Estudio Patológico Iglesia Nuestra Señora de Guadalupe

Estudiante:

Andrea Mayorga Gómez

Profesor:

Walter Mauricio Barreto Castillo

Decanatura de División Abierta y a Distancia

Especialización en Patología de la Construcción

Universidad Santo Tomás

Enero 2022

Tabla de Contenido

1. Introducción 5
2. Justificación 6
3. Objetivos 7
3.1. General 7
3.2. Específicos 7
4. Marco Referencial 8
4.1. Teórico 8
4.2. Legal 10
4.3. Histórico 10
5. Alcances y Limitaciones 15
6. Metodología 16
6.1. Descripción de la Selección del Paciente 16
6.1.1. Inspección Preliminar del Paciente 16
6.1.2. Recopilación de Información Necesaria para el Estudio 16
6.1.3. Permisos y Autorizaciones para Abordar al Paciente 16
6.2. Historia Clínica 16
6.2.1. Responsables del Estudio 18
6.2.2. Fecha de Realización del Estudio 18
6.2.3. Datos generales del Paciente 18
6.2.4. Aplicación Patológica 21
6.2.5. Datos Específicos de las lesiones 21
6.2.6. Descripción Patológica más relevante del Paciente 22
6.2.7. Clasificación y Origen de las Patologías 24
6.2.8. Datos Generales del Entorno 25
6.2.9. Arquitectura 26
6.2.10. Clasificación de la Estructura 28
6.2.11. Suelos y Cimentaciones 28
6.3. Diagnóstico 33
6.3.1. Lesiones Mecánicas, Físicas y Químicas (Origen, Causa, Evolución y Estado Actual de las Lesiones) 34
6.3.2. Ensayos Destructivos y No Destructivos (Descripción del porqué se hizo un determinado ensayo en el Paciente) 40

7. Estudio de Vulnerabilidad Sísmica 43
7.1. Mapa de Ubicación del paciente en la Microzonificación sísmica 43
7.2. Determinación de la Zona Sísmica, el Valor de Aa y Ad 44
7.3. Análisis de Vulnerabilidad Sísmica del Paciente 47
8. Propuesta de Intervención 50
8.1. Alcance de los Trabajos Geotécnicos 50
8.2. Alcance de los Trabajos Patológicos 51
8.3. Alcance de la Propuesta de Intervención 1 52
8.4. Alcance de la Propuesta de Intervención 2 52
8.5. Alcance de la Propuesta de Intervención Definitiva 53
8.5.1. Trabajos de Intervención de la Propuesta Definitiva 53
9. Presupuesto 55
9.1. Presupuesto Estudio de Suelos 55
9.2. Presupuesto Estudio de Patología 56
9.3. Presupuesto Propuesta de Intervención Definitiva 57
10. Programación 58
10.1. Programación Estudio de Suelos 58
10.2. Programación Estudio de Patología 58
10.3. Programación Propuesta de Intervención Definitiva 58
11. Conclusiones y recomendaciones 59
Bibliografía 61
Anexos 64

Lista de figuras

Figura 1. Fotografía de la construcción del templo 11
Figura 2 Construcción de la fachada del templo 11
Figura 3 Fotografía del templo sin acabados 12
Figura 4. Fotografía del templo con las especies arbóreas 13
Figura 5. Fachada del templo terminada con las especies arbóreas 14
Figura 6. Localización general 18
Figura 7. Vista aérea 19
Figura 8. Localización en las zonas de afectación de los cimientos 22
Figura 9. Grieta aproximadamente a 45° en la puerta del costado norte 23
Figura 10. Continuidad de la fisura en el muro contiguo 24
Figura 11. Construcciones vecinas al templo 25
Figura 12. Estructura de una basílica paleocristiana 27
Figura 13. Geomorfología urbana en la zona de la Iglesia Nuestra señora de Guadalupe 29
Figura 14 Localización de los apiques realizados 30
Figura 15. Presencia de materia vegetal en uno de los apiques exploratorios 31
Figura 16. Tipología de cimentación de los muros perimetrales 32
Figura 17. Tipología de cimentación en las columnas 33
Figura 18. Esquema de grieta o fisura afectando al elemento de mampostería 34
Figura 19. Cerramiento perimetral de la fachada 35
Figura 20. Testigos de fisuras reportados en 2016 35
Figura 21. Testigo a fisura #5 36
Figura 22. Testigo a fisura No 6 36
Figura 23. Testigo fisura No 7 37
Figura 24. Testigo No 8 38
Figura 25. Testigo No 9 38
Figura 26. Testigo No 10 39
Figura 27. Testigo No 11 39
Figura 28. Auscultación para verificar el acero de refuerzo en columnas 40
Figura 29. Auscultación para verificar el espesor de la cámara de aire entre los dos muros 41
Figura 30. Apique de verificación de refuerzo 41
Figura 31. Regata de verificación de refuerzo 42
Figura 32. Mapa de zonificación sísmica de Colombia 43
Figura 33. Localización de la estructura según (IDE) 44
Figura 34. Cuadro Resumen de la zonificación geotécnica 44
Figura 35. Descripción de las zonas geotécnicas 45
Figura 36. Descripción de la zona de respuesta sísmica 46
Figura 37. Coeficiente de diseño 47
Figura 38. Espectro de diseño 48
Figura 39. Coeficiente de umbral de daño 49
Figura 40. Espectro de Umbral de daño 50

1. Introducción

El presente documento hace referencia a la historia clínica con registros fotográficos que ilustran el proceso constructivo y el avance patológico de la estructura a partir del año de 2016, año en que empezó a presentar problemas la fachada del templo ya que se registraron varias grietas y fisuras que serán analizadas en este documento y comparadas con el registro actual de las mismas.

El propósito principal de este ejercicio académico es registrar el avance de las lesiones mediante una inspección visual y registro del avance de las fisuras y grietas presentes en la estructura, con la información actualizada se puede analizar si están activas o no y con ello tener un reporte actualizado de las lesiones.

Una vez realizada la historia clínica del paciente, se establece el origen de las lesiones con el apoyo del estudio de suelos realizado en el año de 2016 y se establecen las causas y se clasifican por su nivel de severidad. Mediante este informe se hace una propuesta de intervención orientada a la zona más afectada de la estructura que es la fachada.

A continuación, se muestra una vista general del templo para orientar la finalidad de este proyecto.



2. Justificación

La razón por la cual se realiza esta actualización al estudio patológico de la Iglesia Nuestra señora de Guadalupe, ubicada en la Carrera 60 No 94B-90 en el barrio Rionegro en la ciudad de Bogotá, es por la importancia que la estructura tiene para la comunidad.

Por medio de este estudio se busca determinar el avance patológico que ha presentado la facha del templo desde el año 2016 al presente para determinar el riesgo que presentan los habitantes del sector, puesto que la zona de la iglesia tiene un alto flujo vehicular y peatonal.

3. Objetivos

3.1. General

Realizar una actualización del estudio patológico elaborado en el año de 2016, verificando el grado de avance de las patologías presentes en la iglesia Nuestra Señora de Guadalupe en Bogotá, Cundinamarca.

3.2. Específicos

- Identificar el grado de avance de las patologías registradas en el año de 2016.
- Realizar una inspección visual con registro fotográfico y toma de fisuras para obtener información actualizada de las lesiones.
- Registrar las lesiones por medio de una ficha técnica para determinar cuáles son los elementos estructurales más afectado en el templo.
- Comparar los resultados de 2016 frente a los registrados a la fecha y determinar el grado de avance patológico que ha enfrentado la estructura en ese lapso de tiempo.
- Con la información recopilada realizar un prediagnóstico para determinar el origen y la causa de las lesiones presentes.

4. Marco Referencial

4.1. Teórico

Según (Luis Orozco, Asentamientos Totales y diferenciales en Bogotá, 1998, P1.), Bogotá enfrenta una problemática relacionada con los daños en las edificaciones dado el pobre comportamiento del suelo, por asentamientos diferenciales en presencia de suelos blandos o desecación diferencial.

La característica de los suelos blandos es que poseen una compresibilidad alta y una relación de sobreconsolidación baja, estos procesos se deben a su propio peso y a la desecación inducida por la actividad humana.

Otra característica que afecta a las estructuras es que están en presencia de suelos blandos y a su vez tienen una estructura de cimentación deficiente, en estos casos los mejores parámetros de compresibilidad se definen en los nuevos sistemas de cimentación, como los pilotes de fricción, micro pilotes, entre otros.

Los asentamientos que se generaron en el caso de estudio fueron producto de la desecación del suelo de fundación, que es denominado como lacustre 300, según el decreto 523 del 16 de diciembre de 2010, el cual es denominado como una arcilla limosa o limos arcillosos, de acuerdo con lo que se puede apreciar en la Figura 39.

“Esta desecación del suelo se produce por movimientos del agua en el material, ya sea por proceso de escorrentía subterránea o por extracción mecánica o por evaporación producida por efecto del calor. La pérdida de agua genera en el material reacomodamiento de las partículas, lo que ocasiona la variación del volumen, así como de sus características y con ello el comportamiento ante la acción de las cargas aplicadas. Cuando las condiciones de pérdida de humedad se dan de manera acelerada, el nivel freático desciende rápidamente y el agua que se encuentra por encima, genera presiones de succión debido a efectos de capilaridad y la tensión superficial del agua contenida. Dichas presiones llevan a fisurar la arcilla iniciando en la superficie

expuesta al ambiente y se extiende en el terreno y se van propagando hacia el fondo normalmente hasta el nivel freático" (Vesga et al, 2002).

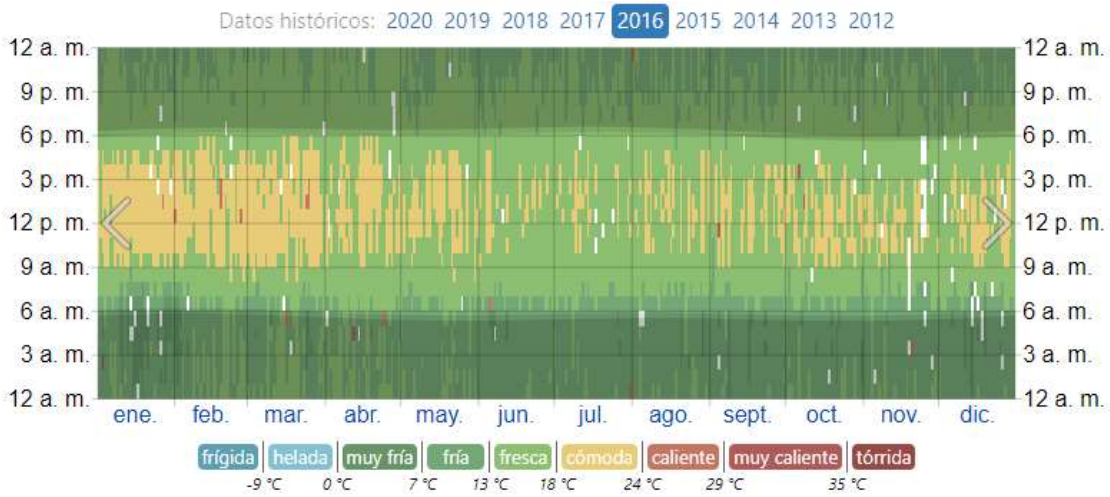
Según el (DANE, mayo de 2016, P.2) el fenómeno climático el niño en 2015 impactó negativamente a la alta montaña colombiana y en particular sus seis actuales nevados.

Según (Miller et al, 1998), la desecación es la condición que produce mayor cantidad de fisuras en suelos.

