseño de reforzamiento (figura 56).

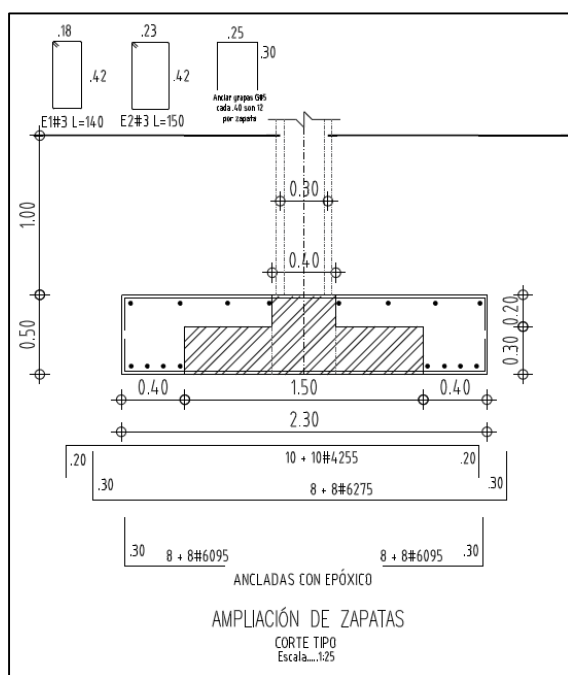


Figura 55. Diseño de recalce de zapatas.

Fuente: Estudio de reforzamiento estructural.

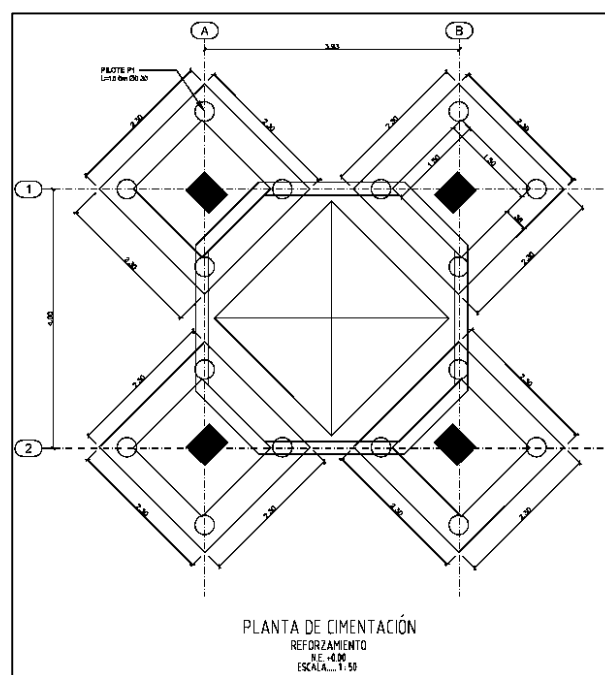


Figura 56. Planta de refuerzo de cimentación.

Fuente: Estudio de reforzamiento estructural.

Las zapatas serán ampliadas en 0,50 m en sección transversal y en 0,40 m desde cada una de las caras exteriores del elemento. Se adicionará acero de diámetro 12,7 mm (#4) en parrilla superior y de 25,4 mm (#8) en parrilla inferior para configurar la ampliación (figura 55).

Una vez completada la descripción del proceso de reforzamiento estructural, se procede a realizar el análisis de las dos alternativas propuestas para intervenir la edificación. La alternativa 1 consiste en recuperar la verticalidad de la torre y reemplazar la totalidad de la mampostería de fachada por cerramiento ligero en fibrocemento. En la alternativa 2 se plantea conservar el estado de inclinación de la torre, realizando intervenciones de nivelación en las losas de entrepiso y mejorando la percepción visual en el exterior, mediante renivelación de plomos con placas de fibrocemento.

Alternativa 1: recuperación de verticalidad de la edificación

De acuerdo a la propuesta planteada en el Estudio de Reforzamiento Estructural, se plantea la utilización de gatos hidráulicos, para desplazar la estructura a su posición original.

Este es un proceso que debe realizarse de manera controlada y con una metodología de supervisión que garantice que no se apliquen sobreesfuerzos que lleguen a afectar las condiciones actuales de la estructura. Así mismo, al intervenir el paciente se debe vigilar no sobrepasar el eje vertical de la edificación, situación que generaría inducir un volcamiento en el sentido contrario al actual. No obstante, la ejecución de esta alternativa debe estar precedida de la totalidad del reforzamiento estructural diseñado para el paciente (Lozano, 2018).

En la página siguiente, se muestra la figura 57 que contiene la vista general de la edificación, resaltando el eje axial de no sobrepaso en nivelación. Así mismo, se muestran en detalle los componentes del sistema (figuras 58, 59 y 60).

