

**ESTUDIO PATOLÓGICO DEL EDIFICIO CENTUM BUSINESS BUILDING
UBICADO EN EL BARRIO LA CASTELLANA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ
D.C.**



**ESTUDIANTE:
EDWIN ORLANDO ORTIZ CÁRDENAS**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS ABIERTA Y A DISTANCIA (VUAD)
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE PATOLOGIA DE LA
CONSTRUCCIÓN BOGOTA D. C. DICIEMBRE DE
2019**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	4
JUSTIFICACIÓN	5
OBJETIVOS	6
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
MARCO REFERENCIAL	7
MARCO TEÓRICO	7
MARCO LEGAL	9
MARCO HISTÓRICO	9
ALCANCES Y LIMITACIONES	10
METODOLOGÍA	10
DESCRIPCIÓN DE LA SELECCIÓN DEL PACIENTE	10
PREPARACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	10
INSPECCIÓN PRELIMINAR DEL PACIENTE.....	11
RECOPIACIÓN 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	11
HISTORIA CLINICA	12
Responsable del estudio:	12
Fecha de realización del estudio	12
Datos generales del paciente.....	12
Datos específicos de las lesiones y Afectaciones:	14
Descripción de la patología más relevante	19
Clasificación y origen de la patología	21
Datos generales del entorno.....	21
Arquitectura	23
Especificaciones Técnicas de los materiales para elementos estructurales	24
Especificaciones Técnicas de los materiales para elementos No estructurales	24
Estructura.....	25

SISTEMA ESTRUCTURAL	25
CARGAS DE DISEÑO	26
CIMENTACIÓN	26
ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO	27
Suelos y cimentaciones.....	27
TOPOGRAFÍA Y NIVELES	28
ESTUDIO DE SUELOS.....	28
Tipo de cimentación realizada.....	29
DIAGNÓSTICO.....	29
Origen y causa de las lesiones.....	30
Evolución y Estado actual de las lesiones.....	30
Ensayos de Laboratorio.....	30
ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	35
METODOLOGÍA ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	35
Microzonificación de la zona.....	35
CARACTERIZACIÓN SÍSMICA	37
Figura 39: Valores Aa y Ad. Fuente: NSR-10.....	37
Análisis de vulnerabilidad sísmica del paciente	38
PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	39
PRESUPUESTO	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA	44

INTRODUCCIÓN

El siguiente estudio de patología está dirigido a un edificio para uso de oficinas llamado **Centum Business Building**, ubicado en la ciudad de Bogotá, localidad No. 12 de Barrios Unidos. La edificación cuenta con 3 sótanos y 20 pisos de altura, con un área aproximada de construcción 27.200 m² en un lote de 2.084m², la estructura del edificio es tipo convencional en concreto reforzado con luces entre columnas no mayores a 10m de longitud.

El paciente presenta síntomas patológicos en las áreas de sótanos con afectaciones en placas y en muros pantalla, los cuales serán analizados y evaluados en el presente estudio.

JUSTIFICACIÓN

La patología que presenta el paciente en estudio incluye afectaciones químicas, mecánicas, físicas y biológicas, que comprometen la integridad de los elementos estructurales en las áreas de sótanos, por lo cual se realizó una inspección detallada en el sitio a cada elemento para determinar su grado de afectación.

Los elementos afectados como barretes comprometen la estabilidad de la estructura, pues son elementos que reciben y transmiten las cargas del edificio a la cimentación, los elementos como muros pantalla que presentan afectaciones como reducción de sección y problemas de filtración pueden generar falla, pues la capacidad de soporte se reduce.

Debido a la afectación que presenta el edificio en el área de sótanos, es relevante hacer un estudio con la recopilación de información pertinente y requerida para obtener un diagnóstico y así proponer un método de intervención que se ajuste a las necesidades presentadas y garantice una estabilidad razonable.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- ✓ Realizar un estudio patológico al edificio **Centum Business Building**, aplicando los conocimientos adquiridos en el Postgrado de Patología de la Construcción, realizando un diagnóstico de las afectaciones presentes en los elementos de la estructura, identificando las alternativas de intervención, planeación, ejecución y mantenimiento de los elementos estructurales afectados en las áreas de sótanos para el paciente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Inspeccionar los muros pantalla, barretes y placas de entrepiso de sótanos para identificar las lesiones y tipo de patología que presentan.
- ✓ Exponer la metodología de intervención teniendo en cuenta el sistema estructural, la historia clínica y las inspecciones realizadas del paciente durante el estudio del caso.
- ✓ Determinar las medidas preventivas y de intervención a realizar para mitigar el impacto por el paso del tiempo antes de realizar la intervención definitiva.

MARCO REFERENCIAL

MARCO TEÓRICO

El proyecto de construcción denominado **Centum Business Building** es un edificio de oficinas localizado en la ciudad de Bogotá D. C., localidad 12 de Barrios Unidos, en la Unidad de Planeación Zonal UPZ #21 Los Andes, cuenta con un área aproximada de construcción de 27.200 m² en un lote de 2.084 m², La edificación cuenta con 3 sótanos y 20 pisos de altura, la estructura del edificio es tipo convencional en concreto reforzado con luces entre columnas no mayores a 10 m de longitud, cuenta con estudio de suelos, el edificio pertenece al grupo de uso tipo III, se encuentra en la microzonificación lacustre 300, dentro del tratamiento de renovación urbana, cuenta con actividades de comercio, servicios empresariales, financieros, profesionales, técnicos, especialistas, personales y alimentarias.

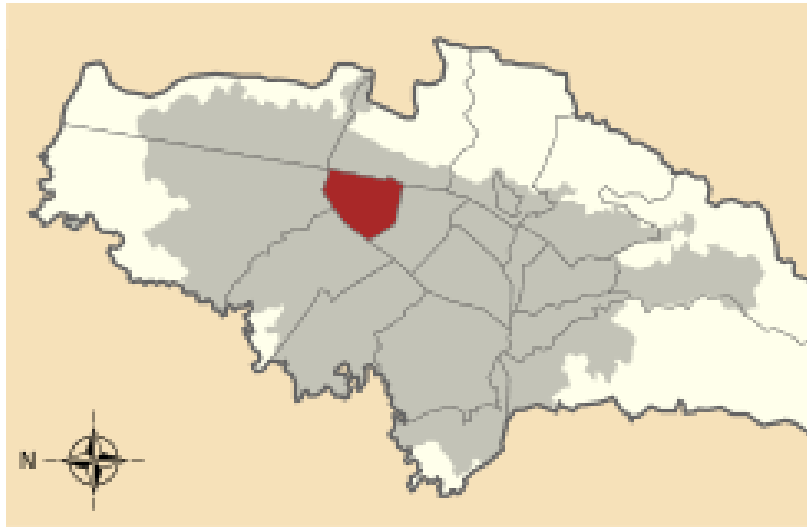


Figura 1: Localización general Localidad Barrios Unidos Ciudad de Bogotá . Fuente www.Google



Figura 2: Localización general UPZ 21 Los Andes Fuente: www.Googlemaps.com



Figura 3: Localización específica del proyecto barrio La Castellana. Fuente: www.Googlemaps.com

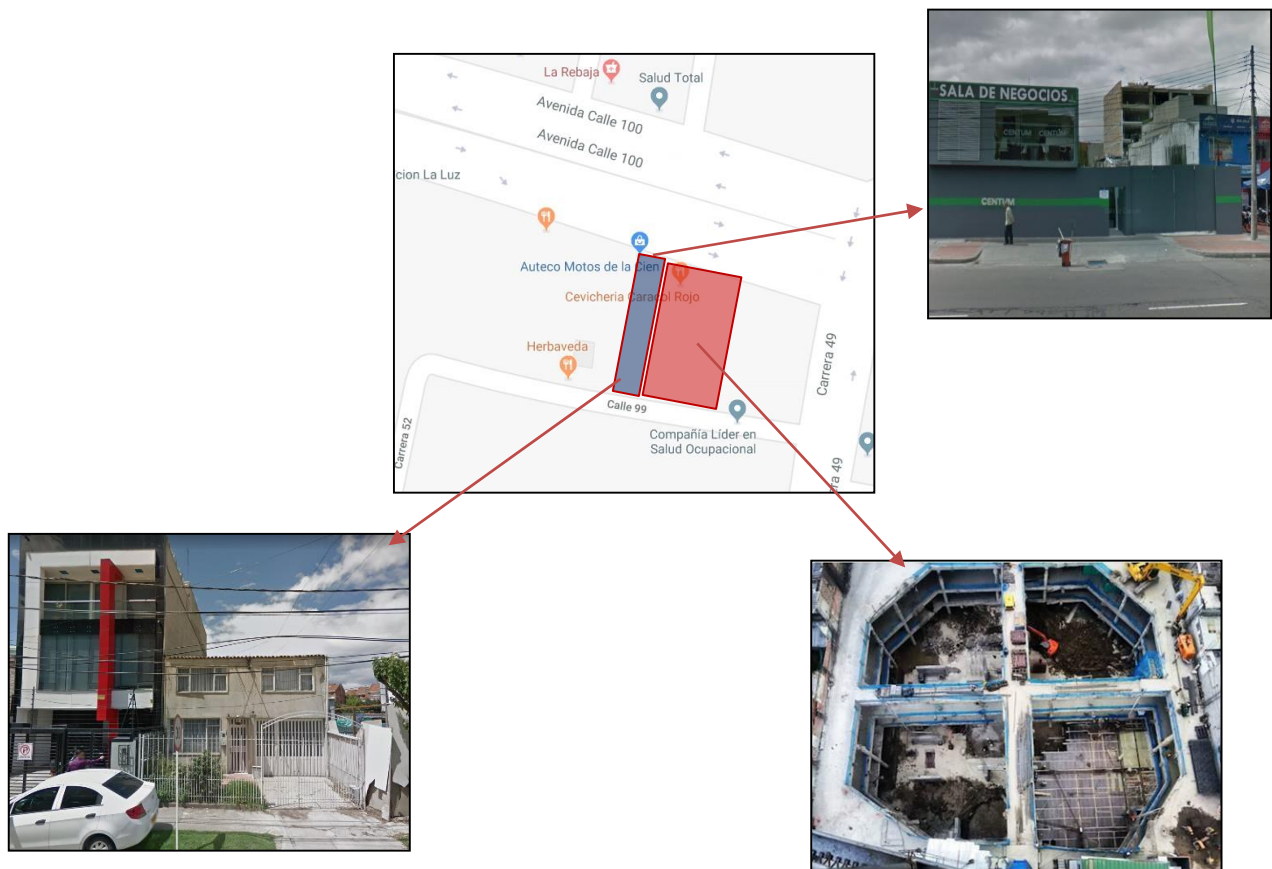


Figura 4: Localización específica del proyecto barrio La Castellana. Fuente: Propia y www.Googlemaps.com

MARCO LEGAL

El edificio **Centum Business Building** cuenta con licencia de construcción expedida por la Curaduría Urbana número 2 de la Ciudad de Bogotá D. C., firmada por el arquitecto Germán Moreno Galindo, con número de licencia LC-15-2-1893, fecha de expedición diciembre 11 de 2015 y fecha de ejecutoría febrero 19 de 2016.

La licencia de construcción fue otorgada para obra nueva con demolición total del predio existente, licencia otorgada bajo el Plan de Ordenamiento Territorial POT de la Secretaría Distrital de Planeación, Decreto 190 de 2004, se requirió cancelar el costo de 68 estacionamientos para visitantes requeridos de acuerdo con el Decreto 323 octubre 8 de 2004 por medio del cual se reglamenta el Fondo para el Pago Compensatorio de Cesiones Públicas para Parques y Equipamientos y el Fondo para el Pago Compensatorio de Estacionamientos y el Decreto 562 diciembre 12 de 2014 por el cual se reglamentan las condiciones urbanísticas para el tratamiento de renovación urbana, se incorporan áreas a dicho tratamiento, se adoptan las fichas normativas de los sectores con este tratamiento y se dictan otras disposiciones.

El diseño estructural del edificio fue realizado de acuerdo con los parámetros indicados en el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10 actualizado mediante el Decreto 926 de marzo 19 de 2010, el cual actualizó la norma NSR-98 la cual fue adoptada por la Ley 400 de agosto 19 de 1997 en actualización del decreto 1400 de 1984 por el cual se adopta el Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes. Decreto 523 de diciembre 10 de 2010 por el cual se adopta la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá D. C., Resolución 600 de diciembre 29 de 2015 del IDIGER por la cual se adoptan los Lineamientos Técnicos para la Reducción de Riesgos en Excavaciones en Bogotá D.C.