Según, (*El tiempo en bogotá en 2016 (colombia) - Weather Spark*. (2016). Weather Spark. https://es.weatherspark.com/h/y/23324/2016/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2016-en-Bogot%C3%A1-Colombia#Figures-Summary)

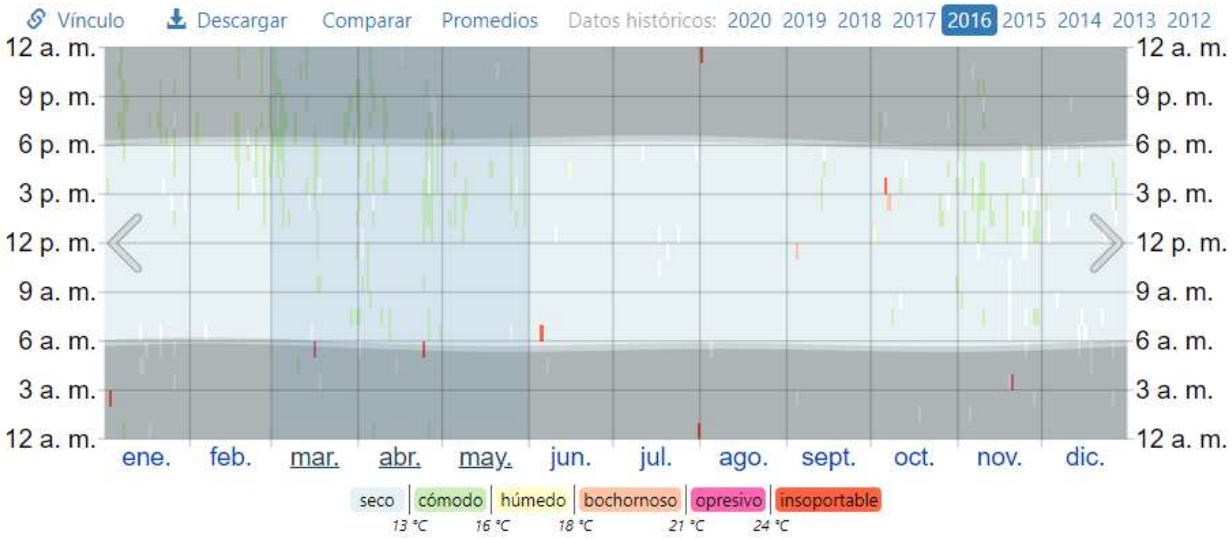
El informe del tiempo en Bogotá para el año de 2016, es la siguiente:

Figura 1
Temperatura por hora en 2016 en Bogotá



Nota: Esta imagen es tomada de la página web de Weather Spark

Figura 2
Nivel de comodidad de la humedad en 2016 en Bogotá



Nota: Esta imagen es tomada de la página web de Weather Spark

4.2. Legal

La normatividad que aplica para Colombia en el año en curso es la siguiente:

- Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-10.
- Decreto 926 del 19 de marzo de 2010.
- Normas ASTM para ensayos y materiales. American Society for Testing and Materials.
- Norma ACI. American Concrete Institute.

4.3. Histórico

La Iglesia Nuestra señora de Guadalupe pertenece a la comunidad religiosa de Padres Somascos de origen italiano que llegan a Colombia.

De acuerdo con la información obtenida por la comunidad, el templo es diseñado por Varela Rodríguez y Raymond y el ingeniero geotecnista encargado del estudio de suelos fue Maximiliano Rueda Escobar en 1950, ambas empresas europeas de la época.

En la imagen a continuación se puede observar el proceso constructivo del templo, en el que utilizan muros en mampostería dobles con cámara de aire, la cimentación de esta mampostería puede verse en la Figura 20.

Figura 3.
Fotografía de la construcción del templo



Nota: Imagen recopilada por la comunidad de padres somascos

A continuación, se puede observar una fotografía del templo en el proceso constructivo de la fachada.

Figura 4
Construcción de la fachada del templo



Nota: Imagen recopilada por la comunidad de padres somascos

La imagen del templo que se observa a continuación se observa que tiene la fachada en mampostería a la vista y sin el cerramiento perimetral

Figura 5
Fotografía del templo sin acabados



Nota: Imagen recopilada por la comunidad de padres somascos

Hacia los años ochenta, el distrito planta los árboles Jazmín del cabo en el sendero peatonal de la fachada del templo, en la imagen que se puede observar a continuación no se había construido el campanario del templo.

Figura 6.
Fotografía del templo con las especies arbóreas



Nota: Imagen recopilada por la comunidad de padres somascos

En la siguiente fotografía se puede observar el campanario y los árboles Jazmín de Cabo.

Figura 7.
Fachada del templo terminada con las especies arbóreas



Nota: Imagen recopilada por la comunidad de padres somascos

5. Alcances y Limitaciones

Este estudio comprende la actualización de la información recopilada en 2016 sobre los daños que se presentaron en la estructura en estudio, con la recopilación de la información se busca elaborar fichas técnicas de los daños encontrados, para diagnosticar el estado actual del templo y determinar el grado de afectación del mismo desde la primera recopilación de lesiones al presente año.

La principal limitación al realizar este estudio es la imposibilidad de realizar ensayos a la estructura por el grado de afectación de la misma, es por ello que el alcance del estudio se limitó a la inspección visual y recopilación de fisuras y niveles de la estructura.

Se cuenta con ensayos realizados previamente para levantamiento de información, ya que no se cuentan con memorias de cálculo ni planos de diseño y construcción.

Este informe tiene como finalidad el trabajo de grado de la especialización de patología en la construcción, por lo que se aplicaron los conocimientos adquiridos para diagnosticar las lesiones presentes en el templo, pero este estudio no contempla responsabilidades con las intervenciones que puedan hacerse a la estructura.

6. Metodología

6.1. Descripción de la Selección del Paciente

La selección de la Iglesia Nuestra Señora de Guadalupe fue por conocimiento previo y tener contacto con la comunidad religiosa quien me suministró la información necesaria para comparar el proceso patológico de la estructura de 2016 a la fecha. En la visita pude apreciar la información histórica, el estudio de suelos y en registro fotográfico para realizar una mejor comparación del deterioro de la estructura en el tiempo.

6.1.1. Inspección Preliminar del Paciente

Se pudo observar un asentamiento diferencial en el andén frente a la fachada principal del templo, producto de la desecación por 10 árboles plantados en el espacio público, dicho asentamiento está afectando de forma crítica la zona de la fachada del templo.

6.1.2. Recopilación de Información Necesaria para el Estudio

No hay información de planos y diseños, sólo se pudo tener acceso a los estudios realizados por la comunidad, como lo son el estudio de suelos, estudio topográfico y medición de fisuras, los cuales me fueron suministrados y serán descritos a lo largo del documento.

6.1.3. Permisos y Autorizaciones para Abordar al Paciente

La comunidad no autorizó a ensayos de patología nuevos dado el estado actual de la estructura, para el ejercicio académico se hará un análisis de la información existente.

6.2. Historia Clínica

El templo fue construido y tiempo después, según registro fotográfico suministrado por la comunidad, el distrito plantó 10 árboles Jazmín del cabo frente de la facha de la iglesia como se puede observar en la Figura 6.

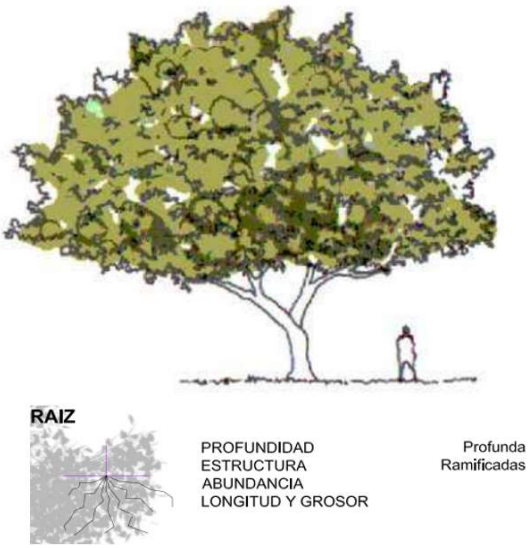
Según la información suministrada a partir del año 2014 se empezaron a presentar fisuras en su fachada, para esta época la estructura era declarada bien de interés cultural del ámbito distrital, por lo que la comunidad no podía realizar ningún tipo de intervención.

Según información suministrada por la comunidad de padres somascos, se entró a juicio legal con el distrito pues la siembra de los árboles son la causa de la desecación del suelo de fundación generando los asentamientos diferenciales produciendo fallas a la estructura, principalmente en la zona de la fachada.

En la actualidad no se han realizado trabajos de restauración por el pleito legal, actualmente el templo tiene clausurada la entrada por la fachada principal y mantiene restringido el acceso cercano a la fachada desde su interior.

El nombre científico de los árboles jazmín del cabo es Pittosporum undulatum de origen australiano, esta especie arbórea tiene raíces profundas y estructura ramificada, la longevidad está entre 36 a 60 años y los suelos propicios para su crecimiento son de alto contenido orgánico y bien drenados.

Figura 8
Esquema de árbol Jazmín de Cabo



Nota: Imagen tomada del Manual verde del jardín Botánico José Celestino Mutis

6.2.1. Responsables del Estudio

La persona responsable de analizar la información existente y verificar el grado de afectación del 2016 a ahora es Andrea Mayorga Gómez.

6.2.2. Fecha de Realización del Estudio

Los primeros estudios que se realizaron a la estructura fueron elaborados en el año de 2016.

6.2.3. Datos generales del Paciente

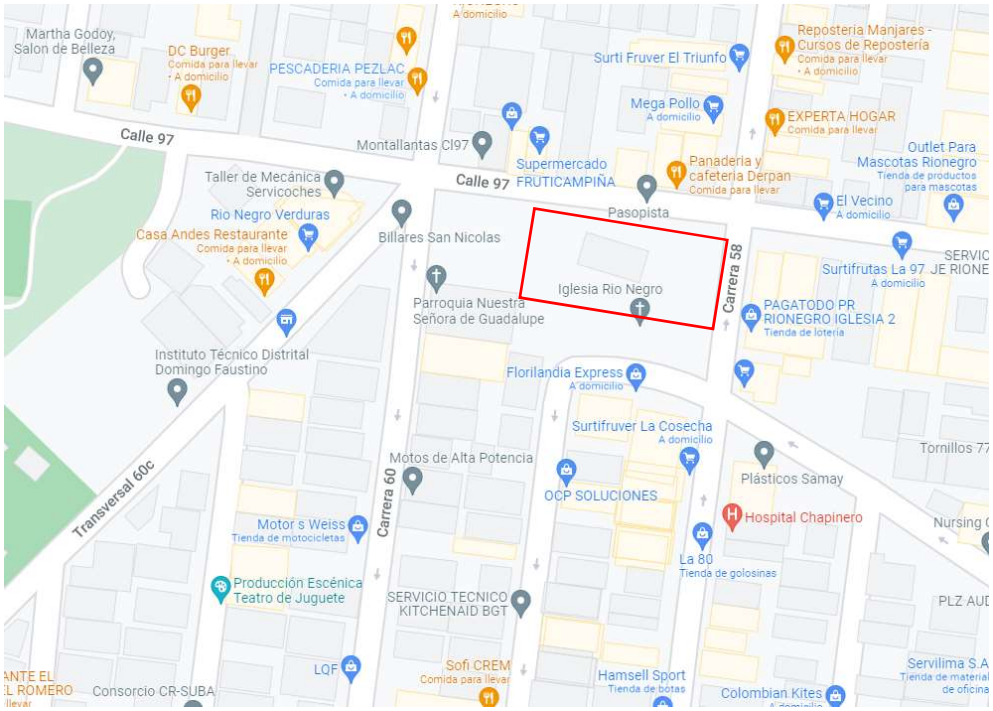
6.2.3.1. Nombre.

Iglesia Nuestra Señora de Guadalupe.