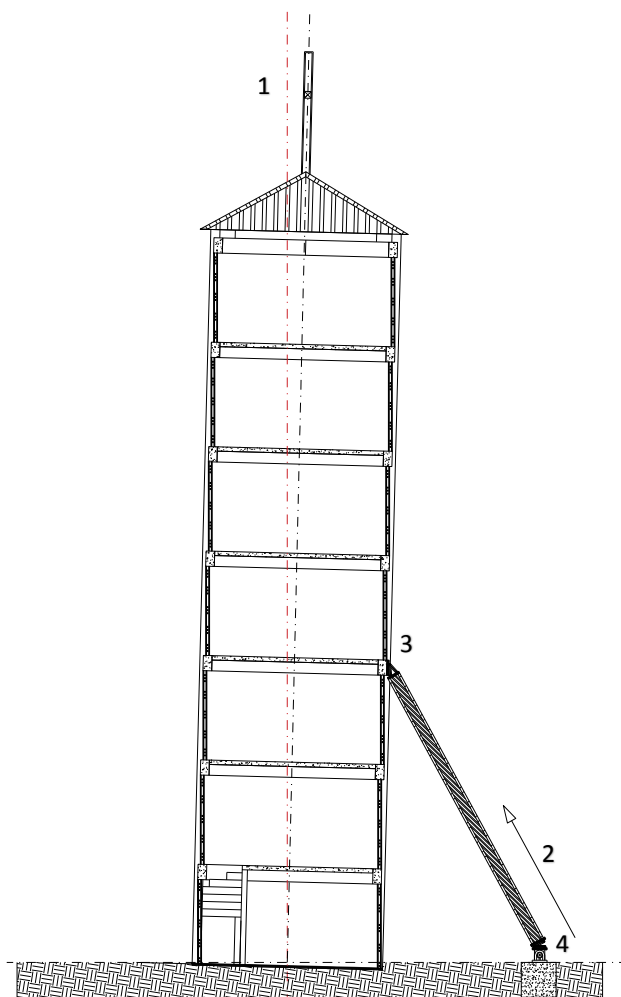


Figura 57. Vista general afectación y aplicación de fuerza para recuperación de verticalidad.

1. Eje axial de no sobrepaso en enderezamiento.
2. Sentido de aplicación de carga. 8 Ton por cada gato.
3. Apoyo en viga de tercer nivel.
4. Conjunto de gato y dado de concreto para apoyo.

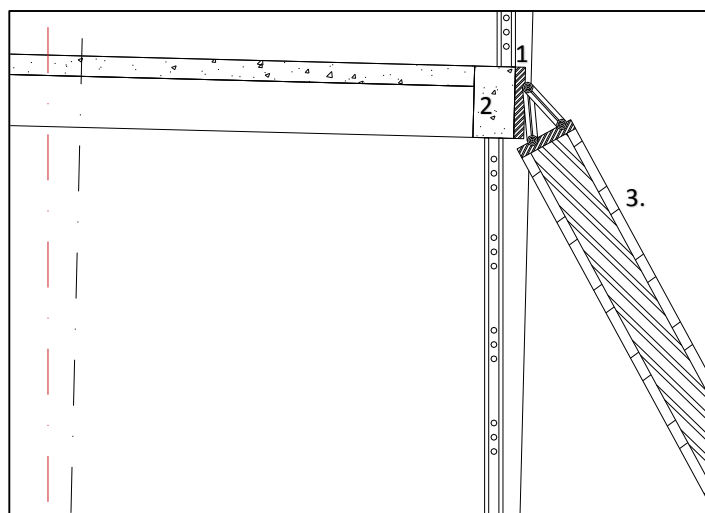


Figura 58. Ampliación detalle 3. Empuje en apoyo viga tercer nivel.

1. Lámina de apoyo.
2. Viga tercer nivel.
3. Perfil metálico de empuje.

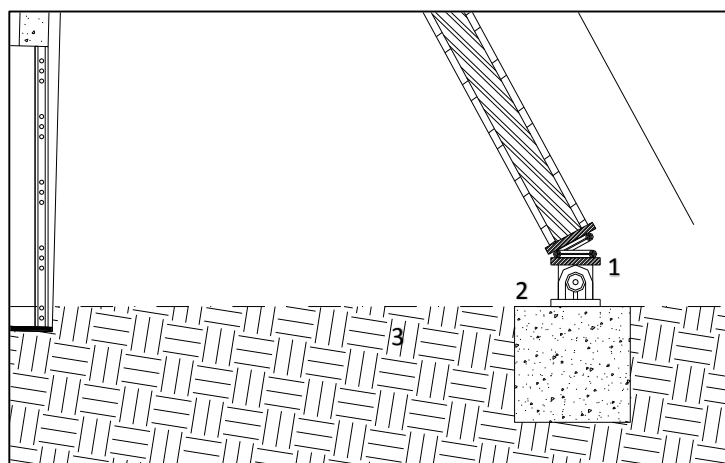


Figura 59. Ampliación detalle 4. Gato y dado de concreto.

1. Gato hidráulico (dos) de capacidad 10 Toneladas.
2. Dado de concreto para apoyo.
3. Suelo natural.

Alternativa 2: no recuperación de verticalidad, mejoramiento de percepción de inclinación con nivelación de losas de entrepiso en el interior

Una vez realizado el reforzamiento de la estructura, se procederá a realizar la renivelación

de losas de entrepiso, mediante la utilización de mortero relación 1:4. Para esto, es necesario se verifiquen previamente mediante control topográfico, las diferencias de nivel horizontal de cada entrepiso (figura 58). Teniendo en cuenta la renivelación resultante, se identificarán los puntos de inicio de los paneles de fibrocemento, que se instalarán entre placas para recuperar verticalidad en el exterior de la edificación a nivel visual.