MARCO HISTÓRICO

El edificio fue diseñado y construido desde febrero de 2017 hasta diciembre de 2018, de acuerdo con el estudio de mercado y de características del sector, se planteó un proyecto dedicado a solucionar las necesidades de los empresarios que demandan un lugar con buena ubicación para sus actividades económicas.

La normativa que se mencionó anteriormente ha sido resultado de modificaciones y actualizaciones a través del tiempo, principalmente las realizadas al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistentes NSR-10, donde se ha tenido en cuenta las disposiciones del Plan de Ordenamiento Territorial, lo inherente al índice de edificabilidad y demás requerimientos que exige la curaduría urbana para otorgar la licencia de construcción.

La implementación de este tipo de edificios en estructura apertada de gran altura y con varios niveles de sótanos han sido el resultado de optimizar al máximo el área construible, teniendo en cuenta las limitaciones de tipo urbanístico como por ejemplo los aislamientos laterales y posteriores que se deben realizar a la hora de concebir el diseño arquitectónico y estructural.

Es de conocimiento por parte del Constructor los riesgos a los que se encontrará expuesto

durante y después de la construcción de muros de contención para los sótanos del edificio, pues intervenir el suelo alterando sus características o condiciones normales causa afectación no solo a los predios aledaños si no a también a la estructura misma, pues los elementos estructurales al estar en contacto permanente con el suelo y el nivel freático, se pueden ver afectados a través del tiempo, afectaciones que a la fecha en el mercado se han podido evitar de forma parcial.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Debido al tamaño del proyecto el presente caso de estudio patológico está enfocado únicamente al área de sótanos, es allí donde se presentan las lesiones más relevantes que pueden comprometer la estructura, llevando así, a un caso real la aplicación de los conocimientos obtenidos en patología de la construcción a nivel académico con las limitantes que ello implica.

El alcance:

- Inspección visual de la patología más relevante presentada en elementos estructurales como barretes y muros pantalla perimetrales en sótanos.
- Inspección, medición y seguimiento de las anomalías encontradas.
- Descripción, análisis y diagnóstico de las posibles causas de la afectación.
- Propuestas de intervención de forma viable donde se incluye presupuesto.

Las limitantes:

- Imposibilidad de realizar ensayos ligeramente destructivos.

METODOLOGÍA

DESCRIPCIÓN DE LA SELECCIÓN DEL PACIENTE

Durante el transcurso del post-grado de especialización en Patología de la Construcción, se han dado pautas que se deben tener en cuenta para la selección del paciente, durante la búsqueda del mismo, se evaluó en primera instancia un paciente que cumpliera con la mayor cantidad de información y documentación, así como la facilidad para realizar inspecciones de campo para conocer de primera mano la patología que presenta.

PREPARACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

Para realizar el estudio patológico del edificio **Centum Business Building** se realizaron las siguientes etapas:

ETAPA 1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN: Se recopila información relevante como planos estructurales, planos de proceso constructivo de sótanos y especificaciones de los materiales estructurales, así como el grado de disipación de energía frente a un sismo.

ETAPA 2 INSPECCIÓN DE CAMPO: Se realizó visita al proyecto **Centum Business Building**, para obtener registro fotográfico de los elementos afectados, medición e

identificación de los tipos de lesiones que presenta la estructura.

ETAPA 3 DIAGNÓSTICO: De acuerdo con la información obtenida en las etapas anteriores donde se identificó el origen y causa de las lesiones, se obtuvo un diagnóstico que logra evaluar el grado de afectación que presentan los elementos estructurales.

INSPECCIÓN PRELIMINAR DEL PACIENTE

Se realizó una primera visita al proyecto el día lunes 13 de mayo de 2019 para informar al Constructor de la información requerida para cumplir con el programa de post-grado en Patología de la Construcción, identificando así lesiones que son apropiadas para realizar el presente estudio de patología.

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL ESTUDIO

Mediante carta dirigida al Constructor se solicitó permiso para acceder al proyecto y a la documentación técnica del mismo, argumentando la necesidad de realizar una inspección de obra con el fin de cumplir con el programa de estudio cursado, obteniendo así documentos como planos estructurales, arquitectónicos, estudio de suelos, licencia de construcción, ensayos de concreto y acero.

PERMISOS Y AUTORIZACIONES PARA ABORDAR ESTUDIO AL PACIENTE

Mediante la solicitud dirigida al Constructor se informó cada una de las actividades a realizar, teniendo en cuenta que no fueron de carácter destructivo que pudieran comprometer la estructura, se programaron tres visitas con su debida autorización para realizar registro fotográfico, acceder a los ensayos de laboratorio para las muestras de concreto y acero, así como la revisión de planos estructurales para realizar las fichas de patología e identificar con precisión cada uno de los elementos estructurales que presentaron algún tipo de afectación.

DEFINICIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO QUE REALIZÓ LA EXPLORACIÓN

El presente estudio patológico es responsabilidad del estudiante Edwin Orlando Ortiz Cárdenas, quien accedió a las instalaciones del proyecto **Centum Business Building**, el cual al momento de la visita inicial se encontró en un avance del 90% de su construcción.

DEFINICIÓN DE LOS MEDIOS PARA REALIZAR LA EXPLORACIÓN

Para la identificación de lesiones en los elementos estructurales, se requirió equipo y herramienta menor como cámara fotográfica, planillera, flexómetro, cinta métrica, plomada de centro punto, planos estructurales y ensayos de laboratorio con resultados de muestras de concreto y resultados de ensayos de acero para determinar si cumplen con las especificaciones técnicas indicadas en el diseño estructural.

HISTORIA CLINICA

Responsable del estudio: El responsable del presente estudio patológico es el ingeniero Edwin Orlando Ortiz Cárdenas.

Fecha de realización del estudio: El inicio de la investigación de patología para el edificio Centum Business Building inició el día miércoles 10 de abril de 2019 y finalizó el 13 de diciembre de 2019.

Datos generales del paciente: Nombre: **Edificio Centum Business Building**

Localización: El paciente se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá, localidad 12 de Barrios Unidos, en la Unidad de Planeación Zonal UPZ 21 Los Andes.

Uso: El edificio fue diseñado y construido para uso de oficinas y centro de negocios.

Fecha de construcción: Inició en marzo de 2017 y finalizó en julio de 2019.

Sistema estructural y constructivo: De acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo – Resistente NSR-10, Título A - Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo – Resistente, Capítulo A.3.2. Sistemas Estructurales, Numeral A.3.2.1.2 Sistema combinado, el proyecto se encuentra dentro de la clasificación del literal b) Sistema aporticado (vigas y columnas), donde las cargas verticales y horizontales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, compuesta además por placas de sección compuesta en lámina colaborante y elementos no estructurales diseñados con grado de desempeño bueno.

Técnica constructiva: La excavación de los sótanos, se llevó a cabo teniendo en cuenta un sistema de pantallas pre-excavadas, enlazadas entre sí, con anillos de concreto reforzado y cartelas, fundidas en los diferentes niveles de los sótanos. Para la extracción del material de excavación de los sótanos, se dejaron ventanas en las placas aéreas, para la extracción del material de excavación. El proyecto contempla la construcción de los tres sótanos con un área aproximada por piso de 1.900 m², iniciado desde piso 1 (NE-0.05) hasta el nivel de cimentación se tiene un sistema estructural aporticado en concreto reforzado y losas aligeradas de sección compuesta. El edificio cuenta con una cimentación combinada, conformada por placa aligerada con una losa de sub-presión de 0.3 m y vigas descolgadas de 1.50 m de altura, con pilotes pre-excavados tipo Kelly constructivos y definitivos.

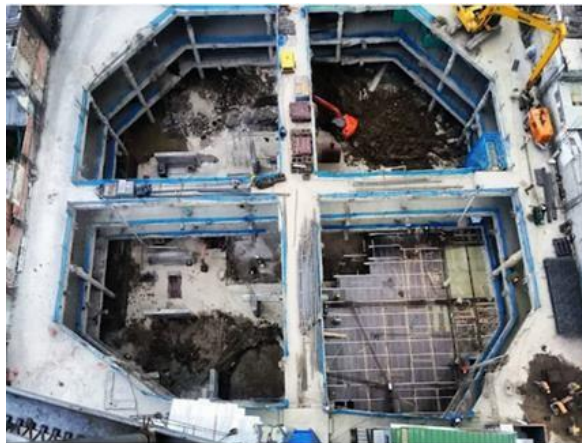


Figura 5: Vista general excavación de sótanos. Fuente propia

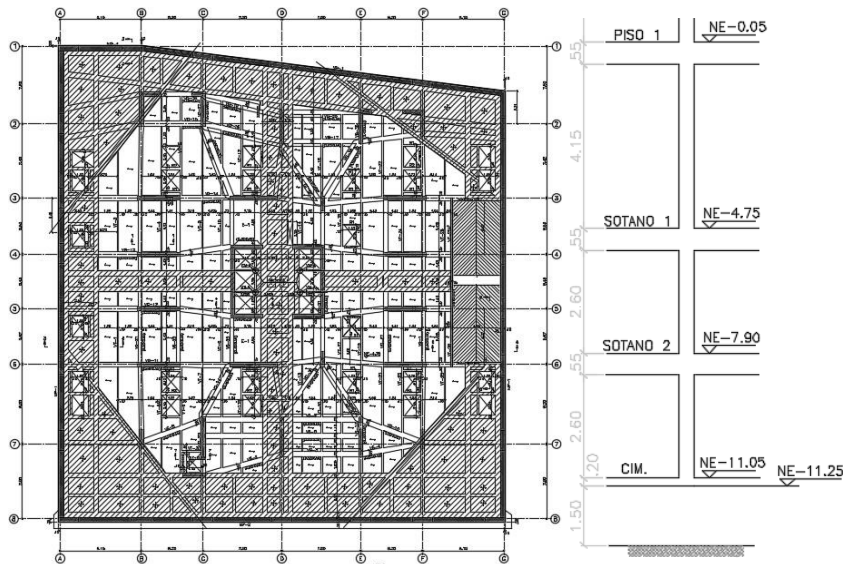


Figura 6: Planta y alzado de sótanos

Uso actual y previsto del sector: El sector en general conformó la hacienda El Vergel, que estaba ubicada en cercanías al municipio de Suba. A partir del año 1950, se dio inicio a las primeras construcciones, en la actualidad es un sector dedicado a servicios comerciales y de oficinas sin olvidar su origen que es de uso residencial.

Importancia del paciente: Toda construcción debe garantizar y salvaguardar la vida humana, sin importar el uso que tenga debe cumplir con un grado de desempeño que permita la disipación de las ondas sísmicas y así la evacuación total de las personas que se encuentren en ese momento. El estudio de las afectaciones que presenta el paciente en estudio se enfoca a nivel de sótanos, considerado de gran importancia debido a la vulnerabilidad que puede ser progresiva, y con el paso del tiempo afectar a todo el sistema de resistencia sísmica de la edificación.

Normativa actual que lo rige: El edificio fue concebido y construido bajo el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente 2010, así como las normas NTC aplicables a los materiales para elementos estructurales y no estructurales usados para su construcción.

Tipo de cimentación: Está compuesta por Pilotes y pantallas pre-excavados en concreto reforzado a 40m de profundidad, unidas a vigas con alturas máximas de 1,50m y placa de sub-presión espesor 0,30m.

Altura: Un total de 70,03 m para 20 pisos.

Área: El área total construida es de 27.420 m², distribuida en 26.362 m² para uso de oficinas y servicios profesionales y 1.058 m² para uso comercial.

Estado general de la construcción: La construcción finalizó en julio de 2019, la estructura se observa estable ya que es una construcción nueva que clasifica al paciente en la categoría pediátrica.

Fidelidad de los planos: Los planos estructurales fueron realizados por la empresa de diseño estructural SOIC San Miguel Olejua Ingenieros civiles.

Constatación del estado del paciente: El edificio **Centum Business Building** se encuentra actualmente en funcionamiento.

Aplicación patológica: Pediátrica.