6.2.3.2. Localización.

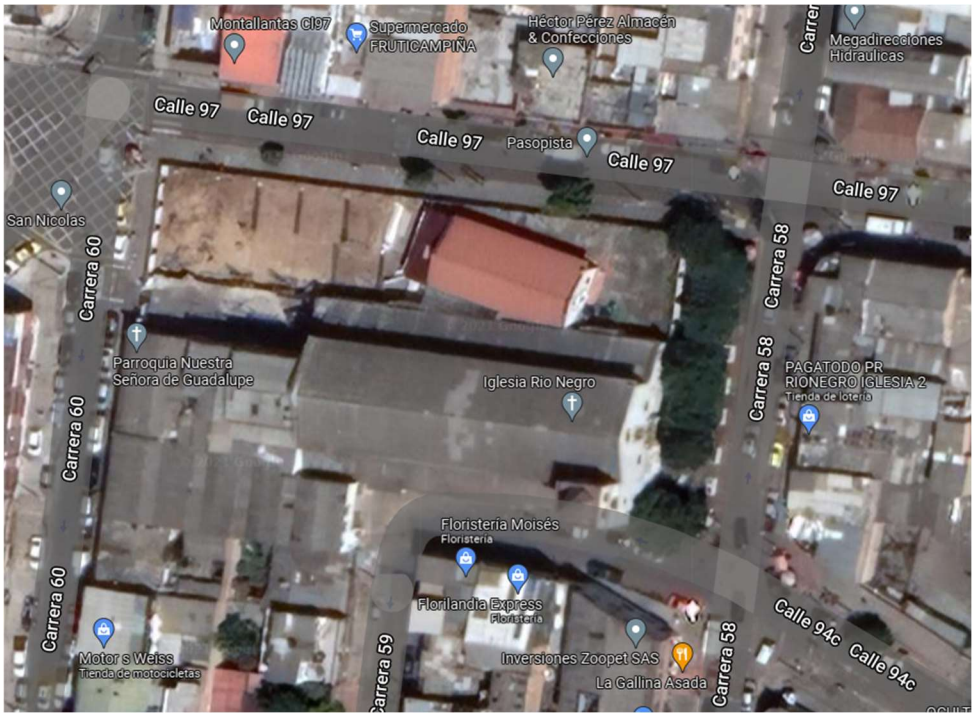
El templo está ubicado en la Carrera 60 No 94B-90 en el barrio Rionegro en la ciudad de Bogotá.

Figura 9.
Localización general



Nota: Imagen tomada de Google maps

Figura 10.
Vista aérea



Nota: Imagen tomada de Google maps

6.2.3.3. Fecha de construcción.

La iglesia fue construida el 29 de septiembre de 1959 y se realizó una ampliación en el año de 1968.

6.2.3.4. Uso Actual.

Institucional - Religioso

6.2.3.5. Importancia del Paciente.

Alta

6.2.3.6. Sistema Estructural y Constructivo.

El sistema constructivo es muros en mampostería dobles con cámara interna de aire, con machones en ladrillo soga tizón, columnas en concreto reforzado y cimentación en concreto ciclópeo y zapatas aisladas. (M. Veloza, S. López, 2016, P.31)

6.2.3.7. Normativa Actual que lo Rige.

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10

6.2.3.8. Tipo de Cimentación.

Hay dos tipos de cimentación:

- Zapatas aisladas de 4 x 4 m para las columnas que sostienen la nave central y laterales (F. Montes, 2016, P.6)
- Vigas de amarre en concreto ciclópeo para los muros perimetrales. (M. Veloza, S. López, 2016, P.35)

6.2.3.9. Altura.

La altura a la cumbrera de la cubierta, desde el piso del templo es de 12.80 m

6.2.3.10. Área.

El área total del tempo es de 1032 m^2

6.2.3.11. Información Existente.

La información que se pudo obtener del paciente es la siguiente:

- Fotos de varias épocas del paciente
- Registro de fisuras de 2016
- Auscultación para verificar el acero de refuerzo de las columnas
- Regatas de verificación con prueba de carbonatación
- Estudio de suelos
- Levantamiento topográfico por niveletas

6.2.3.12. Estado del Paciente.

Se observa que el paciente se encuentra en un avanzado estado de deterioro, con fisuras y grietas principalmente en la zona de la fachada de la estructura por efectos de asentamiento diferenciales por desecación.

6.2.4. Aplicación Patológica

6.2.4.1. Geriátrica.

La estructura tiene 62 años de ser construida

6.2.5. Datos Específicos de las lesiones

Se realizó un recorrido por la estructura para tener una mejor comprensión del origen de las lesiones del templo, en este se pudo observar varias fisuras y grietas en toda la mampostería perimetral, como resultado de esta inspección visual, se realizaron las fichas de levantamiento de las lesiones, donde se hace una descripción de cada una y se diagnostica la causa de dichas patologías.

6.2.5.1. Afectaciones.

El templo actualmente sigue operando, pero se debió cerrar el acceso al público en la zona de la fachada principal, la cual se encuentra clausurada por su grado de afectación estructural. En este momento no es posible la apertura de ninguna de las puertas de la zona de la fachada.

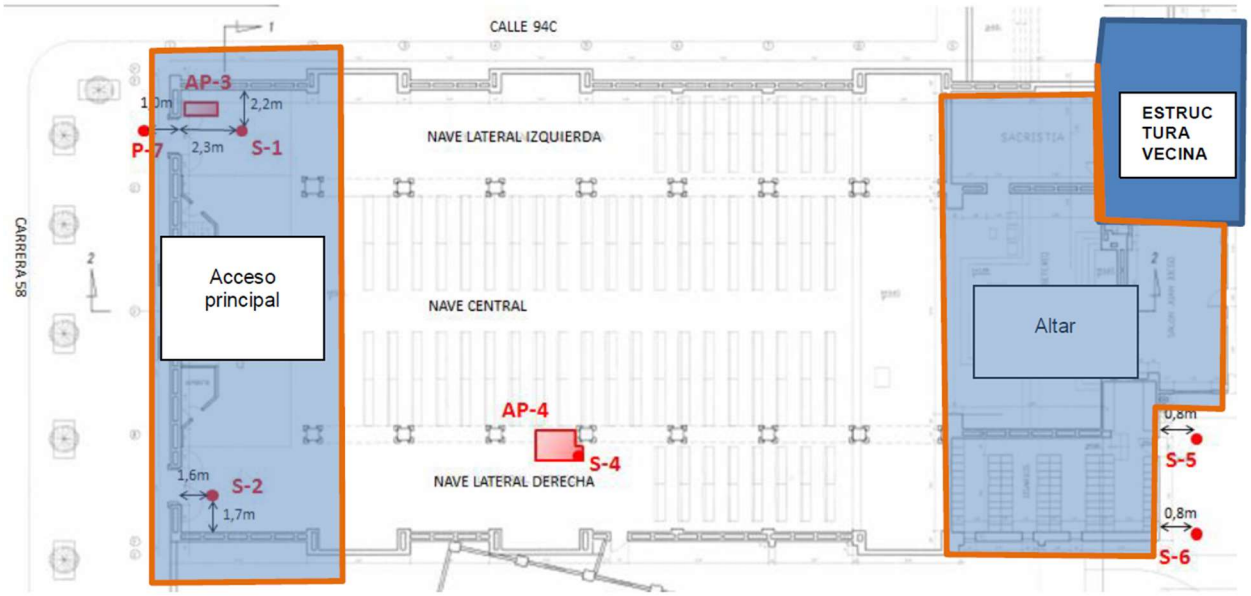
6.2.5.2. Localización y Levantamientos de Daños.

En el anexo 1 se muestra el plano de localización y levantamiento de daños.

6.2.5.3. Evaluación Física y mecánica y Composición y Estructura del concreto Y/o Materiales.

Según, F. Montes, 2016, P.10. “La edificación presenta grietas por asentamientos diferenciales en dos sectores determinados, el primero en los muros cargueros en la parte posterior, cerca de la zona del altar donde la edificación colinda con el edificio de la casa parroquial mientras que la segunda zona se encuentra localizada en la carrera 48, es decir en la fachada principal del templo, también cimentada sobre los muros cargueros”.

Figura 11.
Localización en las zonas de afectación de los cimientos



Nota: esta imagen es tomada por F. Montes, 2016, P.11, en su estudio de suelos

6.2.6. Descripción Patológica más relevante del Paciente

La patología más relevante de la estructura es la grieta localizada en la puerta del costado norte, está es considerada como la más crítica por el espesor de la grieta y la continuidad en el muro contiguo.

De acuerdo con la Figura 11, la puerta está localizada en la zona del acceso principal, donde la cimentación, es únicamente la de los muros de carga, razón por la cual se presenta una deficiencia para absorber deformaciones, por lo que la fachada es la zona más afectada de toda la estructura.

Estos movimientos ocasionaron que ninguna de las puertas de fachada pudiese tener apertura y es la zona que actualmente está restringida al público.

Figura 12.
Grieta aproximadamente a 45° en la puerta del costado norte



Nota: Está imagen es tomada por fuente propia

Figura 13.
Continuidad de la fisura en el muro contiguo



Nota: Está imagen es tomada por fuente propia

6.2.7. Clasificación y Origen de las Patologías

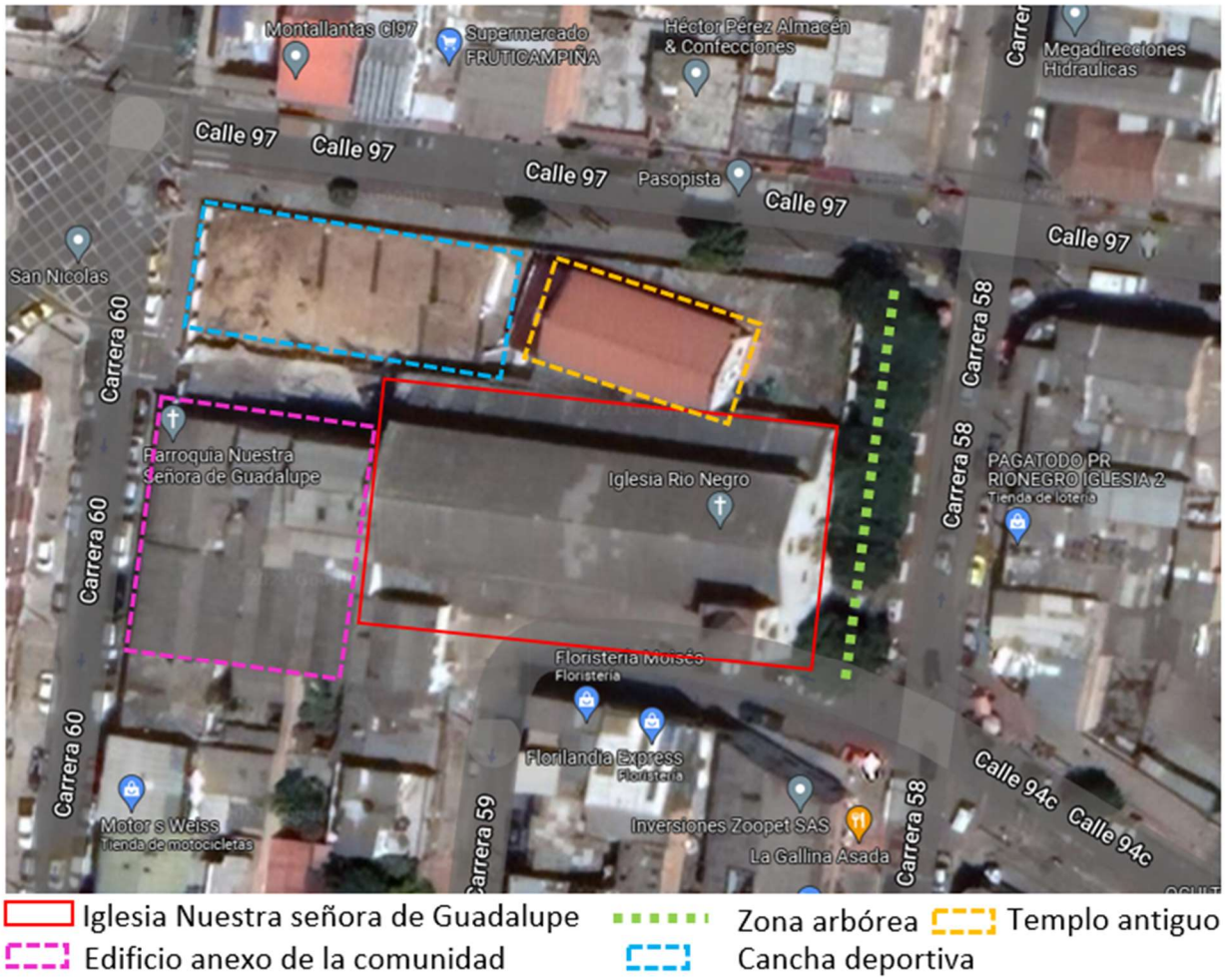
Las patologías se clasifican según su grado de afectación estructural como (Leve – Moderada – Severo – Grave) y el origen puede tener causas físicas, químicas o mecánicas.