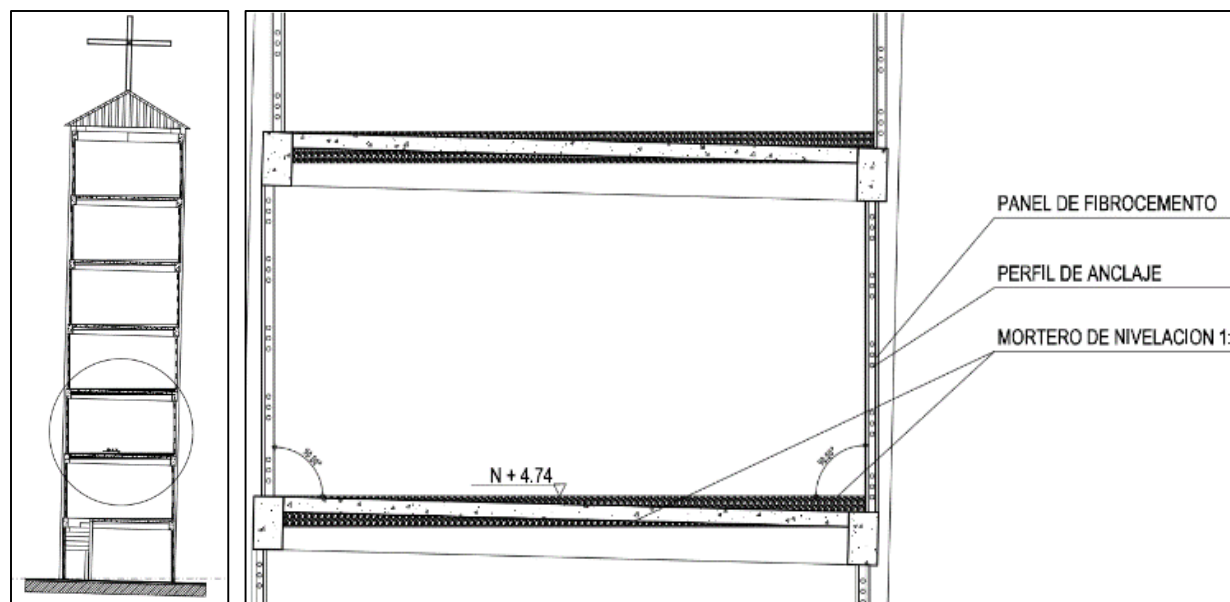


Figura 60. Detalle de nivelación de entrepiso y fachadas.

Fuente propia 2018.

Presupuesto

Teniendo en cuenta las alternativas de propuestas de intervención, y con el objeto de tener herramientas adicionales para la toma de decisiones desde el punto de vista financiero, se procedió a realizar la valoración económica de cada una de ellas, para esto se elaboraron los presupuestos detallados que incluyen las actividades de obra a tener en cuenta en el momento de la construcción.

En la en la tabla 6 se realiza un comparativo de las dos alternativas propuestas. Es importante tener en cuenta que los presupuestos fueron estructurados acorde con los precios de mercado del mes de noviembre de 2018 (Legis, 2018), por lo tanto, se recomienda realizar su actualización en el momento real de intervención.

Tabla 6. *Comparativo presupuesto de alternativas*

CAPÍTULO	DESCRIPCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
1	PRELIMINARES Y DESMONTES	\$ 28 120 516	\$ 28 120 516
2	EXCAVACIONES Y RELLENOS	\$ 7 944 699	\$ 7 944 699
3	REFORZAMIENTO CIMENTACIÓN	\$ 71 335 275	\$ 71 335 275
4	REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL	\$ 30 277 348	\$ 30 277 348
5	RECUPERACIÓN DE VERTICALIDAD	\$ 75 000 000	\$ -
6	CERRAMIENTOS	\$ 22 858 314	\$ 22 858 314
7	PISOS Y PAÑETES	\$ 12 712 366	\$ 15 260 761
8	INSTALACIONES HIDROSANITARIAS	\$ 9 639 225	\$ 9 639 225
9	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	\$ 7 928 309	\$ 7 928 309
10	CARPINTERÍA METÁLICA	\$ 19 808 670	\$ 19 808 670
11	ACABADOS	\$ 9 003 098	\$ 9 003 098
12	MANEJO DE HUMEDADES JARDINERAS	\$ 1 391 900	\$ 1 391 900
13	OBRAS EXTERIORES Y COMPLEMENTARIAS	\$ 4 569 638	\$ 4 569 638
14	PERMISOS Y TRÁMITES	\$ 2 500 000	\$ 2 500 000
SUBTOTAL		\$ 303 089 358	\$ 230 637 753
	Administración - Impuestos - Imprevistos y Utilidades	\$ 106 081 275	\$ 80 723 214
TOTAL		\$ 409 170 633	\$ 311 360 967

Fuente propia

En la tabla 7 se relaciona el presupuesto detallado para la alternativa de intervención 1, es decir la alternativa planteada para recuperar la verticalidad de la edificación, en la misma se describen cada una de las actividades constructivas distribuidas por capítulos para su ejecución.

En esta alternativa se destacan principalmente los capítulos tres y cuatro, lo cuales corresponden al reforzamiento estructural, actividad que es establecida como eje principal de intervención para las dos alternativas planteadas, así mismo se destaca el capítulo cinco, el cual corresponde a todas las actividades necesarias para recuperar la verticalidad de la edificación, capítulo planteado como una actividad global que incluye toda la disposición de las estructuras provisionales para el apuntalamiento interno y externo de la edificación, las guías metálicas en perfiles en “I” tipo HR, y el suministro de los gatos hidráulicos de diez toneladas para la aplicación de cargas controladas para el enderezamiento de la estructura.