Datos específicos de las lesiones y Afectaciones:

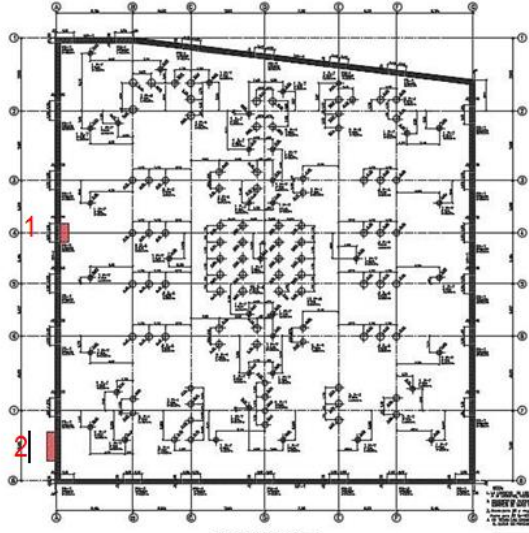
FICHA 1

Acción: Mecánica

Identificación: Elementos de contención perimetrales inclinados y con pérdida de sección, lesión indirecta por proceso constructivo

Localización: Muros perimetrales sótano 3

Tipo de material: Concreto reforzado de 28 MPa (280 kgf/cm²) = 4.000 psi



Registro fotográfico

1. Barrete eje A-4 2. Muro pantalla eje (A/7-8)



Descripción: Barretes desplazados 0,4m generan que la carga vertical que asume tenga una componente horizontal, disminuyendo así su capacidad de carga vertical. Es conveniente hacer que los barretes trabajen solidariamente con los módulos de pantalla, para que asuma algo de la carga vertical y compensar así la pérdida por la desviación.

Figura 7: Ficha de Patología #1. Fuente propia

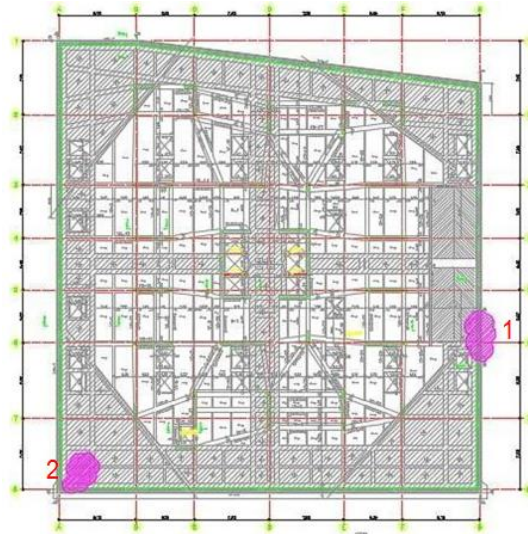
FICHA 2

Acción: Química

Identificación: Elementos estructurales afectados por humedad del nivel freático, expansión del acero por corrosión y desprendimiento del recubrimiento de concreto

Localización: Muros perimetrales sótano 3

Tipo de material: Concreto reforzado de 28 MPa (280 kgf/cm²) = 4.000 psi



Registro fotográfico:

1. Muro pantalla eje G-6

2. Filtraciones ejes (1-2)/(7-8)



Descripción: Afectación de barretes y muros pantalla por filtración de agua del nivel freático -3m según estudio de suelos, ocasionando corrosión y aumento de volumen del acero de refuerzo generando esfuerzos internos de tensión en la masa de concreto que resulta en la fractura y posterior pérdida del recubrimiento acelerando así el proceso de corrosión en el refuerzo del elemento estructural.

Figura 8: Ficha de Patología #2. Fuente propia

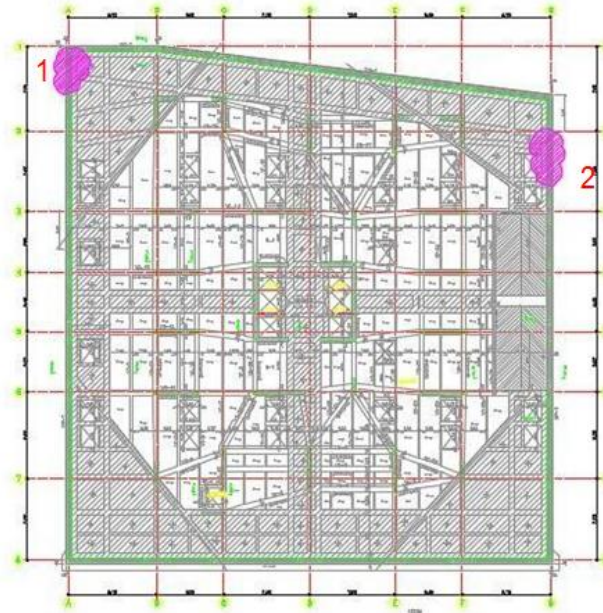
FICHA 3

Acción: Química

Identificación: Inventario acciones físicas Expansión del acero por corrosión

Localización: Muros perimetrales sótano 2, vigas aéreas sótano 1

Tipo de material: Concreto reforzado de 28 MPa (280 kgf/cm²) = 4.000 psi



Registro fotográfico:

1. Vigas aéreas ejes 1-A



2. Muros pantalla ejes G (2-3)



Descripción: Concreto afectado por humedad en contacto directo con el acero de refuerzo, evidenciando un acción química que produce la corrosión y su aumento de volumen. En las vigas aéreas donde se alcanza a evidenciar que el acero de refuerzo queda sin el recubrimiento de concreto mínimo, se observan filtraciones constantes entre juntas de pantallas.

Figura 9: Ficha de Patología #3. Fuente propia

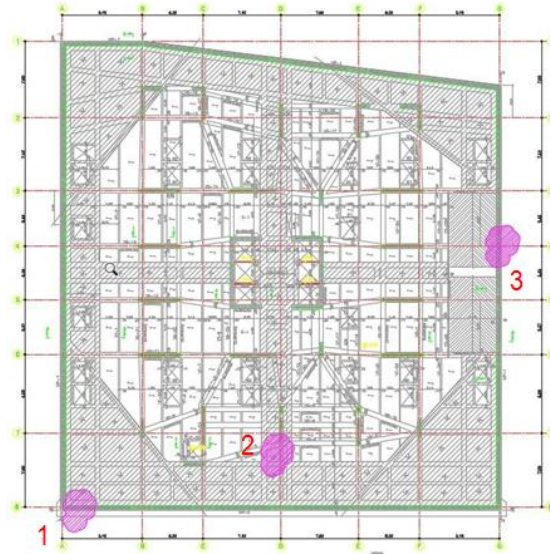
FICHA 4

Acción: Química

Identificación: Inventario acciones físicas Expansión del acero por corrosión

Localización: Muros perimetrales sótano 1, vigas aéreas piso 1

Tipo de material: Concreto reforzado de 28 MPa (280 kgf/cm²) = 4.000 psi



Registro fotográfico:

1. Muro pantalla ejes A-8



2. Vigas aéreas ejes D (7-8)



3. Muro pantalla ejes G-4



Descripción: 1. Vigas afectadas por falta de concreto de limpieza. 2. Perdida de recubrimiento en vigas. 3. Acero de refuerzo expuesto en muros pantalla por falta de la instalación de distanciadores durante el proceso constructivo, el acero de refuerzo expuesto a la corrosión causa una posterior afectación del concreto.

Figura 10: Ficha de Patología #4. Fuente propia

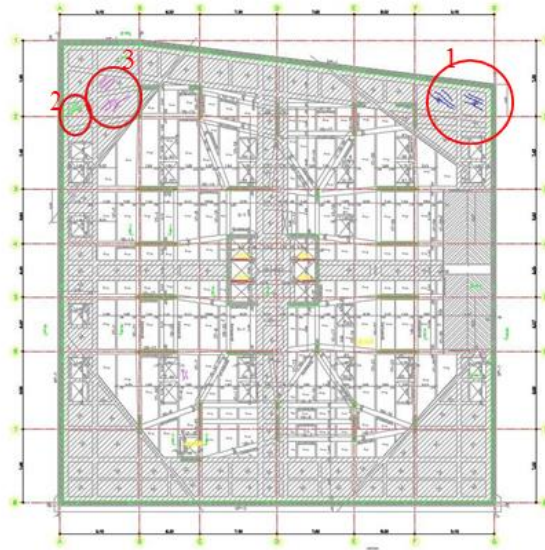
FICHA 5

Acción: Mecánica

Identificación: Fisuras en placa de entrepiso por cargas impuestas

Localización: Muros perimetrales sótano 1, vigas aéreas piso 1

Concreto: Concreto reforzado de 21 MPa (210 kgf/cm²) = 3.000 psi



Registro fotográfico:

1. Losa piso 1, ejes F-G/1-22 2. Losa sótano 1, ejes F-G/1-2 3. Losa sótano 2 ejes A-B/1-2



Descripción: Se evidencia fisuras localizadas que atraviesan el espesor de la losa (9 cm), por lo que se consideran estructurales, se otorga la categoría de dichas fisuras a sobre cargas impuestas, se realizó seguimiento mediante testigos de yeso evidenciando que son fisuras en estado pasivo.

Figura 11: Ficha de Patología #5. Fuente propia

Descripción de la patología más relevante

Teniendo en cuenta el análisis de las cinco (5) fichas de patología, encontramos afectaciones de tipo mecánico, químico y físico, siendo las primeras las más relevantes a corto plazo, estas afectaciones mecánicas pueden generar a su vez otra afectación al asumir sobrecargas no consideradas o movimientos excesivos que pueden generar fractura de los elementos estructurales, estos fenómenos pueden comprometer la estructura y aumentar la vulnerabilidad sísmica de los mismos.

Durante la inspección de las **afectaciones mecánicas** registradas en la ficha de patología #1 se encontró elementos de contención tipo barrete con inclinaciones no deseadas que modifican las componentes de las fuerzas actuantes, impidiendo su desempeño según fue diseñado, afectando su sección y así mismo disminuyendo su capacidad de carga. En la ficha de patología #2 se observa fisuras en placas de piso 1, sótano y 2 debido a cargas impuestas por obra y a la falta de apuntalamiento o apeo durante la construcción de los pisos superiores. Se realizaron testigos en yeso para comprobar el estado de las mismas, encontrando que son fisuras pasivas.

En las fichas de patología #2, #3 y #4 se evidenció afectación química del acero de refuerzo, el cual está expuesto a corrosión y en contacto directo con el suelo que puede generar reacción con el dióxido de carbono y desencadenar la carbonatación de los elementos estructurales como vigas y muros pantalla.

Por último se observó afectaciones por acción física que conllevan a una afectación de tipo químico, como por ejemplo la humedad por filtración de agua entre juntas de pantallas y barretes, posiblemente por nivel freático alto, ya que los sótanos se encuentran a nivel de -11.25 metros y el nivel freático se encuentra a -3,0m. También se observó en las vigas aéreas acero de refuerzo sin recubrimiento mínimo de concreto que deja el acero expuesto a la corrosión o desprotegido en un eventual incendio.

En el área interior del sótano 2 se pueden observar manchas en superficies tipo eflorescencias, y manchas en superficies por posible retención de humedad y filtraciones por nivel freático, también se observan filtraciones de líquidos por obra y depósito de suciedad lo cual conlleva a formación de manchas de color verdoso y formación de moho y hongos.



Figura 12: Filtración, humedad y corrosión del refuerzo expuesto en Sótano 3. Fuente: Propia.



Figura 13: Acciones físicas, químicas y biológicas en Sótano 2. Fuente: Propia.



Figura 14: Ejemplo de pérdida del recubrimiento.



Fuente: <https://www.solucionesespeciales.net/la-humedad-y-el-hormigon-astillado>

Figura 15: Acciones físicas, suciedad, humedad por obra en Sótano 2.

Fuente: Propia.

Clasificación y origen de la patología

La patología registrada en la ficha #1 se considera de tipo indirecto, ya que fue causada por un error de precisión en el proceso constructivo durante la excavación del módulo de pantalla-barrete, en la figura 16 se muestra un ejemplo de la maquinaria usada para la excavación de los módulos de pantalla, la extracción del material de excavación se realiza mediante el empleo de la cuchara bivalva que funciona al cable y entra por caída libre en el suelo, es allí donde probablemente se originó el desplome en la excavación. Esto sucede cuando la cuchara se encuentra con una gran masa de roca que obstruye el trayecto de la excavación afectando la verticalidad y por consiguiente se genera un desplome inevitable en el elemento a construir.