6.2.8. Datos Generales del Entorno

6.2.8.1. Edificaciones u Obras Vecinas

Por medio de la siguiente imagen se puede observar las construcciones aledañas que hacen parte de la comunidad.

Figura 14.
Construcciones vecinas al templo



Nota: Imagen tomada de Google maps

6.2.8.2. Temperatura y precipitaciones

Según, W. Spark (21 diciembre 2021) El clima en Bogotá, el tiempo por mes, temperatura promedio (Colombia), https://es.weatherspark.com/y/23324/Clima-promedio-en-Bogot%C3%A1-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B10)

La temperatura promedio en Bogotá es de 19 °C, teniendo como el mes más cálido en abril con una temperatura máxima de 18 °C y el mes más frío en enero, con una temperatura mínima de 7°C.

“La temperatura más mojada está entre los meses de marzo a diciembre, con una probabilidad de más de 50% de que cierto día será un día mojado. El mes más mojado en Bogotá es el mes de mayo, con un promedio de 22.6 días con por lo menos 1 mm de precipitación. La temporada más seca dura 3.2 meses, de diciembre a marzo, con el mes menos mojado en Bogotá, que es enero, con 8.1 días con por lo menos 1 mm de precipitación”.

6.2.8.3. Nivel Freático

De acuerdo con el informe de suelos, el nivel freático se encuentra a 3 m

6.2.9. Arquitectura

6.2.9.1. Estilo Arquitectónico

Según, Ibarra M, (2021), Arquitectura Paleocristiana, “El tipo de arquitectura del templo es Paleocristiana, una de las primeras características de este estilo es que no presentan gran cantidad de detalles en su exterior, siendo un diseño más plano, mientras que en su interior presenta una mayor cantidad de detalles, esto con el fin de no llamar la atención manteniendo un diseño discreto.” https://www.lifeder.com/arquitectura-paleocristiana/

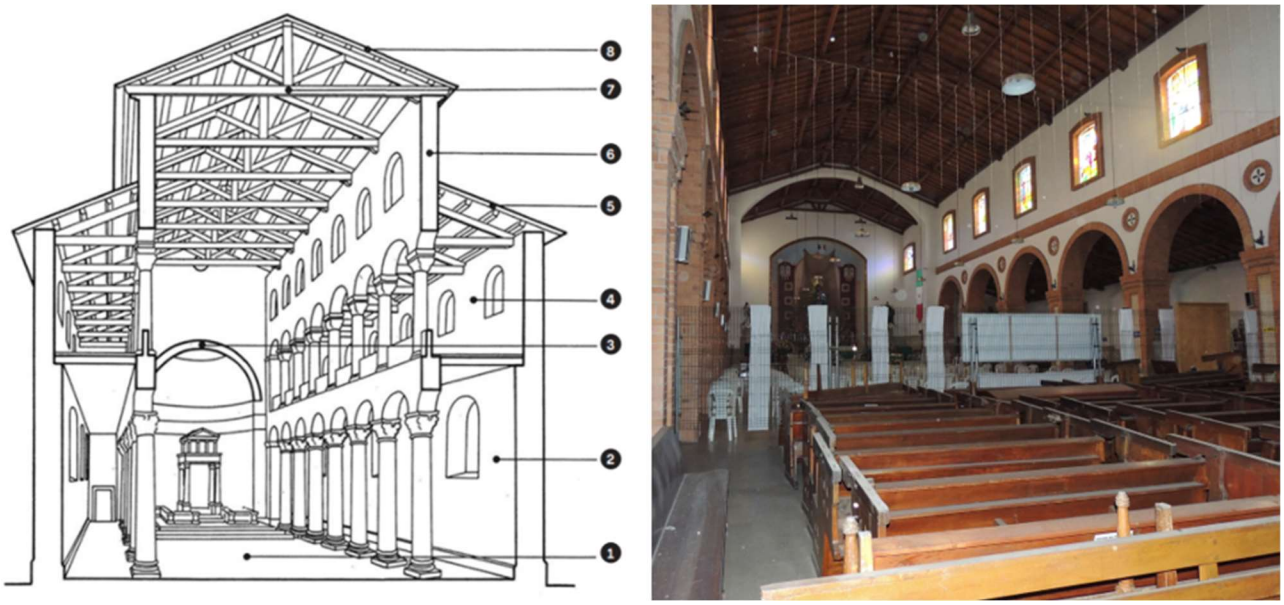
Según, el equipo de redactores de Arkiplus, (2021), Arquitectura paleocristiana, este tipo de construcciones son de formas rectilíneas, con techos planos de madera, con columnas que sostienen vigas o arcos. https://www.arkiplus.com/arquitectura-paleocristiana/

En la imagen a continuación se pueden observar las siguientes características arquitectónicas:

1. Nave
2. Pasillos
3. Arco triunfal

4. Tribuna
5. Cobertizo de techo de madera
6. Hilera de ventanas colocadas en los pisos superiores
7. Marco
8. Techo a dos aguas

Figura 15.
Estructura de una basílica paleocristiana



Nota: Imagen tomada del equipo de redactores Arkiplus (2021)

6.2.9.2. Monumento de Conservación

El templo era bien de interés cultural pero gracias al grado de afectación que este presentó en el año de 2016 se solicita la exclusión por medio de la resolución 1976 del 16 de mayo de 2018 “Por la cual se decide la solicitud de exclusión del inmueble denominado Iglesia de Nuestra Señora de Guadalupe, ubicada en la Carrera 60 No 94B-94 en el barrio Rionegro, en la localidad de Barrios Unidos, en Bogotá D.C, declarado como bien de interés cultural del ámbito distrital, en la categoría de Conservación Integral”

6.2.9.3. Materiales, Sistema Constructivo, Proceso Constructivo

Los materiales principales de la estructura son:

- Mampostería
- Concreto
- Acero de refuerzo liso y corrugado

6.2.10. Clasificación de la Estructura

6.2.10.1. Por Estado de la Estructura (A.10.2.2.1- NSR-10)

Para definir el estado actual de la estructura, se verificó el comportamiento de sus elementos estructurales. Dado a que la estructura en la zona de la fachada presenta una gran afectación en los elementos estructurales, con presencia de asentamientos diferenciales, evidencia de grietas y fisuras, su calificación de acuerdo la NSR-10 (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, 2017) es MALA para la zona de la fachada.

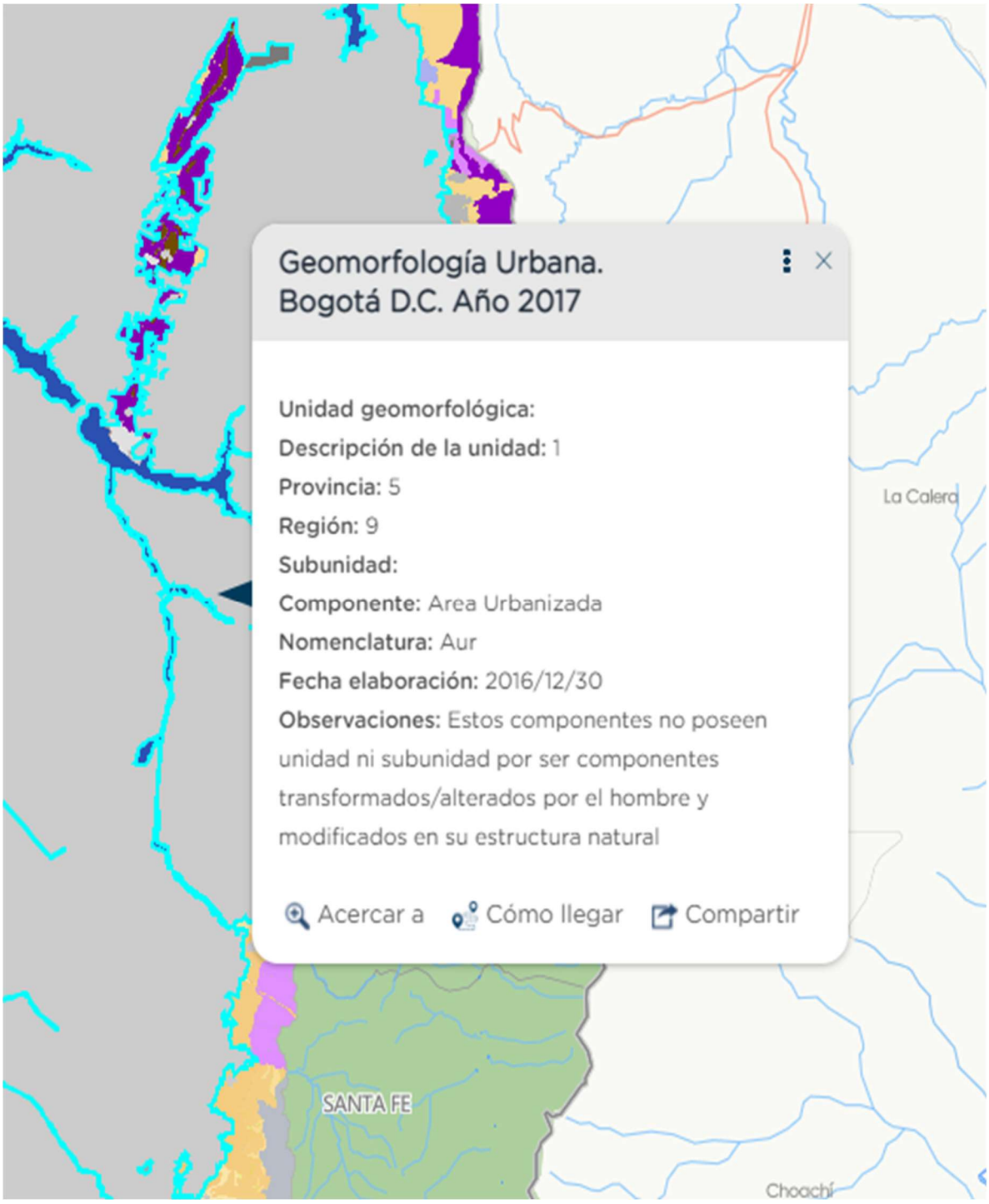
6.2.11.Suelos y Cimentaciones

6.2.11.1. Geología General del Paciente

De acuerdo con la página de Infraestructura de Datos Especiales (IDE) de Bogotá, la geomorfología urbana es la siguiente:

En la zona en que está ubicado el templo se encuentra un depósito lacustre compuesto por geoformas planas a ligeramente onduladas, de composición arcillo limosa de muy baja capacidad portante, donde su geomorfología típica es una planicie.