Tabla 7. *Presupuesto Alternativa 1*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
1	PRELIMINARES Y DESMONTES				\$ 28.120.516
1,1	Localización y replanteo.	m ²	\$ 3.455	154,38	\$ 533.383
1,2	Suministro e Instalación de cerramiento de protección en lámina galvanizada con poster arquitectónico (altura: 3,00 ml), incluye cubierta de protección en lámina.	m	\$ 285.775	25,00	\$ 7.144.375
1,3	Suministro e Instalación de malla de protección para desmonte de fachada.	m ²	\$ 6.520	383,24	\$ 2.498.725
1,4	Apuntalamiento interno y externo de la edificación.	global	\$ 7.425.632	1,00	\$ 7.425.632
1,5	Desmonte de carpintería metálica (puertas), incluye cargue y no incluye transporte.	unidad	\$ 6.525	4,00	\$ 26.100
1,6	Desmonte de carpintería metálica (ventanería), incluye cargue y no incluye transporte.	m	\$ 4.589	27,28	\$ 125.188
1,7	Desmonte y demolición de cenizarios en mampostería, incluye cargue y no incluye transporte.	m ²	\$ 20.562	24,96	\$ 513.228
1,8	Corte de mampostería (muros diagonales de fachadas).	m	\$ 4.652	103,20	\$ 480.086
1,9	Desmonte controlado de mampostería en tolete común altura menor a 3,00 ml, incluye cargue y no incluye transporte.	m ²	\$ 21.090	29,06	\$ 612.875
1,10	Desmonte controlado de mampostería en tolete común altura mayor a 3,00 ml, incluye cargue y no incluye transporte.	m ²	\$ 30.628	208,30	\$ 6.379.812
1,11	Demolición de placa de contrapiso espesor hasta 0,20 m, incluye cargue y no incluye transporte.	m ²	\$ 41.586	11,52	\$ 479.069
1,12	Demolición de sumidero existente, incluye el retiro de rejilla metálica, incluye cargue y no incluye transporte.	m	\$ 31.258	25,00	\$ 781.450
1,13	Campamento en madera con cubierta en fibrocemento (9 m ²).	unidad	\$ 1.120.593	1,00	\$ 1.120.593

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
2	EXCAVACIONES Y RELLENOS				\$ 7.944.699
2,1	Excavación manual en material común, incluye cargue y no incluye transporte.	m³	\$ 27.541	36,60	\$ 1.008.001
2,2	Entibado en camillas en madera para contención (h 2,0 ml).	m	\$ 85.400	32,35	\$ 2.762.690
2,3	Relleno en recebo B-200 (Incluye suministro, extendido, nivelación, humedecimiento y compactación con vibro compactador).	m³	\$ 54.230	28,15	\$ 1.526.575
2,4	Geotextil NT 2000 para impermeabilización y separación terreno/capas granulares (incluye suministro e instalación).	m²	\$ 6.025	28,20	\$ 169.905
2,5	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28km).	m³	\$ 21.525	115,10	\$ 2.477.528
3	REFORZAMIENTO CIMENTACIÓN				\$ 71.335.275
3,1	Pilotes Hincados 25 X 25 en contrato Tremie de 4.000 PSI (280Kg/cm2).	m	\$ 153.825	350,00	\$ 53.838.750
3,2	Escarificación mecánica zapatas - abuzardado y corte con disco diamantado para recalce y/o ampliación de elementos estructurales, profundidad variable entre 4cm y 20cm.	m²	\$ 43.698	16,03	\$ 700.479
3,3	Acero de refuerzo (incluye suministro, figurado y fijación).	kg	\$ 2.786	1.554,75	\$ 4.331.534
3,4	Concreto 4000 psi (280Kg/cm2) para zapatas (grava común) suministro y colocación. Incluye formateada, adhesivo epóxico, no incluye refuerzo.	m³	\$ 732.345	17,02	\$ 12.464.512
4	REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL				\$ 30.277.348
4,1	Escarificación mecánica zapatas - abuzardado y corte con disco diamantado para recalce y/o ampliación de elementos estructurales, profundidad variable entre 4cm y 20cm.	m²	\$ 43.698	109,09	\$ 4.767.015
4,2	Concreto 4000 psi (280Kg/cm2) para columnas (grava común) suministro y colocación. Incluye formateada, adhesivo epóxico, no incluye refuerzo.	m³	\$ 918.560	11,81	\$ 10.848.194
4,3	Concreto 4000 psi (280Kg/cm2) para vigas (grava común) suministro y colocación. Incluye formateada, adhesivo epóxico, no incluye refuerzo.	m³	\$ 775.646	8,87	\$ 6.879.980
4,4	Acero de refuerzo (incluye suministro, figurado y fijación).	kg	\$ 2.851	2.729,72	\$ 7.782.159
5	RECUPERACIÓN DE VERTICALIDAD				\$ 75.000.000
5,1	Enderezamiento de la edificación incluye gatos hidráulicos de 10 toneladas (para edificación), pernos, guías metálicas en perfiles en "I", apuntalamiento interno y externo.	global	\$ 75.000.000	1,00	\$ 75.000.000
6	CERRAMIENTOS				\$ 22.858.314
6,1	Muro en fibro-cemento fachada - Doble cara Espesor 12 cm.	m²	\$ 53.841	237,36	\$ 12.779.700
6,2	Muro en fibro-cemento fachada - Doble cara Espesor 12 cm.	m	\$ 36.542	7,41	\$ 270.776