Figura 16: Grúa-pluma con cuchara bivalva. Fuente: <http://verificacionmaquinaria.anedma.com/listado-maquinas/pantalladora>

Datos generales del entorno

Se observa afectación en la edificación aledaña al paciente, se trata una vivienda de 2 pisos que presenta fisuras en fachada y desprendimientos del recubrimiento, además se observa una clara inclinación de la vivienda posiblemente por asentamientos diferenciales debido a la intervención del suelo para la construcción de los 3 sótanos del paciente en estudio. Se realizó control topográfico semanal para conocer los movimientos externos encontrando un asentamiento máximo acumulado hasta la fecha de 7 cm.



Figura 17: Afectación de predios vecinos. Fuente: Propia.

Medio ambiente, temperatura y precipitaciones del sector

Temperatura: Se observa que la temperatura más alta durante la última semana del mes de noviembre de 2019 fue de 16 grados centígrados.

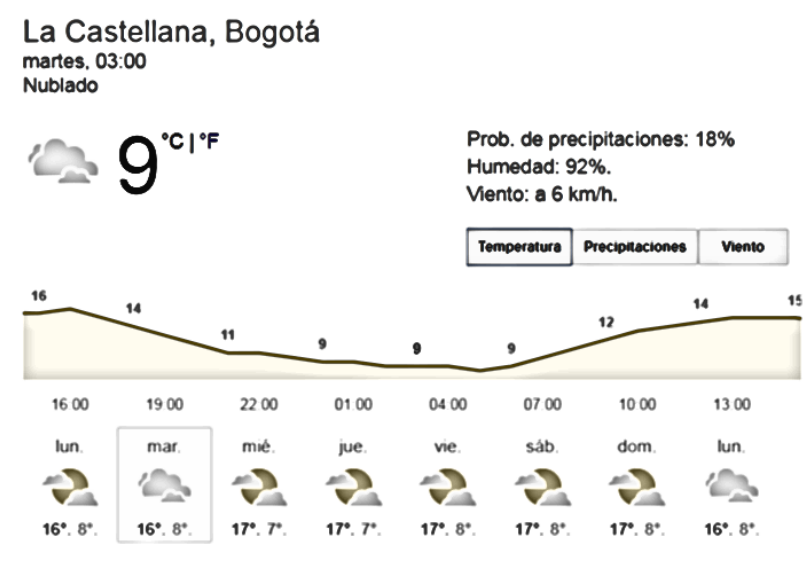


Figura 18: Temperatura semana 4 noviembre de 2019 sector de La Castellana Bogotá D. C.

Fuente: www.google.com/presipitacionesenelbarriola castellana.

Probabilidad de precipitación: Se observa máxima probabilidad de precipitación del 24%.

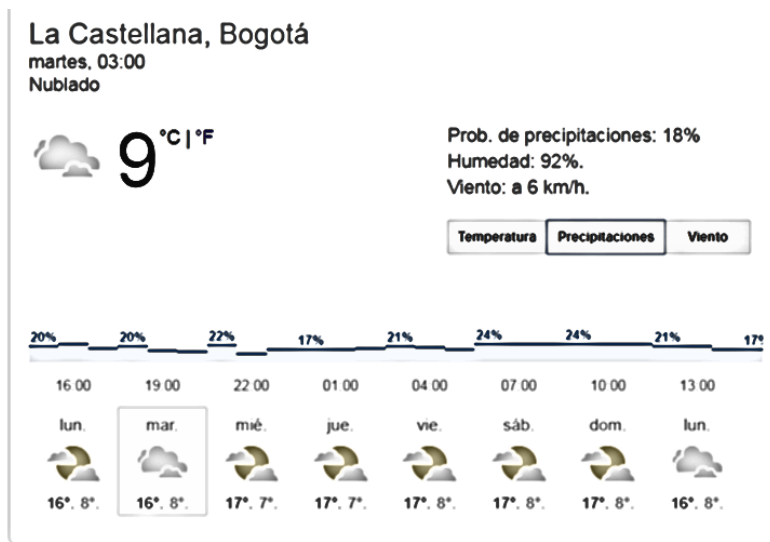


Figura 19: Precipitaciones semana 4 noviembre de 2019 sector de La Castellana Bogotá D. C.

Fuente: www.google.com/presipitacionesenelbarriola castellana.

Viento: Se observa viento máximo de 18 km/h.



Figura 20: Precipitaciones semana 4 noviembre de 2019 sector de La Castellana Bogotá D. C.

Fuente: www.google.com/presipitaciones+en+el+barrio+la+castellana.

Se consulta datos de humedad del sector, la cual llegó a un máximo de 59%, condensación de 9°, presión atmosférica de 1026,4 mb y una visibilidad 9,7 km.

Nivel freático y escorrentías

De acuerdo con la información anterior y el estudio de suelos del paciente, existe presencia de nivel freático encontrado durante la exploración del sub-suelo a -3,0m, sumado a la probabilidad de precipitación que generalmente aumenta en el mes de noviembre de 2019, pueden generar escorrentía y aumento del nivel freático, incrementando así la cantidad de agua que afecta a los elementos estructurales que conforman el perímetro de contención de los 3 sótanos.

Arquitectura

El paciente presenta un estilo arquitectura moderna donde forma pórticos en concreto reforzado con placas de entrepiso de sección compuesta con lámina colaborante, presentando aislamiento lateral de 8,1m desde el piso 4 hasta el piso 14, 11,20m desde el piso 15 hasta el piso 19 y de 14,4 en el piso 20.



Figura 21: Vista renderizada del paciente. Fuente: Google.com.search.edificio.centum

Materiales para elementos estructurales y no estructurales

Especificaciones Técnicas de los materiales para elementos estructurales:

Concreto pilotes = 24,5 MPa (245 kgf/cm²) = 3.500 psi

Concreto muros y columnas - CIM a Piso 7 = 35,0 MPa (350 kgf/cm²) = 5.000 psi

Concreto muros y columnas - Piso 8 a CUB = 28,0 MPa (280 kgf/cm²) = 4.000 psi

Concreto muros pantalla y barretes 28,0 MPa (280 kgf/cm²) = 4.000 psi.

Concreto vigas aéreas $f'c = 21,0$ MPa (210 kgf/cm²) = 3.000 psi.

Acero para #3 y mayores $f_y = 4.200$ kg/cm²

Acero para #2 $f_y = 2.400$ kg/cm²

Especificaciones Técnicas de los materiales para elementos No estructurales:

Los elementos no estructurales son principalmente muros en mampostería estructural que tienen un grado de desempeño bueno, se encuentran involucrados a la estructura mediante refuerzo vertical (dovelas) y dilatado de los elementos estructurales como vigas, columnas y muros pantalla, algunos muros presentan remates superiores con viga canchada (cinta superior en concreto reforzado que usa como formaleta las caras de las unidades de mampostería), mitigando así la posibilidad de volcamiento o fractura que pueda comprometer el desempeño de la estructura u obstaculizar las vías de evacuación durante un evento sísmico.

Para el revestimiento de fachadas presenta materiales como paneles de polietileno de alta densidad y vidrio templado y laminado.

Proceso constructivo

El proceso constructivo inició con la construcción pilotes, pantallas y barretes, la excavación de los tres sótanos se realizó siguiendo el protocolo indicado por el ingeniero estructural, quien elaboró planos constructivos para las diferentes etapas de excavación, disponiendo de viga andén, cartelas, vigas puntales y pasarelas vehiculares apoyadas en pilotes constructivos que comunican el perímetro de la estructura con el fin de crear aberturas que permitan la rápida extracción del material proveniente de la excavación y principalmente dar rigidez a la estructura, donde encontramos elementos estructurales dispuestos de forma horizontal sometidos a esfuerzos de compresión principalmente (vigas puntales)

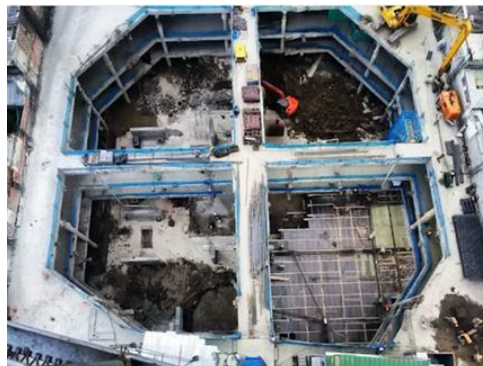


Figura 22: Vista general Proceso constructivo de sótanos Fuente: Propia

Estructura

La configuración geométrica del paciente en estudio comprende un predio esquinero con una configuración en planta de forma regular, casi cuadrada con un área de 2.084 m² que no requirió el uso de juntas sísmicas para evitar golpeteo durante un evento sísmico.

En cuanto a la disposición geométrica de la altura el edificio, esta presenta altura total de 70,0 m, voladizos de 1,50 m por el costado norte, y de 0,80 m en el costado sur, con aislamientos laterales de 8,0 m.

En su elevación presenta reducción en el área de placa de entrepiso de forma escalonada con 8,10 m del piso 4 al piso al piso 14 y de 11,2 m del piso 15 al piso 19. No presenta distribución irregular de masas.

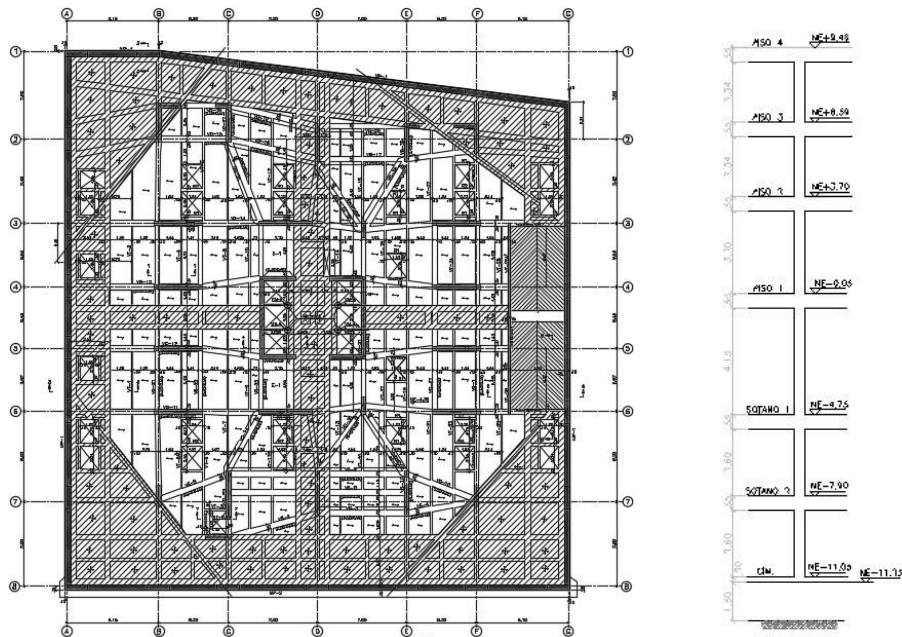


Figura 23: Planta y Esquema Vertical Sótanos del edificio Centum Business Building

SISTEMA ESTRUCTURAL

El diseño estructural fue concebido mediante el método de resistencia última, para un sistema combinado de 20 pisos con 3 sótanos, apoyado sobre un sistema de cimentación profunda de pilotes, barretes y pantallas pre-excavados a 40 y 60 metros de profundidad, con un sistema de entrepiso de sección compuesta con lámina colaborante y vigas en concreto y vigas de acero PHR.

El entrepiso fue diseñado y construido en sección compuesta con lámina colaborante con conectores de cortante para unir el concreto con la lámina de acero conformando un espesor total de 10 cm apoyada sobre vigas con sección promedio de 0,50 m X 0,55 m, las placas de entrepiso presentan aberturas para seis cabinas de ascensores, vacíos que se encuentran enmarcados o delimitados con elementos estructurales como vigas y viguetas.