Figura 16.
Geomorfología urbana en la zona de la Iglesia Nuestra señora de Guadalupe

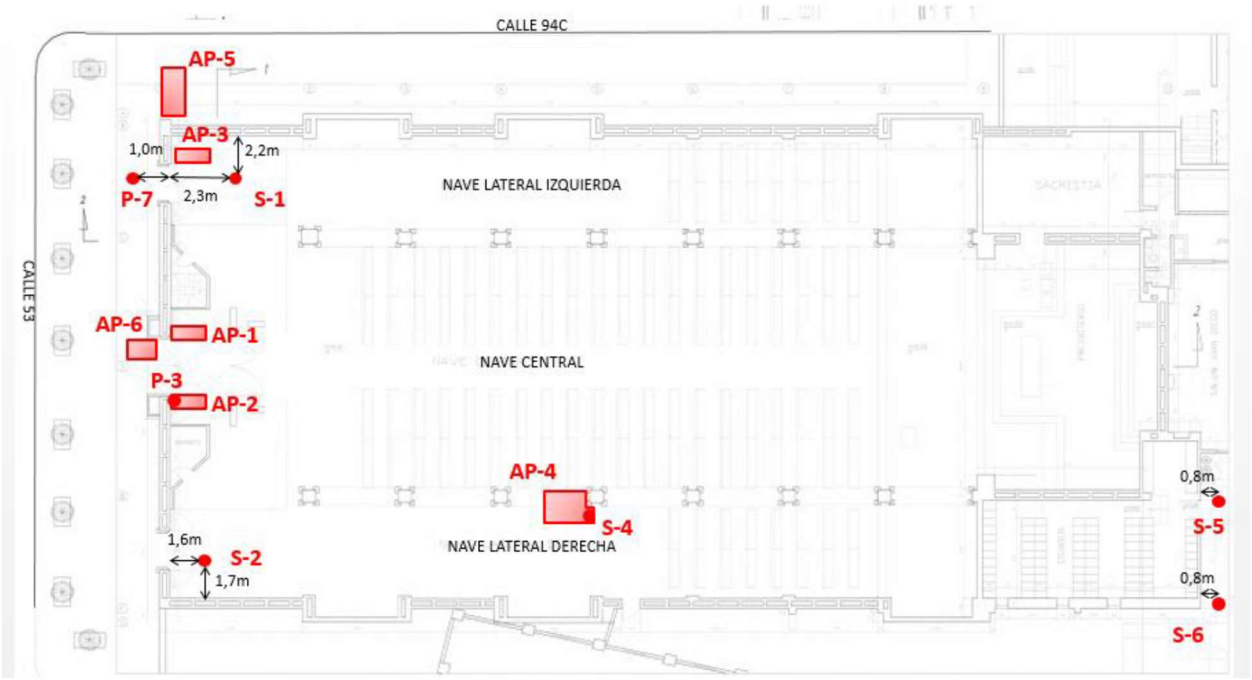


Nota: Esta imagen es tomada del Instituto Distrital de Riesgo y Cambio Climático

6.2.11.2. Estudio de suelos

Según (F. Montes, 2016, P.11), se realizaron cinco apiques y 7 apiques, localizados de la siguiente manera:

Figura 17
Localización de los apiques realizados



Nota: Esta imagen es tomada del estudio de suelos realizado en 2016 (F. Montes, 2016, P.12)

De acuerdo con la caracterización geotécnica, se definió que el perfil, está compuesto por tres estratos, los cuales se describen a continuación:

Capa vegetal o con alto contenido de materia orgánica: Este material estaba presente en las paredes de los apiques a una profundidad variable entre 1,5 m aproximadamente. En el estudio de suelos observaron que este material fue excavado para alcanzar los niveles de la fundación de la zapata y los muros corridos y luego mezclado con ladrillo y materiales de construcción, para una vez fundida la cimentación, alcanzar nuevamente la rasante donde se fundieron los pisos.

Figura 18.
Presencia de materia vegetal en uno de los apiques exploratorios



Nota: Esta imagen es tomada del estudio de suelos realizado en 2016 (F. Montes, 2016, P.19)

Mejoramiento del suelo compuesto por gravas, arena de grano fino con algo de arcilla y limos arenosos con colores café oscuro, en el estudio de suelos se logró identificar rajones que emplearon en la estabilidad y mejoramiento del suelo, lo que corresponde a una práctica común para la estabilización de suelos blandos y que consiste en rocas areniscas de aproximadamente 0,30 m de diámetro.

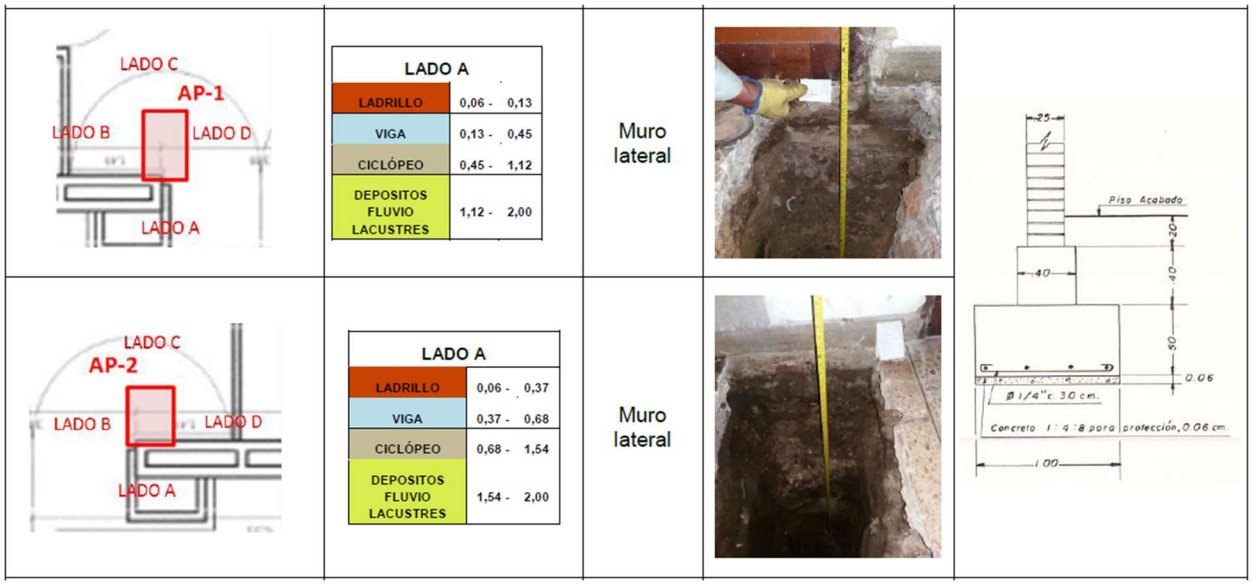
Los depósitos fluvio-lacustre están compuestos por arcillas y limos con presencia de lentes de arena, estos depósitos se encontraron en profundidades de 2 a 16 m.

6.2.11.3. Tipo de Cimentación Realizada

Como no se cuenta con planos de diseño ni memorias de cálculo, se recurrió al uso de apiques exploratorios para conocer la geometría y tipología de cimentación.

En la siguiente imagen se pueden observar los apiques exploratorios AP-1 y AP-2, la ubicación de los mismo puede verse en la Figura 17, estos se realizaron para verificar el tipo de cimentación de los muros perimetrales del templo.

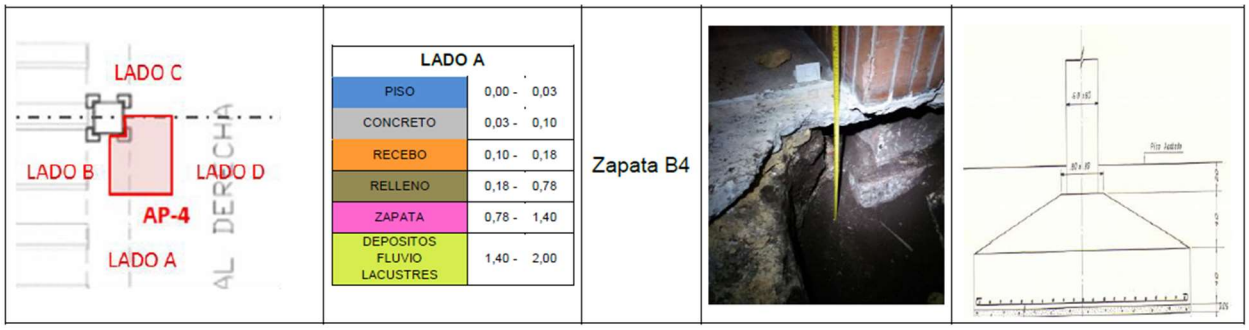
Figura 19.
Tipología de cimentación de los muros perimetrales



Nota: Esta imagen es tomada del estudio de suelos realizado en 2016 (F. Montes, 2016, P.22)

En la siguiente imagen se puede observar el apique exploratorio AP-4, con este se puede verificar el tipo de cimentación utilizada para las columnas.

Figura 20.
Tipología de cimentación en las columnas



Nota: Esta imagen es tomada del estudio de suelos realizado en 2016 (F. Montes, 2016, P.22)

6.3. Diagnóstico

La causa directa para la patología presentada es la siguiente:

La estructura al estar cimentada sobre arcillas blandas produjo una desecación por efecto de los árboles sembrados justo en frente de su fachada, disminuyendo el volumen en la masa del suelo de fundación, generando agrietamientos y asentamientos importantes que se evidenciaron en el deterioro del templo.

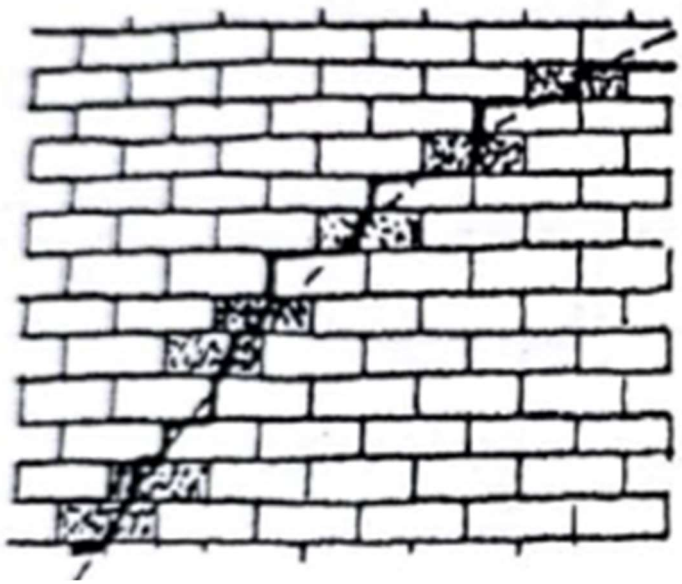
Los suelos arcillosos se ven afectados directamente por el contenido de agua, presentándose hinchamientos, retracción y fenómenos derivados de los procesos de humedecimiento y secado a que se encuentren sometidos en el tiempo, es por ello por lo que los factores externos pueden alterar la estructura cimentada sobre él.

A parte de la condición del suelo de fundación la estructura cuenta con una cimentación superficial, sin vigas de amarre, generando que la fundación no sea capaz de absorber esos movimientos.

6.3.1. Lesiones Mecánicas, Físicas y Químicas (Origen, Causa, Evolución y Estado Actual de las Lesiones)

La causa indirecta es la presencia de patologías mecánicas donde se evidencian grietas y fisuras en el templo, estas son la consecuencia de los movimientos diferenciales del suelo de fundación que debilitan los elementos estructurales y no estructurales, en este caso el más afectado ha sido el muro perimetral de mampostería.

Figura 21.
Esquema de grieta o fisura afectando al elemento de mampostería



Nota: Esta imagen es tomada de (Monjo 1997, P14)

En el año de 2016, se tomaron diferentes testigos de fisuras que serán comparados a continuación, una de las limitaciones al momento de realizar las medidas fue el trabajo en alturas, ya que en 2016 se instalaron andamios para realizar este tipo de medición y por ser este un trabajo académico no se contó con la infraestructura suficiente, razón por la cual se quedaron muchos testigos sin comparar sin embargo se encontraron nuevas fisuras descritas en este informe.

Los testigos 1, 2, 3 y 4 están localizados en la fachada del templo, la cual está restringida al público mediante un cerramiento perimetral por temas de seguridad, como se muestra en la imagen a continuación.

Figura 22.
Cerramiento perimetral de la fachada



Nota: Esta imagen es tomada por fuente propia

Figura 23.
Testigos de fisuras reportados en 2016



Nota: esta imagen es tomada de (M. Veloza, S. López, 2016, P.26)

Figura 24.
Testigo a fisura #5



Nota: La fotografía de la izquierda es tomada de (M. Veloza, S. López, 2016, P.26) y la de la derecha es de fuente propia

El 21 de abril de 2016 se reportaron dos tomas de fisuras, la primera de ellas reportó un espesor de 2.1 mm y la segunda de 3.00 mm, las fisuras tomadas para el ejercicio académico se realizaron el 18 de diciembre de 2021, reportando la primera de ellas un espesor de 3 mm y la segunda 3.5 mm. Esto indica que el incremento de las fisuras para este testigo ha sido muy leve.