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
6,3	Construcción cenizarios en fibro-cemento doblecara Espesor 10 cm, altura de 2,15 ml.	m	\$ 168.955	58,05	\$ 9.807.838
7	PISOS Y PAÑETES				\$ 12.712.366
7,1	Pañete impermeabilizado muro 1:3 (exterior).	m ²	\$ 25.896	214,32	\$ 5.550.031
7,2	Pañete liso muro 1:4 (interior).	m ²	\$ 17.683	234,30	\$ 4.143.127
7,3	Pañete liso bajo placa 1:3.	m ²	\$ 23.665	77,52	\$ 1.834.511
7,4	Filos y dilataciones.	m	\$ 6.255	189,40	\$ 1.184.697
8	INSTALACIONES HIDROSANITARIAS				\$ 9.639.225
8,1	Construcción de sumidero de aguas lluvias en concreto de 4000 psi (270Kg/cm2), grava común, suministro y colocación. Incluye formaleteada, no incluye refuerzo.	m	\$ 385.569	25,00	\$ 9.639.225
9	INSTALACIONES ELÉCTRICAS				\$ 7.928.309
9,1	Acometida eléctrica PVC Conduit de 1/2" incluye cableado en alambre N 10 + 12.	m	\$ 88.067	63,00	\$ 5.548.221
9,2	Salida PVC + toma doble.	unidad	\$ 75.841	8,00	\$ 606.728
9,3	Salida lámpara + Roseta cerámica + Interruptor sencillo.	unidad	\$ 98.520	18,00	\$ 1.773.360
10	CARPINTERÍA METÁLICA				\$ 19.808.670
10,1	Puerta de seguridad acceso torre en lámina, ancho: 1,00 ml (incluye cerradura de 3 puntos).	unidad	\$ 1.258.745	1,00	\$ 1.258.745
10,2	Puerta salida 7mo nivel en lámina galvanizada Cal 18 ancho: 0,90 ml (incluye cerradura de seguridad de un cilindro).	unidad	\$ 325.685	1,00	\$ 325.685
10,3	Ventana en aluminio fija incluye vidrio de 4 mm.	m ²	\$ 148.900	26,85	\$ 3.997.965
10,4	Escalera metálica tipo "L", en lámina galvanizada calibre 18, perna a placa y pasos en madera pino.	unidad	\$ 2.845.255	5,00	\$ 14.226.275
11	ACABADOS				\$ 9.003.098
11,1	Cerámica lisa tráfico liviano.	m ²	\$ 54.252	92,38	\$ 5.011.800
11,2	Vinilo tipo 1 (para exteriores) sobre pañete 2 manos.	m ²	\$ 7.586	526,14	\$ 3.991.298
12	MANEJO DE HUMEDADES JARDINERAS				\$ 1.391.900
12,1	Retiro temporal de tierra negra, incluye puesta en sitio nuevamente.	m ³	\$ 7.560	12,50	\$ 94.500
12,2	Trasplante de plantas existentes.	global	\$ 300.000	1,00	\$ 300.000
12,3	Impermeabilización interna jardinera existente con pañete 1:4 impermeabilizado.	m	\$ 25.896	25,00	\$ 647.400
12,4	Lavado mampostería con hidrolavadora, incluye aplicación de hidrófugo a base en siliconas con duración de 10 años.	global	\$ 350.000	1,00	\$ 350.000
13	OBRAS EXTERIORES Y COMPLEMENTARIAS				\$ 4.569.638
13,1	Andenes Perimetrales.	m ²	\$ 42.652	21,50	\$ 917.018
13,2	Construcción filtro.	m	\$ 218.520	11,27	\$ 2.462.720
13,3	Mantenimiento árboles (incluye poda, fumigación y control).	global	\$ 350.000	1,00	\$ 350.000
13,4	Pasto kykuyo cortado a máquina (incluye suministro y riego de tierra fértil de 10cm de espesor e instalación y siembra de pasto y salado y nivelación). Suministro y plantación.	m ²	\$ 5.425	24,00	\$ 130.200

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
13,5	Traslado de árboles clase II (5m<H<10m. Incluye desenraice, retiro y disposición final).	unidad	\$ 354.850	2,00	\$ 709.700
14	PERMISOS Y TRÁMITES				\$ 2.500.000
14,1	Licencia de Demolición y Construcción.	global	\$ 1.500.000	1,00	\$ 1.500.000
14,2	Permisos ambientales antes Secretaría Distrital de Ambiente.	global	\$ 500.000	1,00	\$ 500.000
14,3	Permisos para el Manejo de Tránsito Peatonal ante la Secretaría Distrital de Movilidad.	global	\$ 500.000	1,00	\$ 500.000
SUBTOTAL					\$ 303.089.358
	Administración - Impuestos - Imprevistos y Utilidades			35,00%	\$ 106.081.275
TOTAL					\$ 409.170.633
Fuente propia					

En la tabla 8 se puede detallar el presupuesto para la alternativa 2, en la cual se propone realizar el reforzamiento estructural de la edificación sin recuperar la verticalidad de la misma, sin embargo, se propone el mejoramiento de percepción de inclinación mediante la nivelación de las losas de entrepiso en el interior y el tratamiento de los muros (elementos no estructurales) a través de su remplazo por elementos livianos en fibrocemento; los demás capítulos se mantienen en las dos propuestas de intervención.