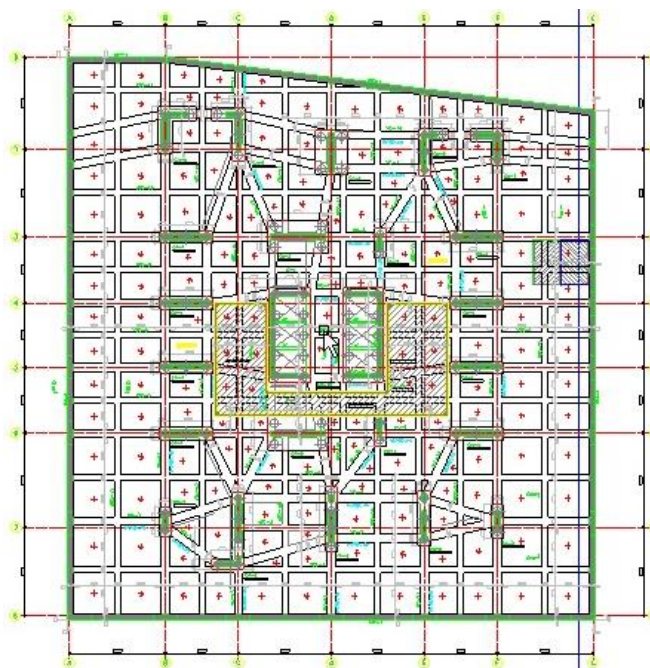


Figura 24: Planta de piso 1 fuente: Diseño estructural Centum

CARGAS DE DISEÑO

La estructura del edificio es convencional en concreto reforzado con luces entre columnas no mayores a 10 m de longitud, estimando un peso del edificio en su área en proyección de 22 T/m² y por lo tanto cargas en pedestal con valores máximos de 1100 T.

Debido al nivel freático que se encuentra a -3m, se diseñó una placa de cimentación a -11,5 m con una sub-presión de 8.5 T/m². El diseño estructural de la placa cuenta con un factor de seguridad a la falla de fondo o falla por capacidad de soporte a largo plazo.

Según análisis de asentamientos y compatibilidad de deformaciones entre pilotes y placa, se limitó el peso total del edificio a un valor de 20 T/m². De este peso total se le asignó a la losa bajo cargas descendentes el 30% y que corresponde a una carga de 6 T/m² y los pilotes tomarán el 70% restante, que corresponde a 14 T/m².

La constante de resorte o módulo de reacción de sub-rasante K_s , para el diseño estructural de la placa, sin tener en cuenta el efecto de los pilotes, tiene un valor comprendido entre 400 y 600 T/m³.

CIMENTACIÓN

El edificio **Centum Business Building** presenta una cimentación profunda compuesta por pilotes, con diámetros entre 0,60 m y 0,80 m pantallas con espesor de 0,50 m y longitud de 20,0 m y barretes con secciones de 0,60 m X 2,5 m y longitud hasta de 35,0 m que trabajarán por fricción sobre placa con un espesor de 0.35 m y vigas descolgadas de 1.5 m de altura, fundida

sobre arcillas de color gris oscuro y café, a una profundidad cercana a 11.5 m. Elementos estructurales que fueron diseñados y construidos de acuerdo con los resultados de los análisis obtenidos de las muestras de suelo extraídas en los sondeos determinando interacción suelo estructura.

Los elementos estructurales que componen la cimentación profunda presentan las siguientes capacidades de soporte en toneladas según su profundidad Z, su diámetro y el tipo de esfuerzo que asume.

Z (m)	Diámetros (m)		
	0.60	0.70	0.80
62	227.4	263.8	299.8
63	234.5	272.1	309.2

Figura 25: Pilotes a compresión

Z (m)	Diámetros (m)		
	0.60	0.70	0.80
62	249.1	293.3	338.3
63	256.5	302.0	348.3

Figura 26: Pilotes a tracción

Z (m)	Sección (m)			
	0.50 x 2.00	0.50 x 2.50	0.60 x 2.00	0.60 x 2.50
30	107.2	128.2	110.1	130.6
31	115.2	137.8	118.3	140.5
32	123.4	147.6	126.8	150.6
33	131.9	157.7	135.5	160.9
34	140.5	168.1	144.5	171.5
35	149.3	178.7	153.6	182.4

Figura 27: Pilotes rectangulares a compresión (Barretes) Fuente: Diseño estructural Centum

ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO

Teniendo en cuenta el Código Colombiano de Construcción Sismo – Resistente NSR-10, Título A.10.2.2.1 – La calificación de la construcción es buena ya que contó con un diseño estructural y una revisión al diseño, realizado por empresas reconocidas de consultoría y diseño y además hubo control de supervisión técnica permanente durante la construcción que realizó trazabilidad de los materiales estructurales garantizando la calidad de la construcción.

De acuerdo con el Título A.10.2.2.2 — Estado de la estructura —se realiza una calificación del estado actual de la estructura de la edificación, basada en la afectación que presenta como fisuración en placas por imposición de cargas no previstas, corrosión del acero de refuerzo de los elementos estructurales, inclinación de barretes por errores en el proceso constructivo, reformas que afectaron la sección de los barretes y juntas de los muros de contención con filtración de agua, por lo anterior la estructura se califica como regular.

Suelos y cimentaciones

Durante la inspección realizada no se observó asentamientos o rebotes en la estructura, considerando óptima la interacción suelo – estructura. La cimentación no presenta afectación a excepción de la humedad permanente en los muros de contención de sótanos que son propios e inevitables en este tipo de construcción.

TOPOGRAFÍA Y NIVELES

El estudio de suelos informa que al momento de realizar la exploración geotécnica el terreno presentaba una superficie prácticamente plana, con diferencias de nivel no mayor a 0.3 m, presenta curvas de nivel y la implantación se realizó de acuerdo con la cabida de linderos teniendo en cuenta los aislamientos laterales mencionados anteriormente para cumplir requerimientos de la Curaduría Urbana.

ESTUDIO DE SUELOS

El proyecto **Centum Business Building** cuenta con un estudio de suelos que clasifica a la estructura en categoría alta de acuerdo con la cantidad de pisos y la carga total que asume cada columna, cumpliendo así con la cantidad y profundidad de sondeos requeridos según requerimiento del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10:

Tabla H.3.1-1
Clasificación de las unidades de construcción por categorías

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN

Figura 28: Clasificación de las unidades de construcción. Fuente: Norma NSR-10 Título H Estudios Geotécnicos

Tabla H.3.2-1
Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción
Categoría de la unidad de construcción

Categoría Baja	Categoría Media	Categoría Alta	Categoría Especial
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m. Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad Mínima de sondeos: 15 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m. Número mínimo de sondeos: 5

Figura 29: Cantidad de Sondeos y profundidad mínima. Fuente: Norma NSR-10 Título H Estudios Geotécnicos

Para la exploración del subsuelo se efectuaron ocho perforaciones que alcanzaron profundidades comprendidas entre 15 y 70 m bajo la superficie, cumpliendo lo expuesto anteriormente. Los resultados de las perforaciones se complementaron con ensayos de veleta de corte de campo, ensayos de resistencia a la penetración estándar SPT y ensayos de resistencia a la penetración del cono holandés. Se obtuvo muestras remoldeadas para clasificación visual y muestras inalteradas en tubos Shelby, sobre las que se llevaron a cabo ensayos de consolidación, compresión

inconfiada, clasificación y corte directo.

El Perfil Estratigráfico presentó superficialmente placas en concreto, rellenos en material granular tipo recebo con piedras y escombros, rellenos en arcillas y la capa vegetal, con espesores en conjunto que varían entre 2.0 y 2.8 m, luego hay arcillas de color café y gris verdoso, con una consistencia media, que llegan a profundidades que varían entre 3.2 y 4.8 m bajo la superficie y finalmente se encuentran arcillas de color gris oscuro y café, con una consistencia blanda intercaladas con lentes orgánicos, las cuales alcanzaron la profundidad de investigación 70,0m. Nivel freático -2,0 m.

El estudio de suelos recomendó instalar instrumentación geotécnica compuesta por ocho (8) inclinómetros, tres (3) piezómetros, así como las platinas de control topográfico en el área de influencia según lo indica en la Resolución 600 DE 2015 del IDIGER.

Tipo de cimentación realizada

De acuerdo con el estudio de suelos, el diseñador estructural tuvo en cuenta las recomendaciones y caracterización del estudio de suelos, realizando un diseño con pilotes pre-excavados con diámetros hasta de 0,8m y una profundidad de hasta 63,0m, con una placa de sub-presión de espesor 0,3m debido a la presión que ejerce hacia arriba el nivel freático.

DIAGNÓSTICO

Los elementos estructurales del edificio **Centum Business Building** presentan afectaciones de causa indirecta por error constructivo durante las actividades de excavación que ocasionó el desplome de la excavación y por consiguiente los módulos de pantalla-barrete, además de las afectaciones causadas por la presencia de humedad en los muros de contención en los 3 sótanos.

En la ficha #1 se aprecia Barretes desplazados 0,4m debido al desplome de la cuchara bivalva de excavación (almeja) a una profundidad de -8m causado por posibles cantos o bolos de roca en los estratos de sub-suelo que incidieron un cambio de dirección en la excavación, pues el proceso constructivo para éste tipo de elementos inicia con la construcción de una viga guía que restringe la ubicación de ingreso de la herramienta de excavación, dando alineamiento y garantizando una correcta localización en planta.

Para el caso de las filtraciones entre juntas de los módulos de muros pantalla (ver fichas de patología #2, #3 y #4), fue posible evidenciar desprendimientos de lámina de acero que forma la llave entre los módulos, esta afectación sucede al momento de izar e instalar el acero de refuerzo de cada módulo que tiene adosada una lámina de acero la cual debe conservar su ubicación durante las actividades de instalación y el proceso de vaciado del concreto.

La presencia permanente de nivel freático penetra en el concreto y causa oxidación del acero de refuerzo, éste a su vez aumenta su volumen generando tensiones internas en el concreto que termina por reflejar fisuras y posteriormente desprendimientos del concreto.

El agua filtrada bajo presión en los intersticios del concreto general acúmulo de solución saturada de hidróxido de calcio generando cambio químicos en el concreto reflejado en la aparición de eflorescencias.

Los errores constructivos presentados han aumentado la filtración de agua freática la cual además de causar oxidación al acero de refuerzo y cambiar el PH del concreto de los muros pantalla, se encuentra drenando el material fino del suelo que contiene, causando a largo plazo un asentamiento diferencial en las construcciones alledañas y aumentos de presión en otras zonas del muro.

Origen y causa de las lesiones

El origen de la patología que se presenta en la ficha #1 como afectación de tipo mecánico es causada por una posible falta de pericia del operador de la grúa-pluma que controla la verticalidad de la excavación, si la plataforma sobre orugas no presenta una adecuada nivelación es probable que no se garantice la verticalidad de la excavación.

Es importante conocer la caracterización del suelo y observar si los perfiles de perforación presentan tramos de perforación con punta de diamante, lo que indica presencia de roca, ya sea en forma de grandes bolos o cantos de menor tamaño. Si esto se presenta se debe retirar la cuchara de excavación e instalar el equipo llamado carruteri o la herramienta trépano para perforar de forma vertical y permitir la continuación de la excavación con la cuchara bivalva.

Las demás afectaciones patológicas de tipo físico y químico que presentan los elementos estructurales son causadas por la misma naturaleza del proceso constructivo, pues cuando se cuenta con un nivel freático alto se debe pensar en impermeabilizar el concreto y rediseñar el sistema de junta (machi-hembra) para garantizar sello que impida el paso de finos drenados por la infiltración de agua y con esto garantizar la estabilización de suelo y de la estructura.

Evolución y Estado actual de las lesiones

El seguimiento realizado duró aproximadamente diez (10) meses, donde se observó aumento de las afectaciones de tipo físico y químico, la permanente humedad satura el concreto y las zonas de muros con juntas abiertas continúan el drenaje de material fino que contienen los muros. La afectación de tipo mecánico por desplazamiento e inclinación de los barretes aún no causa fallas en la estructura relacionadas con su condición.

Ensayos de Laboratorio

El barrete 23 de sótano 3, uno de los afectados por el desplazamiento e inclinación, presentó baja resistencia en la falla de probetas a 28 y 56 días, por lo que se debe revisar el índice de sobre-esfuerzo que determine su capacidad de falla y proponer una intervención.

Se tuvo acceso a la trazabilidad del concreto de la obra para identificar resultados bajos de las muestras C-24 y C-30 (figura 30) a 56 días 82 y 93% de la resistencia nominal (350 Kg/cm²), los cuales representan elementos verticales tipo barrete y muro pantalla en sótano 3.