Figura 25.
Testigo a fisura No 6

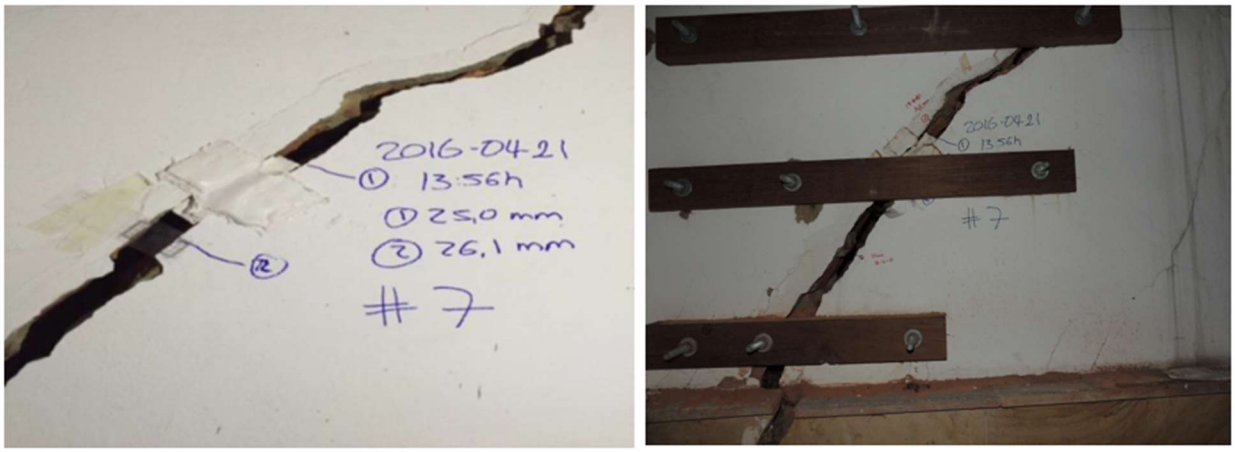


Nota: La fotografía de la izquierda es tomada de (M. Veloza, S. López, 2016, P.26) y la de la derecha es de fuente propia

El 21 de abril de 2016 se reportaron dos tomas de fisuras, la primera de ellas reportó un espesor de 2.5 mm y la segunda de 3.5 mm, las fisuras tomadas para el ejercicio académico se realizaron

el 18 de diciembre de 2021, reportando la primera de ellas un espesor de 2 mm y la segunda 2.0 mm. No se pudo realizar la toma cercana a la anterior por los elementos de madera.

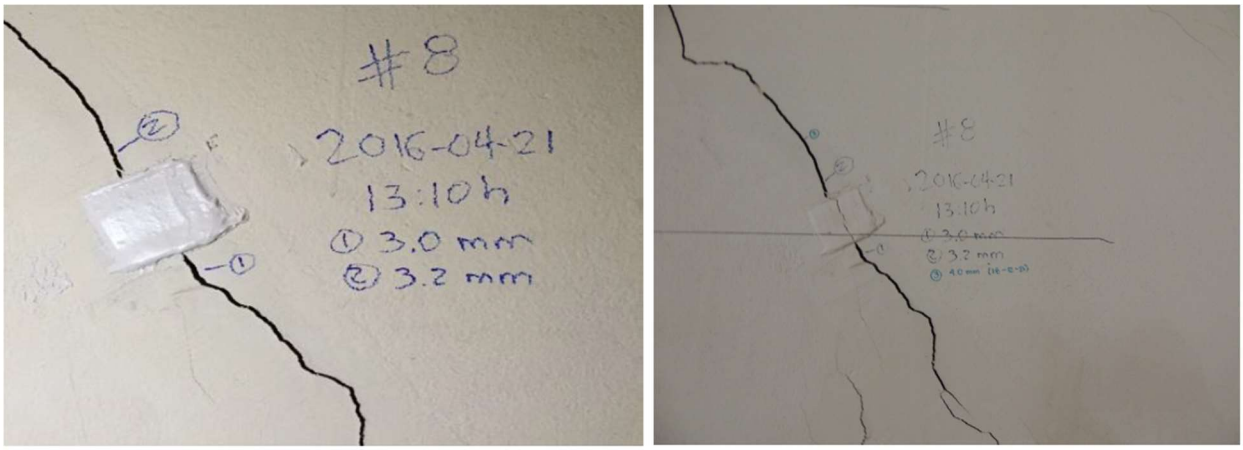
Figura 26.
Testigo fisura No 7



Nota: La fotografía de la izquierda es tomada de (M. Veloza, S. López, 2016, P.26) y la de la derecha es de fuente propia

El 21 de abril de 2016 se reportaron dos tomas de fisuras, la primera de ellas reportó un espesor de 25.0 mm y la segunda de 26.1 mm, las fisuras tomadas para el ejercicio académico se realizaron el 18 de diciembre de 2021, reportando la primera de ellas un espesor de 35.0 mm y la segunda 35.0 mm. Esta patología es denominada como la más relevante pues es la grieta más grande de la estructura, por no tener acceso al trabajo en alturas no se pudo medir en la parte superior que es la zona más afectada como se puede observar en la Figura 12 y Figura 13. Esta fisura ha aumentado más o menos 10 mm en cinco años.

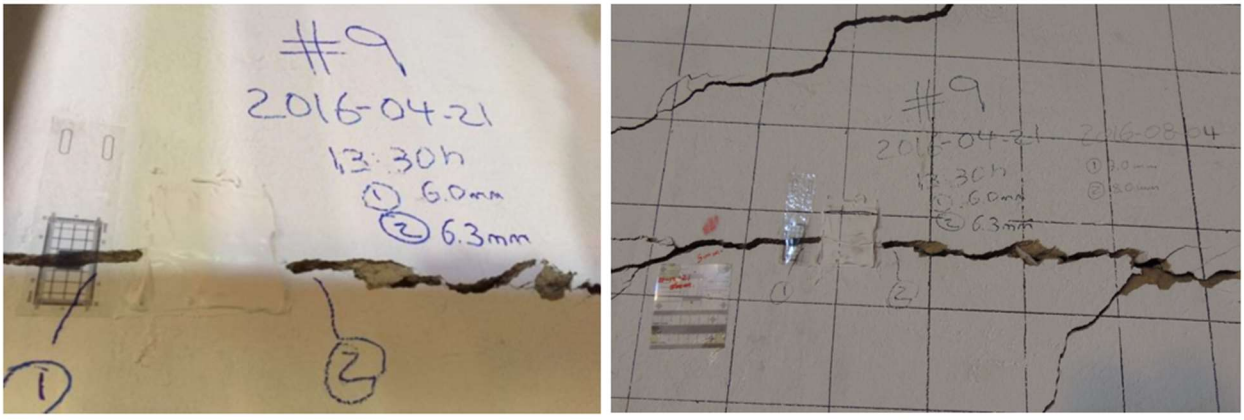
Figura 27.
Testigo No 8



Nota: La fotografía de la izquierda es tomada de (M. Veloza, S. López, 2016, P.26) y la de la derecha es de fuente propia

El 21 de abril de 2016 se reportaron dos tomas de fisuras, la primera de ellas reportó un espesor de 3.0 mm y la segunda de 3.2 mm, la fisura tomada para el ejercicio académico se realizó el 18 de diciembre de 2021, reportando un espesor de 4.0 mm. En la imagen de la derecha se puede observar que el testigo de yeso muestra que la fisura ha estado activa, reflejo del aumento en el espesor de la fisura en la nueva toma.

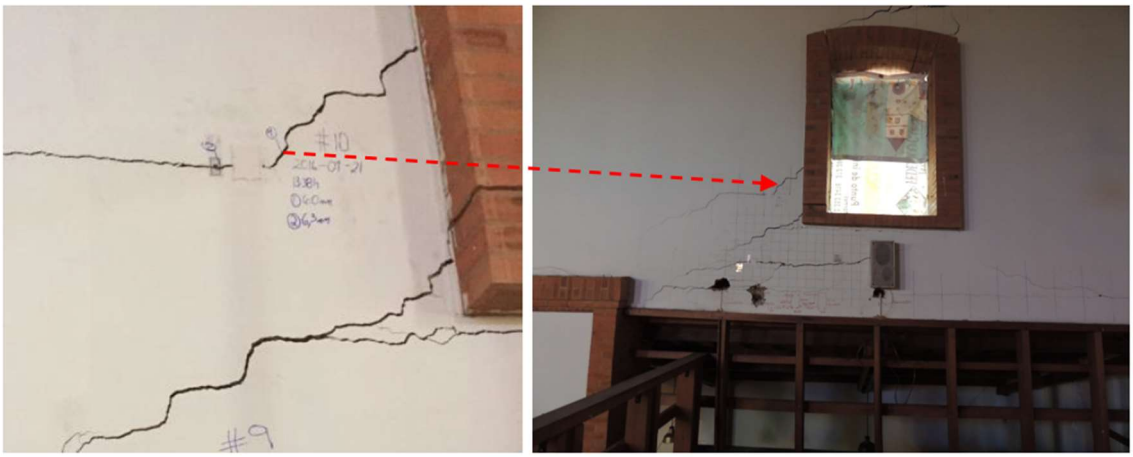
Figura 28.
Testigo No 9



Nota: La fotografía de la izquierda es tomada de (M. Veloza, S. López, 2016, P.26) y la de la derecha es de fuente propia

El 21 de abril de 2016 se reportaron dos tomas de fisuras, la primera de ellas reportó un espesor de 6.0 mm y la segunda de 6.3 mm, las fisuras tomadas para el ejercicio académico se realizaron el 19 de diciembre de 2021, reportando la primera de ellas un espesor de 8.0 mm y la segunda 5.0mm. En la imagen de la derecha se puede observar que el testigo de yeso muestra que la fisura ha estado activa, reflejo del aumento en el espesor de la fisura en la nueva toma.

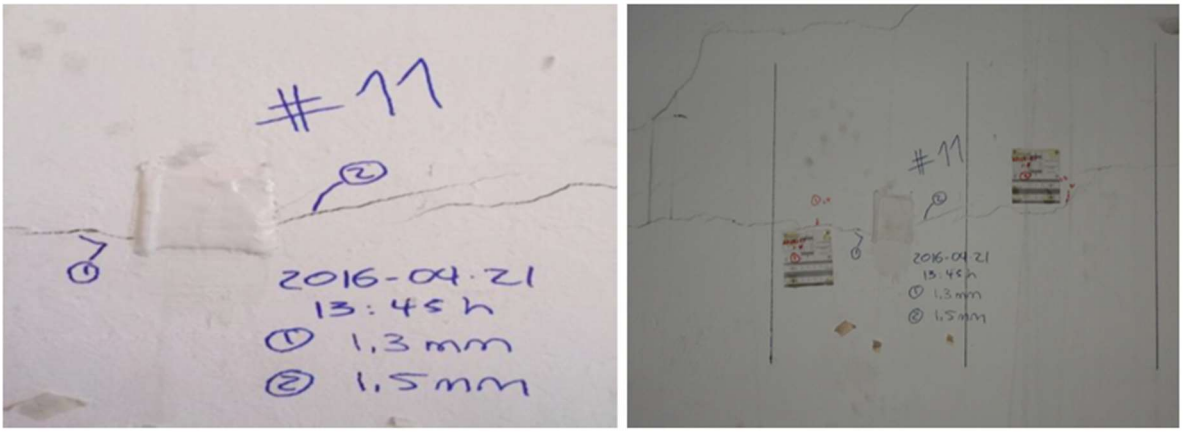
Figura 29.
Testigo No 10



Nota: La fotografía de la izquierda es tomada de (M. Veloza, S. López, 2016, P.26) y la de la derecha es de fuente propia

Por la altura a la cual se encuentra esta fisura no fue posible registrar el espesor a 2021.