Tabla 8. *Presupuesto Alternativa 2*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
1	PRELIMINARES Y DESMONTES				\$ 28.120.516
1,1	Localización y replanteo.	m ²	\$ 3.455	154,38	\$ 533.383
1,2	Suministro e Instalación de cerramiento de protección en lámina galvanizada con poster arquitectónico (altura: 3,00 ml), incluye cubierta de protección en lámina.	m	\$ 285.775	25,00	\$ 7.144.375
1,3	Suministro e Instalación de malla de protección para desmonte de fachada.	m ²	\$ 6.520	383,24	\$ 2.498.725
1,4	Apuntalamiento interno y externo de la edificación.	global	\$ 7.425.632	1,00	\$ 7.425.632
1,5	Desmonte de carpintería metálica (puertas), incluye cargue y no incluye transporte.	unidad	\$ 6.525	4,00	\$ 26.100
1,6	Desmonte de carpintería metálica (ventanería), incluye cargue y no incluye transporte.	m	\$ 4.589	27,28	\$ 125.188
1,7	Desmonte y demolición de cenizarios en mampostería, incluye cargue y no incluye transporte.	m ²	\$ 20.562	24,96	\$ 513.228
1,8	Corte de mampostería (muros diagonales de fachadas).	m	\$ 4.652	103,20	\$ 480.086

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
1,9	Desmante controlado de mampostería en tolete común altura menor a 3,00 ml, incluye cargue y no incluye transporte.	m²	\$ 21.090	29,06	\$ 612.875
1,10	Desmante controlado de mampostería en tolete común altura mayor a 3,00 ml, incluye cargue y no incluye transporte.	m²	\$ 30.628	208,30	\$ 6.379.812
1,11	Demolición de placa de contrapiso espesor hasta 0,20 m, incluye cargue y no incluye transporte.	m²	\$ 41.586	11,52	\$ 479.069
1,12	Demolición de sumidero existente, incluye el retiro de rejilla metálica, incluye cargue y no incluye transporte.	m	\$ 31.258	25,00	\$ 781.450
1,13	Campamento en madera con cubierta en fibrocemento (9 m²).	unidad	\$ 1.120.593	1,00	\$ 1.120.593
2	EXCAVACIONES Y RELLENOS				\$ 7.944.699
2,1	Excavación manual en material común, incluye cargue y no incluye transporte.	m³	\$ 27.541	36,60	\$ 1.008.001
2,2	Entibado en camillas en madera para contención (h 2,0 ml).	m	\$ 85.400	32,35	\$ 2.762.690
2,3	Relleno en recebo B-200 (Incluye suministro, extendido, nivelación, humedecimiento y compactación con vibro compactador).	m³	\$ 54.230	28,15	\$ 1.526.575
2,4	Geotextil NT 2000 para impermeabilización y separación terreno/capas granulares (incluye suministro e instalación).	m²	\$ 6.025	28,20	\$ 169.905
2,5	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28km).	m³	\$ 21.525	115,10	\$ 2.477.528
3	REFORZAMIENTO CIMENTACIÓN				\$ 71.335.275
3,1	Pilotes Hincados 25 X 25 en contrato Tremie de 4.000 PSI (280Kg/cm²).	m	\$ 153.825	350,00	\$ 53.838.750
3,2	Escarificación mecánica zapatas - abuzardado y corte con disco diamantado para recalce y/o ampliación de elementos estructurales, profundidad variable entre 4cm y 20cm.	m²	\$ 43.698	16,03	\$ 700.479
3,3	Acero de refuerzo (incluye suministro, figurado y fijación).	kg	\$ 2.786	1.554,75	\$ 4.331.534
3,4	Concreto 4000 psi (280Kg/cm²) para zapatas (grava común) suministro y colocación. Incluye formateada, adhesivo epóxico, no incluye refuerzo.	m³	\$ 732.345	17,02	\$ 12.464.512
4	REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL				\$ 30.277.348
4,1	Escarificación mecánica zapatas - abuzardado y corte con disco diamantado para recalce y/o ampliación de elementos estructurales, profundidad variable entre 4cm y 20cm.	m²	\$ 43.698	109,09	\$ 4.767.015
4,2	Concreto 4000 psi (280Kg/cm²) para columnas (grava común) suministro y colocación. Incluye formateada, adhesivo epóxico, no incluye refuerzo.	m³	\$ 918.560	11,81	\$ 10.848.194
4,3	Concreto 4000 psi (280Kg/cm²) para vigas (grava común) suministro y colocación. Incluye formateada, adhesivo epóxico, no incluye refuerzo.	m³	\$ 775.646	8,87	\$ 6.879.980