Número Muestra	Localización	Edad	Dispersión	Kg/cm	Porcentaje	Res Nominal KgCm	Comentario
C-24	BARRETE 23 SOTANO 3	28	8%	251	72%	350	Muy Bajo
C-24	BARRETE 23 SOTANO 3	28	8%	231	66%	350	Muy Bajo
C-24	BARRETE 23 SOTANO 3	56	5%	294	84%	350	Inferior a f_c
C-24	BARRETE M-23 SOTANO 3	56	5%	280	80%	350	Inferior a f_c
C-30	PANTALLA M-30, M-27 SOTANO 3	28	7%	281	80%	350	Muy Bajo
C-30	PANTALLA M-30, M-27 SOTANO 3	28	7%	263	75%	350	Muy Bajo
C-30	PANTALLA M-30, M-27 SOTANO 3	56	1%	330	94%	350	Inferior a f_c
C-30	PANTALLA M-30, M-27 SOTANO 3	56	1%	334	95%	350	Inferior a f_c

Figura 30: Resistencias bajas de muestras representativas. Fuente: Obra

Por lo anterior se requirió ensayo de esclerometría y extracción de núcleos para determinar el grado de vulnerabilidad de los elementos estructurales.

Ensayo esclerométrico y velocidad de pulso ultrasónico

La concretara a cargo del suministro, realizó ensayos de esclerómetro y velocidad de pulso para corroborar resistencia y calidad del concreto a través de métodos de ensayos no destructivos para ser avalados por el ingeniero estructural a cargo.

Se realiza ensayo con un esclerómetro digital, se toman 10 lecturas por elemento, iniciando con un elemento testigo siendo la columna C11 como comparativo para los demás elementos B23, M30 y M27, para el concreto ensayado se espera una resistencia teórica de 35MPa, basado en los resultados mostrados en la figura 31, los concretos ensayados mediante el esclerómetro superan la resistencia teórica en un 16%, sin embargo dichos resultados no son avalados por la normativa existente y se debe proceder a realizar un ensayo ligeramente destructivo como es la extracción de núcleos.

En la figura 32 se presentan los resultados del ensayo de velocidad de pulso ultrasónico donde se deduce una resistencia promedio de 45 MPa superando en un 28% la resistencia teoría de 35MPa y basados en la velocidad de propagación de la onda se clasifica el concreto como bueno, sin embargo fue necesario corroborar mediante extracción de núcleos.

LABORATORIO DEL CONCRETO							
Identificación y Localización de la Zona de Ensayo	Descripción de la Preparación de la Zona de Ensayo	Descripción del Concreto		Medición de Rebote		Valor de Rebote Promedio Remanente	Resistencia Deducida (MPa)*
		Edad (Días)	f_c (MPa)				
<i>Elemento Testigo</i> Columna C11 / Muro 33 / Sotano 3	Superficie Llisa / Formaleta metálica	Edad (Días)	76	50,0	52,5	50,2	48,3
				46,5	47,5		
				51,0	52,0		
		f_c (MPa)	34,5	51,5	52,0		
				49,5	49,5		
<i>Elemento Prueba</i> Muro M23 / Sotano 3	Superficie Llisa / Formaleta metálica	Edad (Días)	84	39,5	44,0	42,2	40,6
				40,0	42,0		
				39,5	43,5		
		f_c (MPa)	34,5	45,0	43,5		
				43,5	41,5		
<i>Elemento Prueba</i> Muros M 30 / M 27 / Sotano 3	Superficie Llisa / Formaleta metálica	Edad (Días)	64	44,0	43,5	44,7	42,9
				44,5	42,0		
				44,5	44,0		
		f_c (MPa)	34,5	48,0	45,0		
				43,0	48,0		
<i>Elemento Prueba</i> ---	---	Edad (Días)	---	---	---	---	---
				---	---		
				---	---		
		f_c (MPa)	---	---	---		
				---	---		
<i>Elemento Prueba</i> ---	---	Edad (Días)	---	---	---	---	---
				---	---		
				---	---		
		f_c (MPa)	---	---	---		
				---	---		

APARATOS UTILIZADOS	CÓDIGO METROLÓGICO
Esclerómetro (Digital) - PROCEQ	EQ-ECL-001

Figura 31. Resultados ensayo esclerómetro. Fuente: Obra

LABORATORIO DEL CONCRETOS									
Identificación y Localización de la Zona de Ensayo	Descripción de la Preparación de la Zona de Ensayo	Descripción del Concreto		Longitud Trayectoria (cm)	Tiempo de trayectoria (μ s)			Velocidad de Trayectoria Promedio (m/s)	Resistencia Deducida (MPa)*
		Edad (Días)	f_c (MPa)						
<i>Elemento Testigo</i> Columna C11 / Muro 33 / Sotano 3	Prueba Directa Lisa, Formaleta metálica	Edad (Días)	76	40,0	94,4	91,5	---	4271	48,3
					91,9	98,0	---		
		f_c (MPa)	34,5		92,5	---	---		
<i>Elemento Prueba</i> Muro M 23 / Sotano 3	Prueba Directa Superficie Llisa / Formaleta metálica	Edad (Días)	84	40,0	98,1	101,0	---	4113	46,5
					99,2	86,0	---		
		f_c (MPa)	34,5		102,0	---	---		
<i>Elemento Prueba</i> Muros / M23 / M 27 / Sotano 3	Prueba Directa Superficie Llisa / Formaleta metálica	Edad (Días)	64	40,0	98,8	98,2	---	4031	45,5
					100,9	98,1	---		
		f_c (MPa)	34,5		100,2	---	---		

Figura 32. Resultados ensayo velocidad de pulso. Fuente: Obra.

Ensayo de extracción de núcleos






	<p>1. Luego de ubicar el refuerzo mediante ferroscañ y despieces, procede a realizar la extracción de 3 núcleos, enumerados como 1, 2 y 3. En los elementos B23 y M27.</p>	  
	<p>2. Extracción de 3 núcleos enumerados como 4,5 y 6. En el elemento M23.</p>	<p>3. Se verifican dimensiones y cuidado en obra.</p>

Figura 33: Procedimiento extracción de núcleos. Fuente: Obra.

	
<p>1. Se verifican dimensiones para relación de esbeltez donde la longitud del cilindro debe ser de 2 veces el diámetro.</p>	<p>2. Se realiza ensayo en prensa hidráulica digital con una velocidad de 0.25 MPa/s</p>

Figura 34: Ensayo de laboratorio núcleos: Fuente: Obra.

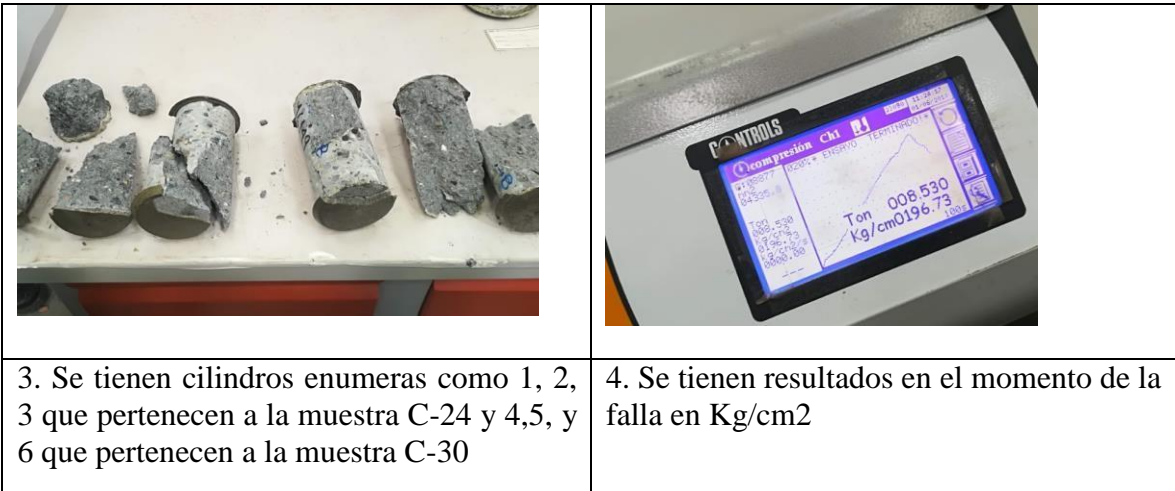


Figura 35: Ensayo de laboratorio núcleos. Fuente: Obra.

Criterio de aceptación: Los resultados son evaluados bajo dos principios básicos que cita la NSR-10 (C.5.6.5.4):

- El promedio de los tres núcleos tomados de los elementos representativos en duda deben tener el 85% de resistencia teórica, como mínimo.
- La resistencia individual de cada uno de los núcleos, sea como mínimo del 75% de la resistencia teórica.

Resumen de resultados evidenciados durante el ensayo:

Muestra	Nº Cilindro	resistencia teórica (350 Kg/cm ²)	Resistencia núcleo (Kg/cm ²)	Resistencia (%)	Promedio (%)	f _c prom > 85% f _c > 75%
C-24	1	350	196,73	56,21	78,64	No cumple
	2	350	304,16	86,90		
	3	350	324,84	92,81		
C-30	4	350	296,38	84,68	84,9	Cumple
	5	350	294,32	84,09		
	6	350	300,23	85,78		

Figura 36: Resultados ensayo de compresión a los núcleos extraídos. Fuente: Obra.

Se puede observar que la muestra C-24 no cumplió con los criterios de aceptación, presentando un promedio de 79% y con un núcleo por debajo del 75%. Se debe realizar una contra-muestra con otro laboratorio para realizar las evaluaciones pertinentes.

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

El siguiente estudio de vulnerabilidad está dirigido a un edificio de oficinas **Centum Business Building** localizado en la ciudad de Bogotá, localidad 12 de Barrios Unidos, cuenta con un área aproximada de construcción 27.200 m² en un lote de 2.084m², La edificación cuenta con 3 sótanos y 20 pisos de altura, la estructura del edificio es tipo convencional en concreto reforzado con luces entre columnas no mayores a 10 m de longitud.

El Objetivo General es identificar el grado de vulnerabilidad sísmica del paciente, teniendo en cuenta las características del sistema y del diseño estructural, la patología que presenta la estructura, las características del suelo donde se encuentra construido y el sector de amenaza sísmica. El paciente presenta síntomas patológicos en las áreas de sótanos con afectaciones en placas y en muros pantalla, los cuales serán analizados y evaluados a continuación.

METODOLOGÍA ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

Para realizar el análisis de vulnerabilidad sísmica del paciente **Centum Business Building**, se tuvo en cuenta evaluar las características inherentes al proyecto tomado como guía de referencia el método FEMA 310 Federal Emergency Management Agency de Estados Unidos aprobado por el American National Standards Institute (ANSI).

En el caso de estudio se realizó una inspección visual para determinar el diseño geométrico y estructural, la asimetría que presenta la estructura en el plano horizontal y vertical, los componentes de elementos no estructurales, las concentraciones de masa excéntricas, falta de redundancia en los elementos estructurales que asumirán las cargas de sismo, flexibilidad que presenta los elementos estructurales de acuerdo con la luz horizontal y vertical así como las características geológicas del lugar.

Microzonificación de la zona

El paciente se encuentra ubicado en la zona 3 lacustre A y en la figura se encuentran los coeficientes espectrales para el diseño NRS 10.