Figura 30.
Testigo No 11



Nota: La fotografía de la izquierda es tomada de (M. Veloza, S. López, 2016, P.26) y la de la derecha es de fuente propia

Esta es la última fisura reportada del año 2016, se observa que en el primer registro las fisuras median 1.3 mm y 1.5 mm, en la toma realizada en 2021, se registraron fisuras de 2 mm y 3 mm. En este caso el testigo de yeso no muestra movimientos, sin embargo, en los registros si se puede observar un incremento en el espesor de la fisura.

6.3.2. Ensayos Destructivos y No Destructivos (Descripción del porqué se hizo un determinado ensayo en el Paciente)

En el año de 2016 realizaron auscultaciones para verificar los materiales y elementos estructurales del templo, ya que no se cuenta con información de memorias de cálculo ni planos estructurales.

A continuación, se presentará un registro fotográfico que permitieron obtener información de las características constructivas la de iglesia.

En la siguiente imagen se puede observar una auscultación realizada en el año de 2016, que se realizó a una de las columnas con el fin de conocer el tipo de refuerzo utilizado en la época.

Figura 31.
Auscultación para verificar el acero de refuerzo en columnas

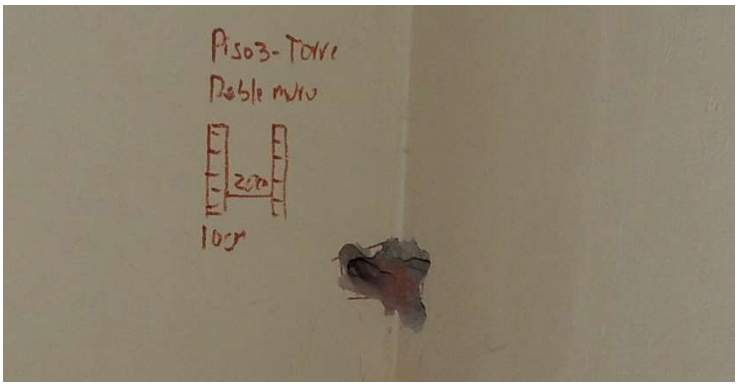


Nota: Esta imagen es tomada por fuente propia

En esta imagen se puede observar que el acero utilizado para los flejes es liso y el acero principal es corrugado.

En la siguiente se observa una auscultación en la zona del campanario dentro de la estructura, donde se identificó un doble bloque de mampostería con un vacío entre los dos de 20 cm, lo que coincide con la Figura 3, donde se aprecia el proceso constructivo de la mampostería perimetral. Se cree que la finalidad de este tipo sistema se hace con la finalidad de dar una apariencia de fachada robusta imitando a las fachadas en piedra.

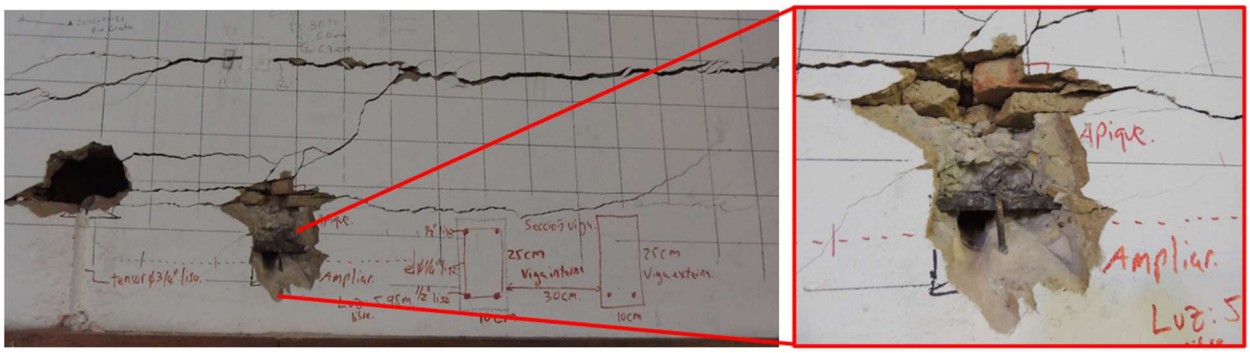
Figura 32.
Auscultación para verificar el espesor de la cámara de aire entre los dos muros



Nota: Esta imagen es tomada por fuente propia

El siguiente apique se realizó en el muro costado Nor-oriental, en la zona de la nave central, donde se identificó que cuenta con refuerzo estructural.

Figura 33.
Apique de verificación de refuerzo



Nota: Esta imagen es tomada por fuente propia

En esta imagen se puede observar el diagrama de uno de los flejes de la viga, donde usan refuerzo de punto de ½" liso y un fleje de ¼" de pulgada también liso.

Figura 34.
Regata de verificación de refuerzo



Nota: Esta imagen es tomada por fuente propia

En la regata realizada en 2016 se puede observar que encontraron acero de refuerzo en la placa de entre piso a 5,45 m del borde del muro.

Gracias a los apiques realizados en el estudio de suelos se pudo identificar el tipo de cimentación utilizada, dichas imágenes pueden observarse en la Figura 19 y Figura 20.

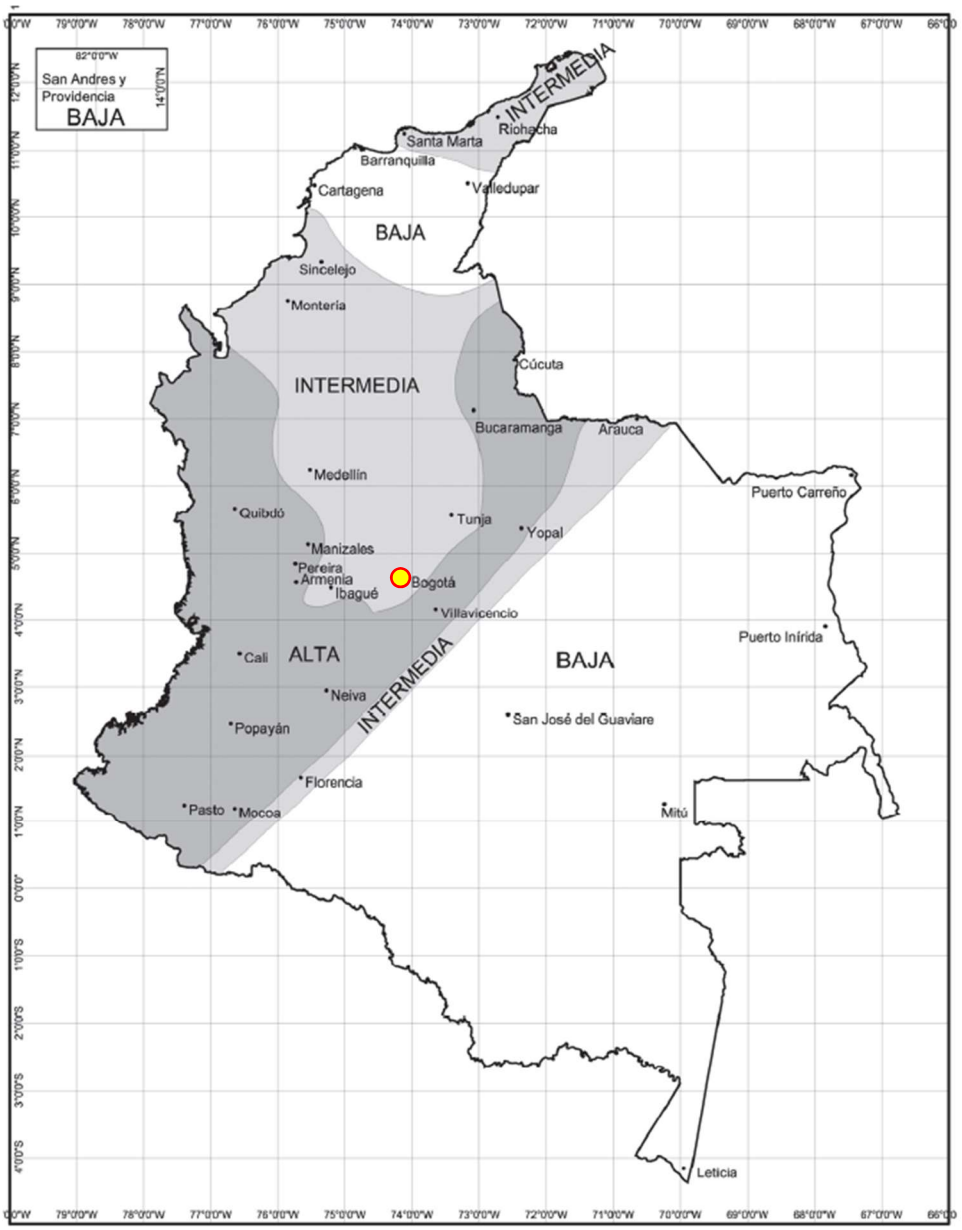
En general se pudo observar que el refuerzo de la estructura es acero liso y que la mampostería perimetral no tiene ningún tipo de refuerzo.

7. Estudio de Vulnerabilidad Sísmica

7.1. Mapa de Ubicación del paciente en la Microzonificación sísmica

Según la NSR-10, el nivel de amenaza sísmica para la ciudad de Bogotá es intermedia, tal como se observa en el mapa a continuación.

Figura 35.
Mapa de zonificación sísmica de Colombia

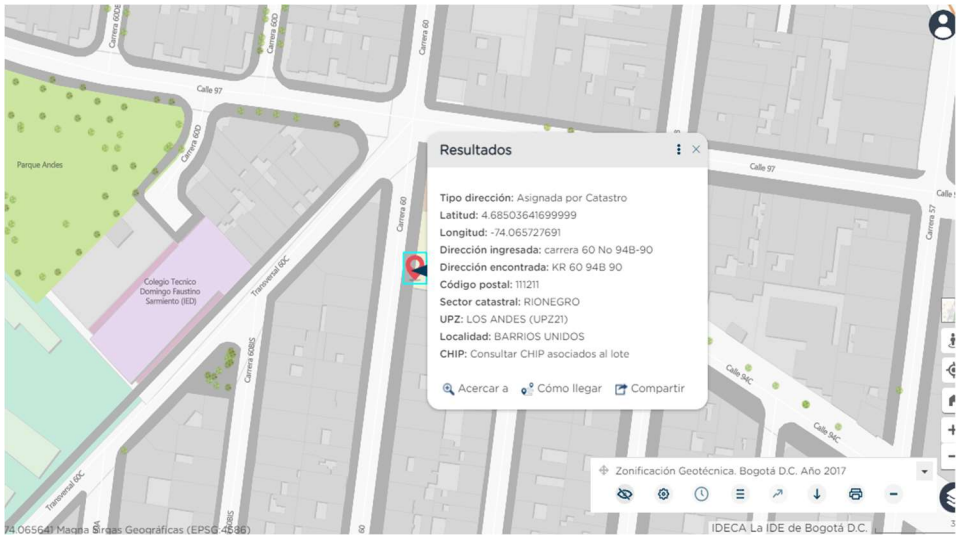


Nota: Fuente NSR-10 (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente), Página VI.