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
4,4	Acero de refuerzo (incluye suministro, figurado y fijación).	kg	\$ 2.851	2.729,72	\$ 7.782.159
5	CERRAMIENTOS				\$ 22.858.314
5,1	Muro en fibro cemento fachada - Doblecara Espesor 12 cm.	m²	\$ 53.841	237,36	\$ 12.779.700
5,2	Muro en fibro cemento fachada - Doblecara Espesor 12 cm.	m	\$ 36.542	7,41	\$ 270.776
5,3	Construcción cenizarios en fibro cemento doblecara Espesor 10 cm, altura de 2,15 ml.	m	\$ 168.955	58,05	\$ 9.807.838
6	PISOS Y PAÑETES				\$ 15.260.761
6,1	Pañete impermeabilizado muro 1:3 (exterior).	m²	\$ 25.896	214,32	\$ 5.550.031
6,2	Pañete liso muro 1:4 (interior).	m²	\$ 17.683	234,30	\$ 4.143.127
6,3	Pañete liso bajo placa 1:3.	m²	\$ 23.665	77,52	\$ 1.834.511
6,4	Filos y dilataciones.	m	\$ 6.255	189,40	\$ 1.184.697
6,5	Mortero de nivelación 1,4 espesor variable de 1,0 a 3,0 cm, incluye alistado endurecido.	m²	\$ 27.586	92,38	\$ 2.548.395
7	INSTALACIONES HIDROSANITARIAS				\$ 9.639.225
7,1	Construcción de sumidero de aguas lluvias en concreto de 4000 psi (270Kg/cm²), grava común, suministro y colocación. Incluye formateada, no incluye refuerzo.	m	\$ 385.569	25,00	\$ 9.639.225
8	INSTALACIONES ELÉCTRICAS				\$ 7.928.309
8,1	Acometida eléctrica PVC Conduit de 1/2" incluye cableado en alambre N 10 + 12.	m	\$ 88.067	63,00	\$ 5.548.221
8,2	Salida PVC + toma doble.	unidad	\$ 75.841	8,00	\$ 606.728
8,3	Salida lámpara + Roseta cerámica + Interruptor sencillo.	unidad	\$ 98.520	18,00	\$ 1.773.360
9	CARPINTERÍA METÁLICA				\$ 19.808.670
9,1	Puerta de seguridad acceso torre en lámina, ancho: 1,00 ml (incluye cerradura de 3 puntos).	unidad	\$ 1.258.745	1,00	\$ 1.258.745
9,2	Puerta salida 7mo nivel en lámina galvanizada Cal 18 ancho: 0,90 ml (incluye cerradura de seguridad de un cilindro).	unidad	\$ 325.685	1,00	\$ 325.685
9,3	Ventana en aluminio fija incluye vidrio de 4 mm.	m²	\$ 148.900	26,85	\$ 3.997.965
9,4	Escalera metálica tipo "L", en lámina galvanizada calibre 18, pernada a placa y pasos en madera pino.	unidad	\$ 2.845.255	5,00	\$ 14.226.275
10	ACABADOS				\$ 9.003.098
10,1	Cerámica lisa tráfico liviano.	m²	\$ 54.252	92,38	\$ 5.011.800
10,2	Vinilo tipo 1 (para exteriores) sobre pañete 2 manos.	m²	\$ 7.586	526,14	\$ 3.991.298
11	MANEJO DE HUMEDADES JARDINERAS				\$ 1.391.900
11,1	Retiro temporal de tierra negra, incluye puesta en sitio nuevamente.	m³	\$ 7.560	12,50	\$ 94.500
11,2	Transplante de plantas existentes	global	\$ 300.000	1,00	\$ 300.000
11,3	Impermeabilización interna jardinera existente con pañete 1:4 impermeabilizado.	m	\$ 25.896	25,00	\$ 647.400
11,4	Lavado mampostería con hidrolavadora, incluye aplicación de hidrófugo a base en siliconas con duración de 10 años.	global	\$ 350.000	1,00	\$ 350.000
12	OBRAS EXTERIORES Y COMPLEMENTARIAS				\$ 4.569.638
12,1	Andenes Perimetrales.	m²	\$ 42.652	21,50	\$ 917.018

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
12,2	Construcción filtro.	m	\$ 218.520	11,27	\$ 2.462.720
12,3	Mantenimiento árboles (incluye poda, fumigación y control).	global	\$ 350.000	1,00	\$ 350.000
12,4	Pasto kykuyo cortado a máquina (incluye suministro y riego de tierra fértil de 10cm de espesor e instalación y siembra de pasto y salado y nivelación). Suministro y plantación.	m²	\$ 5.425	24,00	\$ 130.200
12,5	Traslado de árboles clase II (5m<H<10m. Incluye desenraice, retiro y disposición final).	unidad	\$ 354.850	2,00	\$ 709.700
13	PERMISOS Y TRÁMITES				\$ 2.500.000
13,1	Licencia de Demolición y Construcción.	global	\$ 1.500.000	1,00	\$ 1.500.000
13,2	Permisos ambientales antes Secretaría Distrital de Ambiente.	global	\$ 500.000	1,00	\$ 500.000
13,3	Permisos para el Manejo de Tránsito Peatonal ante la Secretaría Distrital de Movilidad.	global	\$ 500.000	1,00	\$ 500.000
SUBTOTAL					\$ 230.637.753
	Administración - Impuestos - Imprevistos y Utilidades			35,00%	\$ 80.723.214
TOTAL					\$ 311.360.967

Fuente propia

Analizados los valores obtenidos de los dos presupuestos de intervención, se puede observar que el valor del metro cuadrado de construcción actual, para edificaciones en estrato medio, \$ 1 490 000 m² (Legis, 2018), se puede determinar un valor de construcción de una nueva torre de \$ 190 000 000. A este valor, se adiciona un costo de cimentación de \$ 70 000 000 y un costo de demolición de \$ 40 000 000. El valor de una nueva torre de cenizarios, se acerca a \$ 300 000 000, costo de reposición inferior a la alternativa 1 cuantificada en \$ 409 170 633.