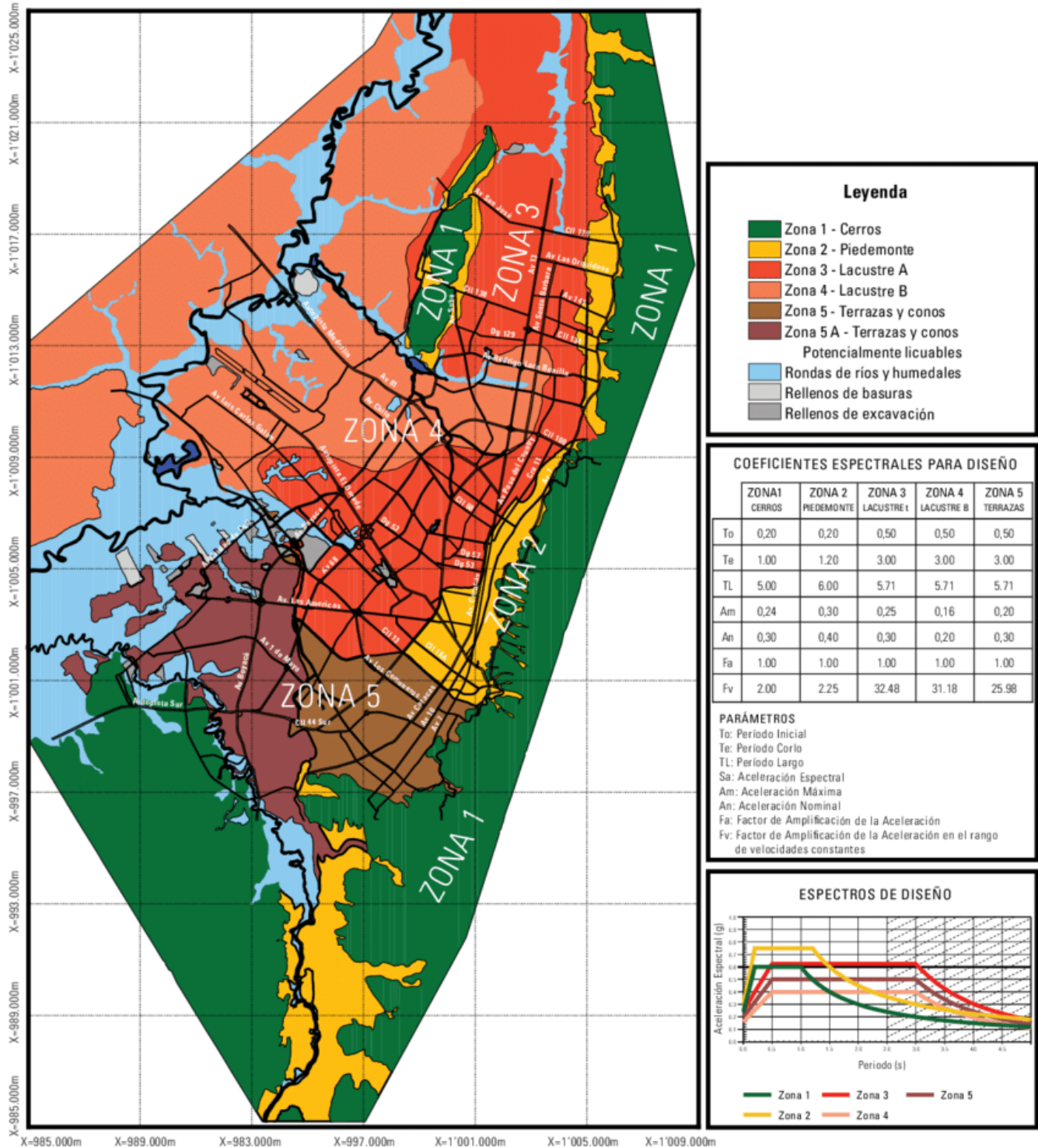


Figura 37: Mapa de microzonificación de Bogotá. Fuente:-Ingeominas.

CARACTERIZACIÓN SÍSMICA

A continuación se presenta la zona de amenaza sísmica para la ciudad de Bogotá, donde está ubicado el paciente **Centum Business Building**, según lo indica el apéndice A-4 del título A de la NSR-10, el cual indica zona de amenaza sísmica intermedia, para el cálculo del espectro sísmico.

NSR-10 - Apéndice A-4 - Valores de A_a , A_v , A_e y A_d y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos

Departamento de Cundinamarca						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Bogotá D. C.	11001	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.06

Figura 38: Zona de amenaza sísmica. Fuente: NSR-10.

Según la norma NSR-10 el suelo donde se encuentra el proyecto se clasifica como tipo F, el terreno se encuentra ubicado en la Zona Lacustre 300 del Mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá. Para el diseño se utilizó el espectro definido por el Decreto 523 del 16 de Diciembre de 2010.

Zona	Espesor del depósito (m)	Periodo fundamental del suelo (s)	Descripción Geotécnica General	Velocidad onda promedio 50 m V_s (m/s)	Humedad Promedio 50 m H_u (%)	Efectos de sitio relacionados
Lacustre-50	< 50	1.0-1.5	Suelo lacustre blando: Arcillas limosas o limos arcillosos, en algunos sectores con intercalaciones de lentes de turba	< 175	> 80	Amplificación
Lacustre-100	50-100	1.5-2.5				Amplificación
Lacustre-200	100-200	2.5-3.5				Amplificación
Lacustre-300	200-300	3.5-4.5				Amplificación
Lacustre-500	300-500	4.5-6.5				Amplificación

Figura 39: Valores A_a y A_d . Fuente: NSR-10.

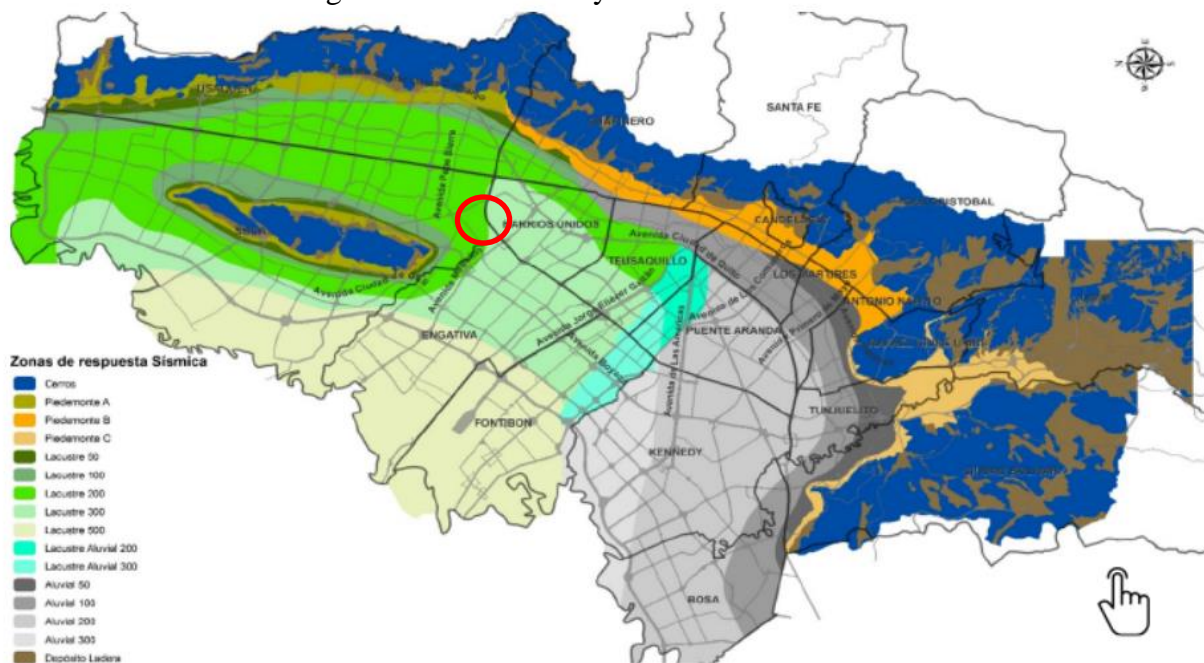


Figura 40: Mapa de Respuesta Sísmica del suelo en Bogotá D.C. Fuente: www.idiger.gov.co

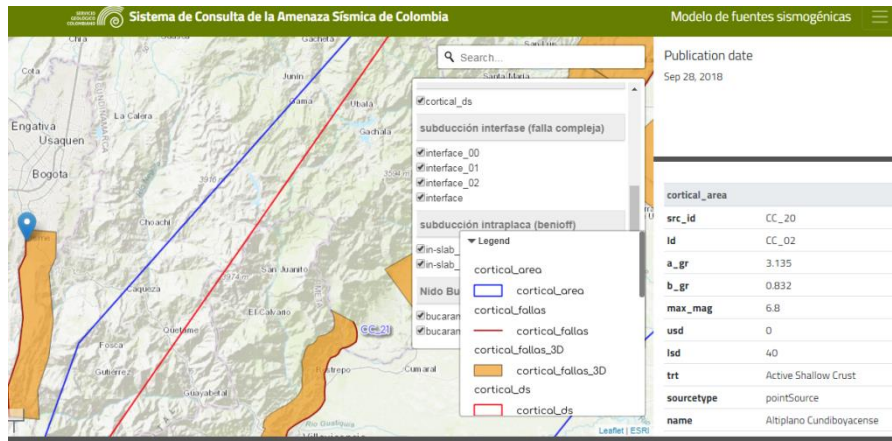


Figura 41: Fallas cercanas a la ubicación del proyecto. Fuente: www.Servicio Geológico Colombiano.gov.co

Análisis de vulnerabilidad sísmica del paciente

Para el presente estudio se tendrá en cuenta principalmente el área de construcción de los 3 sótanos con niveles de placa de entrepiso a -4,7 m, 7,9 m y 11,0 m, sectores donde los barretes perimetrales presentaron afectación patológica que involucró la sección del elemento durante su longitud.

En la inspección visual inicial fue posible identificar afectaciones de los elementos estructurales del sector de sótanos debido a errores constructivos que causaron desplome de los barretes afectando el área útil siendo reparado mediante un mala práctica que causó l reducción de la sección transversal del elemento y fatiga en el acero de refuerzo al ser doblado con el fin de garantizar su verticalidad.

Debido a que el nivel freático se encuentra en promedio al nivel de -3,0 m se presentó filtración entre las juntas de los elementos de contención que generaron eflorescencias y desprendimientos del recubrimiento del concreto así como la afectación química por oxidación del cero de refuerzo.

De acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 en el Título A.10.5, se requiere conocer el índice de sobre esfuerzo y de flexibilidad que presentan los elementos afectados para determinar el grado de intervención que requieren, de acuerdo con su respuesta sísmica y la hipótesis de la secuencia del mecanismo de falla.

Para el estudio del presente caso se tendrá en cuenta las inspecciones visuales realizadas a la estructura, así como las fichas de patología, donde se evidencia cambio brusco en la sección de barretes que afectan su capacidad de resistencia ante cargas verticales y horizontales y afectaciones causadas por el agua freática que se filtra a través de las juntas de los módulos de pantallas causando afectaciones físicas y químicas dadas por la humedad en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo.

PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

De acuerdo con el resultado obtenido en las cinco (5) fichas de inspección de patología, se determina que la intervención más relevante será en los barretes que presentaron inclinación y afectación en su sección transversal. Ver figura 42.

El sistema estructural requiere una intervención de tipo estructural clasificada como ampliación adosada de acuerdo con el Título A.10.6 de la NSR-10, con el fin de recuperar la pérdida de sección transversal que ha sufrido los barretes para garantizar el área útil de sótanos y que los elementos asuman su carga para la cual fueron diseñados.

Antes de emitir un concepto para la intervención de la estructura es pertinente revisar si la capacidad portante de los elementos ha sido afectada, pues el ingeniero de suelos ha contemplado factores de seguridad al analizar la interacción suelo-estructura cumpliendo los requerimientos de diseño estructural indicados en la NSR-10.

Si la capacidad de soporte de los elementos estructurales evaluados se ve comprometida, se requiere realizar reforzamiento mediante micro-pilotes para garantizar la transmisión de las cargas del edificio al suelo de forma vertical (ver figura 43), así mismo, se requerirá en los sectores de sótanos realizar anclaje de barras de acero de refuerzo y un vaciado de concreto aplicando puente de adherencia que garantice la unión entre los concretos de diferentes edades, con el fin de corregir el desplome que presentan los elementos. Ver figura 44.

Los elementos estructurales afectados como pilotes rectangulares (barretes) comprometen la estabilidad del edificio, pues son elementos que reciben y transmiten las cargas a la cimentación, los elementos como muros pantalla que presentan afectaciones de reducción de sección y problemas de humedad pueden generar falla al reducir su capacidad de soporte.

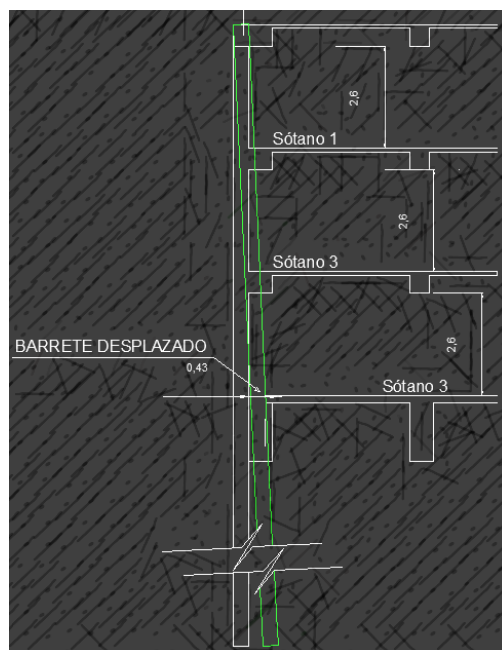


Figura 42: Corte de barrete desplazado. Fuente: Propia.

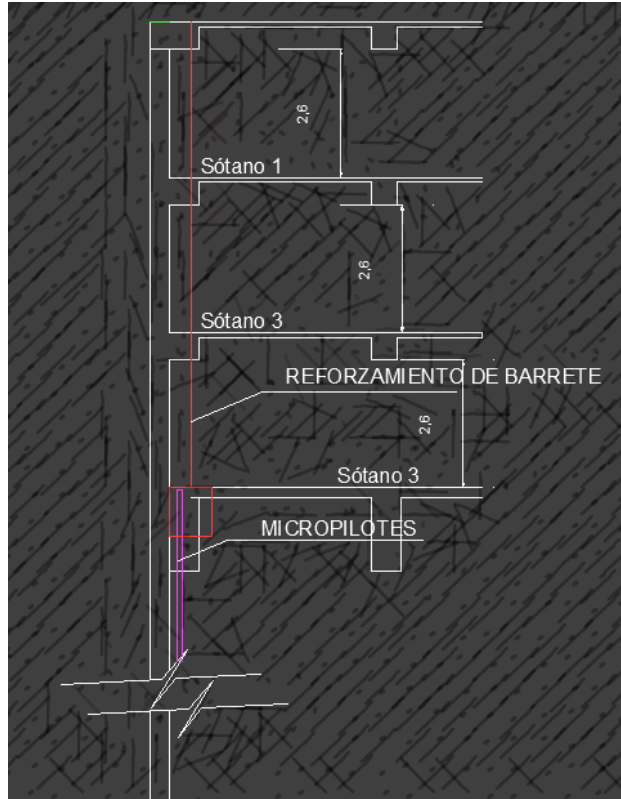


Figura 43: Corte de micro-pilotes y reforzamiento de barrete. Fuente propia

Los pilotes rectangulares (barretes) que presentan desplome se propone ampliar la sección a los costados anclando el acero de refuerzo horizontal a los muros pantalla adyacentes para que éstos asuman hasta un 40% de la carga vertical que debe soportar cada uno de los barretes, a continuación se presenta un esquema en planta (figura 44), en la cual se conserva la misma cuantía de acero de refuerzo del diseño inicial.

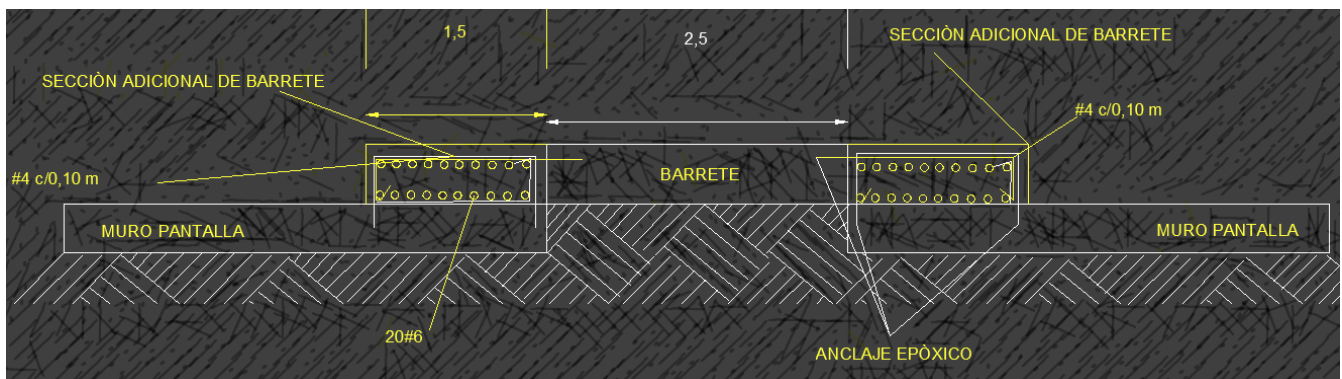


Figura 44: Planta detalle reparación de barrete. Fuente: Propia

El equipo de trabajo para la actividad de reforzamiento debe estar conformado por un ingeniero civil o arquitecto con experiencia en obra, un maestro de obra, y una cuadrilla, donde se espera que los anclajes sean realizados por personal calificado para tal fin dada la importancia de la

correcta ejecución.

Como equipo y herramienta se requiere buzardas para dar rugosidad, puente de adherencia para concretos de diferentes edades, como por ejemplo Sikadur 32, se requiere equipo para realizar anclaje de barras el cual se compone de taladro, brocas, soplador eléctrico, pistola calafateadora y material epóxico de anclaje como Duragel de Tóxement o Simpson. Por último se requiere de un concreto tipo tremie con resistencia igual a la de diseño de los elementos estructurales.

Para dar inicio a la intervención se requiere iniciar dando rugosidad y limpieza a la superficie de los muro pantalla que estarán en contacto con la sección adicional del barrete, posteriormente se iniciarán las actividades de anclaje de barras usando broca de tungsteno de un (1) octavo de pulgada mayor al diámetro de la barra a anclar, con el fin de crear un volumen vacío que será llenado con el material epóxico.

Durante la actividad de anclajes debe estar presente el ingeniero encargado con el fin de garantizar el retiro de material suelto, y las dimensiones de cada una de las perforaciones, pues la menor cantidad de polvo o material suelto no permite la adherencia del material epóxico.

Una vez finalizada la actividad de anclaje del refuerzo horizontal, se debe completar el armado de acero de refuerzo vertical, para aplicar el puente de adherencia entre concreto de diferentes edades.

Se debe usar una formaleta que cumpla con las dimensiones requeridas y aplicar desmoldante, si no se usa concreto de baja retracción es conveniente realizar una perforación de la placa inmediatamente superior con el fin de realizar el vaciado de concreto desde ese nivel.

Se estima que estas actividades para los dos barretes afectados se pueden realizar en un tiempo máximo de 30 días, teniendo en cuenta que se deben intervenir en los tres sótanos y que se cuente con una cuadrilla de trabajo.

El nivel de intervención a los elementos estructurales es mínimo ya que no se encuentra comprometido más de 50% de su capacidad de soporte de carga. El tipo de obra no es destructiva y se puede denominar dentro de las actividades de reforzamiento.

En cuanto a las afectaciones identificadas en las fichas de patología #2, #3 y #4 por humedad en los muros pantalla, se propone sellar las juntas de los elementos mediante el empleo de productos epóxicos que se encuentran en el mercado para impedir principalmente que dicha filtración además de crear eflorescencias, oxidación y carbonatación, afecte la estabilidad del suelo que contiene a través del drenaje de material fino por el paso del agua.

Como medida preliminar (primeros auxilios) se requiere realizar actividades que permitan el sello de juntas entre los módulos de muro pantalla, usando productos como por ejemplo juntas hidroexpansivas (ver figura 45) que se encuentran en el mercado y que evitarán que continúe el proceso de afectación por paso de agua

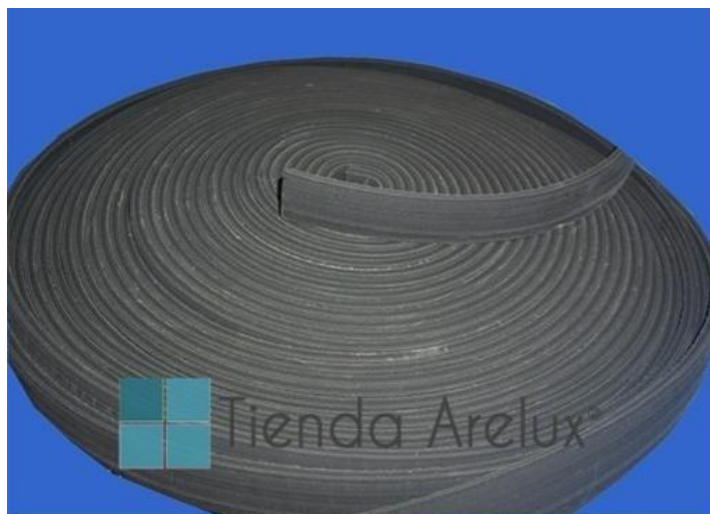


Figura 45: Junta de sellado bentonita alta densidad. Fuente: Google.

PRESUPUESTO

A continuación se muestra un presupuesto de intervención obtenido de acuerdo con la propuesta anteriormente mencionada, incluyendo costos administrativos y de servicios profesionales, así como un estimativo de los materiales estructurales para garantizar la estabilidad y vida útil del paciente.

PRESUPUESTO DE INTERVENCIÓN CENTUM					
ITEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Honorarios Diseñador estructural	Global	1	\$ 6.000.000	\$ 6.000.000
2	Honorarios Patólogo	Global	1	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000
3	Trámite Licencia de Reforzamiento	Global	1	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000
5	Acero de refuerzo para reparación	kg	6200	\$ 4.500	\$ 27.900.000
6	Anclaje de barras de acero con epòxico	und	720	\$ 15.000	\$ 10.800.000
7	Epòxico para puente de adherencia	m2	55	\$ 20.000	\$ 1.100.000
8	Concreto Tremie 28MPa	m3	28	\$ 550.000	\$ 15.400.000
9	Sello de juntas muros pantalla	ml	756	\$ 35.000	\$ 26.460.000
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 96.160.000
TOTAL COSTO INDIRECTO AIU 15%					\$ 14.424.000
TOTAL PRESUPUESTO					\$ 110.584.000

Figura 46: Presupuesto de Intervención. Fuente: Propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se requiere un análisis por parte del ingeniero de suelos para los elementos estructurales (barretes) afectados por inclinación y pérdida de sección, con el fin de determinar si dicha afectación compromete la capacidad de soporte de los mismos y su funcionalidad ante cargas horizontales de sismo, sin embargo en este documento se planteó una posible intervención estructural para su corrección.

Para los elementos que presentan afectaciones por humedad, oxidación y carbonatación, se planteó la intervención con productos epóxicos que impidan el paso del agua y a su vez el paso de material fino del suelo que contiene con el fin de no desestabilizar el mismo.

Cuando se obtengan resultados de los análisis pertinentes, se requiere identificar la vulnerabilidad sísmica frente a la resistencia y rigidez de la estructura de la edificación.

Es de vital importancia poder tener los suficientes elementos de juicio para poder emitir un concepto adecuado acerca de una determinada anomalía en alguna construcción, muchas veces las apreciaciones visuales pueden llevarnos a incertidumbres y emisión de hipótesis que pueden estar alejadas de la realidad; ensayos de laboratorio, trabajo de campo, planos de diseño, memorias de cálculo, pueden darnos más elementos de juicio y reducir las apreciaciones enfocándose en una real solución al problema enfrentado.

De forma general se encuentra que las anomalías presentadas son corregibles y en ningún momento comprometen la estabilidad e integridad total de la estructura. La construcción es de buena calidad con algunos indicadores de procedimientos constructivos erróneos, pero que pueden ser corregidos.

Las actividades que más demandan terapéutica son el sello de juntas, para lo cual se recomienda dejar ventanas de inspección en el muro de limpieza de sótanos con el fin de observar el comportamiento del sello de juntas y realizar a tiempo las reparaciones requeridas.

BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- www.corrosion-doctors.org/Concrete/Nature.htm
- Sánchez de Guzmán, *Durabilidad y Patología del Concreto*
- GEHO-CEB, *Durabilidad de Estructuras de Hormigón*
- Sistemas de reparación/ Ing. Nancy Torres C.
- <https://www.google.es/maps>
- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-Resistente
- Resolución 600 de 2018 Lineamiento Técnico para excavaciones en Bogotá
- www.Ingeominas.com
- www.Idiger.com