Conclusiones

- El estudio patológico realizado, permitió evaluar de manera integral las condiciones que favorecieron la ocurrencia de las lesiones actuales de la edificación. Al respecto, deben considerarse como factores preponderantes las notorias diferencias entre la concepción del diseño y la materialización de la edificación.
- El paciente tuvo una intervención parcial a nivel de cimentación, situación por la cual la estabilidad del paciente se ve afectada al día de hoy.
- Respecto al componente estructural, la edificación se encuentra actualmente fuera de cumplimiento de las disposiciones de la NSR-10, por lo cual la actualización estructural es determinante al momento de efectuar cualquier intervención en la edificación.
- Las lesiones identificadas en la mampostería y detalladas en el numeral 6.10, no serán objeto de intervención, toda vez que dentro de las propuestas no se plantea mantener y/o reparar los muros de cerramiento, dadas las condiciones nulas de seguridad que presenta un elemento de mampostería sin confinamiento ni amarre en altura de 16,84 m por las cuatro caras.
- Como consecuencia del diagnóstico y el análisis de vulnerabilidad sísmica del paciente, se proponen dos alternativas de intervención técnicamente viables, en las cuales se establece como actividades prioritarias el remplazo de la mampostería de fachada y el reforzamiento estructural acorde con la NSR-10.
- De acuerdo con las recomendaciones del especialista estructural, se determinó que la alternativa recuperación de verticalidad de la edificación, es compleja en cuanto a su proceso de enderezamiento, teniendo en cuenta la incertidumbre de su efectividad dadas las condiciones del suelo.

- Al valorar las dos alternativas de intervención se observa que su diferencia radica en los capítulos de recuperación de la verticalidad y pisos y pañetes, y por ende en los costos indirectos asociados a su construcción; siendo la alternativa 1 (recuperación de la verticalidad) un 24% más costosa que la alternativa 2.

Recomendaciones

Las presentes recomendaciones se realizan con el objeto que el propietario pueda garantizar una correcta ejecución de la obra y prolongar la vida útil de la edificación.

- Una vez se realice la intervención, debe prestarse especial vigilancia a la práctica constructiva, con el objeto de garantizar la construcción fidedigna de los diseños tendientes a la actualización estructural.
- Es necesario que se intervenga la red de drenajes perimetrales a la torre, con el objeto de efectuar un manejo adecuado de aguas lluvias que no genere filtraciones en el subsuelo de la torre. Adicionalmente, se plantea el retiro y mantenimiento de algunos individuos arbóreos aledaños a la torre.
- Es necesario realizar monitoreo continuo a la edificación una vez se realice el reforzamiento estructural, teniendo en cuenta las condiciones naturales del terreno de fundación del elemento. Se recomienda la instalación de inclinómetros y piezómetros de hilo vibrátil, con el objeto de recolectar datos confiables y establecer una trazabilidad real de lecturas en el tiempo.
- El mantenimiento preventivo es necesario para garantizar la vida útil de la torre: evitar la acumulación de suciedades en cubierta y fachadas, reparar de manera inmediata a la aparición de cualquier tipo de humedad (filtración, escurrimiento).

Bibliografía

Alcaldía mayor de Bogotá. Decreto 311 de 2006 (2006).

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.

Daniel Ricardo Lozano. (2018). Estudio de Reforzamiento Estructural (Análisis estructural)

Daniel Ricardo Lozano. (2018). Estudio de Vulnerabilidad Sísmica (Análisis estructural)

Decreto 311. Registro Distrital 3596, Bogotá D.C., Colombia, agosto 18 de 2006.

Fernando Pachón Fajardo. (2016). Estructura Torre del Campanario solución de estabilización. Bogotá.

Fondo de Prevención y Atención de Emergencia. (octubre, 2010). Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones.

Legis. (2018, noviembre). Construdata. 188, 179-216.

Maximino Rojas Torres. (enero, 1992). Análisis estructural.

PROCIESTRUCTURAS S.A.S. (2018). Estudio Torre Cenizario (No. 0125-800). Bogotá D.C.: Torre de cenizarios Pablo VI.

Víctor Romero y Cia LTDA. (2016). Iglesia La Sagrada Eucaristía (No. 5732). Bogotá D.C.

Fuentes electrónicas

Google. (s.f.). [Mapa de Bogotá, Colombia en Google maps]. Recuperado el 3 de Octubre, 2015, de: <https://www.google.com.co/maps/@4.6315748,-74.0699088,11.79z?hl=en>

Fondo Para la Atención y Prevención de Desastres. (2010). Zonificación de la respuesta sísmica de los suelos de la ciudad de Bogotá D.C. [.png]. Recuperado el 20 de marzo, 2019, de <https://www.idiger.gov.co/documents/20182/71946/Figura11.png>

Climate-data.org. (s. f.). Clima Bogotá. Recuperado de <https://es.climate-data.org/location/5115/>

Secretaría Distrital de Planeación. (s.f.) Bienes de interés cultural. Recuperado el 23 de marzo, 2019, de <http://www.sdp.gov.co/gestion-territorial/patrimonio-y-renovacion-urbana/bienes-de-interes-cultural>

Anexos

ANEXO 1. Diseño arquitectónico del año 1992.

ANEXO 2. Diseño estructural del año 1992.

ANEXO 3. Diseño estructural - solución de estabilización del año 2016.

ANEXO 4. Levantamiento topográfico del año 2016.

ANEXO 5. Ficha de identificación.

ANEXO 6. Levantamiento arquitectónico actualizado.

ANEXO 7. Levantamiento topográfico real.

ANEXO 8. Fichas de calificación – Historia Clínica y Diagnóstico.

ANEXO 9. Informe resultados ensayos de laboratorio.

ANEXO 10. Estudio de vulnerabilidad sísmica.

ANEXO 11. Estudio de Reforzamiento Estructural.

ANEXO 12. Planimetría Reforzamiento.