7.2. Determinación de la Zona Sísmica, el Valor de Aa y Ad

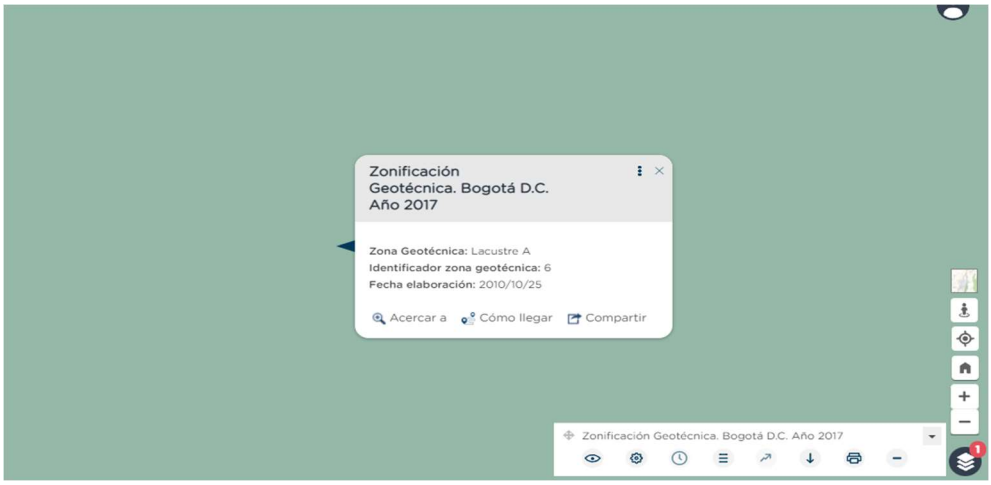
Gracias a la página de Infraestructura de Datos Especiales (IDE) de Bogotá, se localiza la ubicación de la estructura, en este caso la iglesia Nuestra Señora de Guadalupe, para identificar la zona geotécnica, como se muestra en las siguientes imágenes.

Figura 36.
Localización de la estructura según (IDE)



Nota: Esta imagen es tomada del Instituto Distrital de Riesgo y Cambio Climático

Figura 37.
Cuadro Resumen de la zonificación geotécnica



Nota: Esta imagen es tomada del Instituto Distrital de Riesgo y Cambio Climático

De acuerdo con el decreto 523 del 16 de diciembre de 2010 y según la información base obtenida del Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático, se define lo siguiente:

- Se identificó que la zona geotécnica y las zonas de respuesta sísmica de Bogotá D.C., para la zona en que se localiza la iglesia Nuestra Señora de Guadalupe tiene el siguiente comportamiento geotécnico.

Figura 38.
Descripción de las zonas geotécnicas

Nombre	Geotecnia	Geología	Geomorfología	Composición principal	Comportamiento geotécnico general
Lacustre A	Suelo lacustre muy blando	Terraza Alta - Lacustre	Planicie	Arcillas limosas muy blandas	Suelos de muy baja a media capacidad portante y muy compresibles
Lacustre B	Suelo lacustre blando			Arcillas limosas blandas	
Lacustre C	Suelo lacustre - aluvial			Arcillas arenosas firmes	
Aluvial	Suelo aluvial grueso a medio	Terraza Baja - Aluvial y Complejo de Conos Aluviales	Planicie	Arenas arcillosas sueltas a compactas	Suelos de mediana a alta capacidad portante poco compresibles, susceptibles a licuación e inestables en excavaciones a cielo abierto
Llanura A	Suelo de llanura - lacustre	Llanura de Inundación	Llanura	Arenas sueltas y arcillas limosas blandas	Suelos de moderada capacidad portante y compresibles, susceptibles a licuación
Llanura B	Suelo de llanura - aluvial			Arenas sueltas y arcillas arenosas duras	
Cauce	Cauce activo o antiguo	Cauces Activos	Piedemonte y Planicie	Gravas arenosas sueltas a compactas	Suelos de baja a mediana capacidad portante, susceptibles a licuación y problemas de estabilidad de taludes

Nota: Esta imagen es tomada del decreto 523 del 16 de diciembre de 2010, página 5.

Según la imagen anterior se puede deducir que los suelos son de baja a media capacidad portante y son muy compresibles, con una composición principal de arcillas limosas muy blandas.

Figura 39.
Descripción de la zona de respuesta sísmica

Zona	Espesor del depósito (m)	Periodo fundamental del suelo (s)	Descripción Geotécnica General	Velocidad onda promedio 50 m Vs (m/s)	Humedad Promedio 50 m Hn (%)	Efectos de sitio relacionados
Cerro	-	< 0.3	Rocas sedimentarias y depósitos de ladera con espesores inferiores a 6 m	> 750	< 10	Topográfico
Piedemonte A	< 50	0.3-0.6	Suelo coluvial y aluvial con intercalaciones de arcillas blandas: Bloques, cantos y gravas con matriz arcillo arenosas o areno arcillosa, capas de arcillas blandas.	200 - 750	10 - 80	Topográfico, amplificación
Piedemonte B	< 50	0.3-0.6	Suelo coluvial y aluvial con espesor superior a 12 m: Bloques, cantos y gravas con matriz arcillo arenosas o areno arcillosa	300 - 750	10 - 30	Topográfico, amplificación
Piedemonte C	< 50	0.3-0.6				
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
Lacustre Aluvial-200	100-200	2.0-3.0	Suelo lacustre con intercalaciones de aluvial: Arcillas limosas o limos arcillosos con lentes de turba y capas de arenas compactas	< 200	> 60	Amplificación
Lacustre Aluvial-300	200-300	3.0-4.0				Amplificación
Aluvial-50	< 50	0.4-0.8	Suelo aluvial duro: Arcillas limosas o arenas arcillosos o limos arenosos, en algunos	175 - 300	25 - 50	Amplificación, licuación
Aluvial-100	50-100	0.8-1.2				Amplificación, licuación

Nota: Esta imagen es tomada del decreto 523 del 16 de diciembre de 2010, página 7.

De acuerdo con la imagen anterior la descripción de la respuesta sísmica es:

- Velocidad de la onda menor a 175 m/s
- La humedad promedio es mayor a 80%
- Efectos de sitio relacionados Amplificación

7.3. Análisis de Vulnerabilidad Sísmica del Paciente

De acuerdo con la curva de diseño para un coeficiente de amortiguamiento de 5% del crítico, los parámetros obtenidos son los siguientes:

Figura 40.
Coeficiente de diseño

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

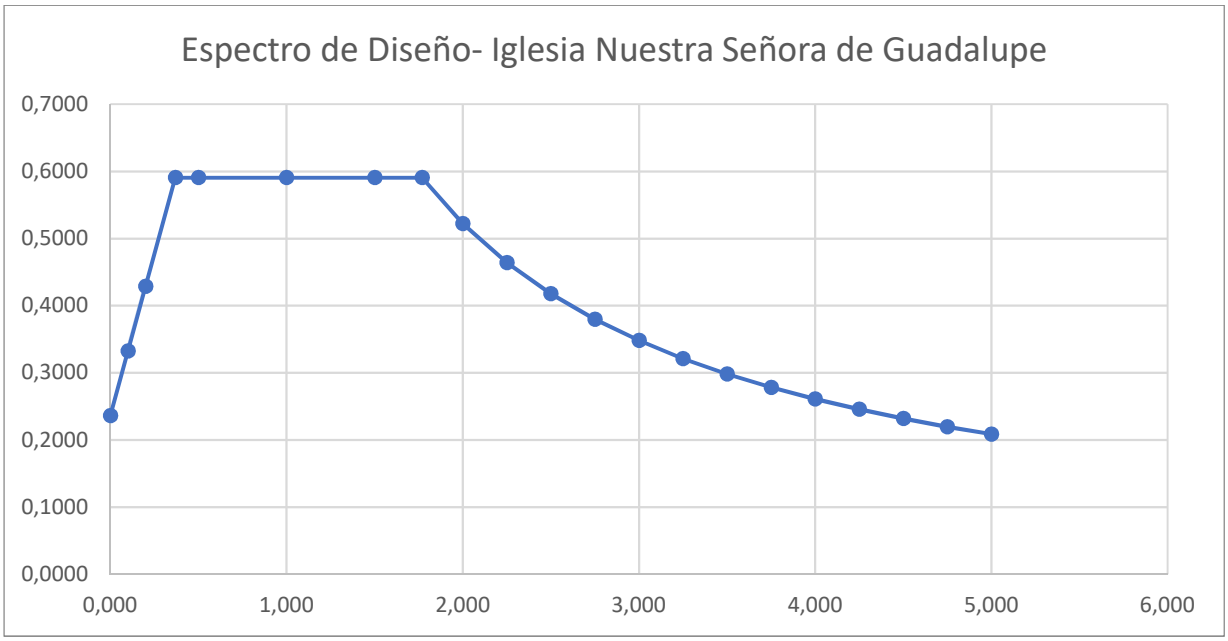
Nota: Esta imagen es tomada del decreto 523 del 16 de diciembre de 2010, página 9.

Aa= Aceleración horizontal pico efectiva de diseño. Aa= 0.15 g

Av= Aceleración que representa la velocidad horizontal pico efectiva de diseño Av = 0.20 g

Con la información suministrada del decreto 523 de 2016 Página 9, se puede realizar el espectro de diseño para la zona en que se encuentra el templo.

Figura 41.
Espectro de diseño



Nota: Esta gráfica fue obtenida mediante cálculos matemáticos

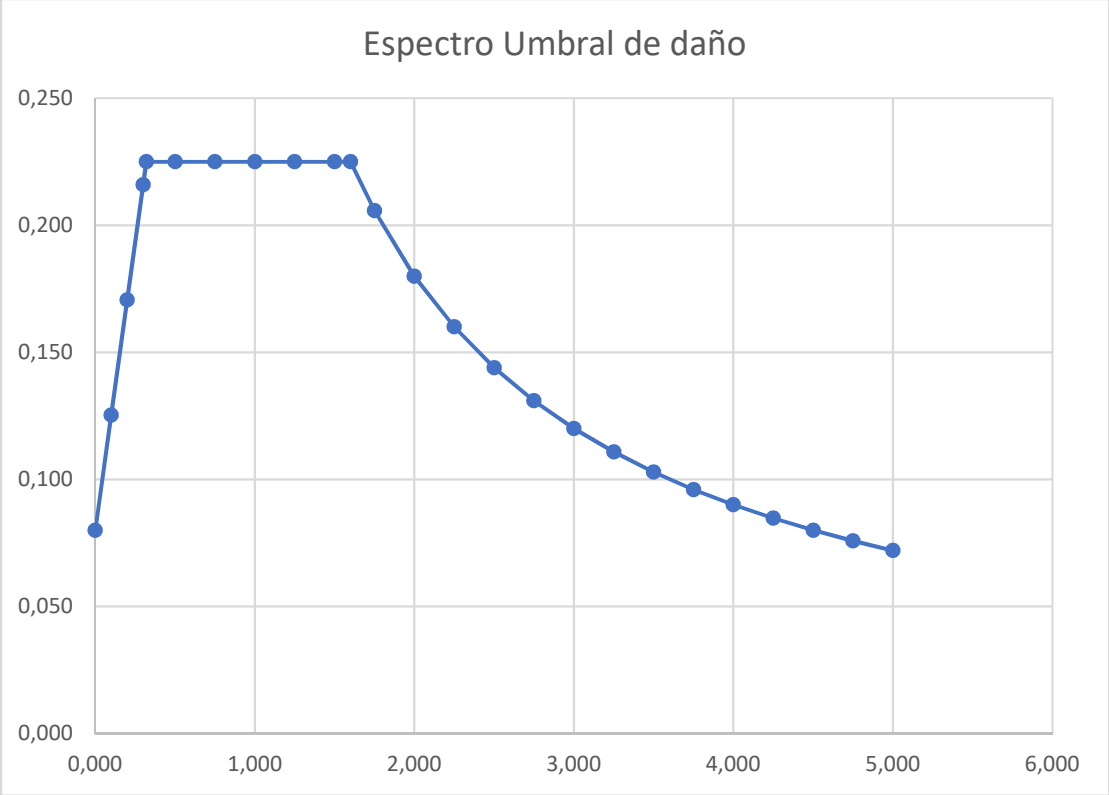
El umbral de daño se enfoca en las edificaciones pertenecientes al grupo de uso IV y III denominadas como edificaciones indispensables y de las demás que la comunidad designe como tal, según el título A.12 del reglamento NSR-10, se acogen los coeficientes y curvas de umbral de daño para edificaciones relacionados en la siguiente tabla.

Figura 42.
Coeficiente de umbral de daño

Zona	F_a (225)	F_v (225)	T_C (s)	T_L (s)	A_0 (225) (g)
CERROS	1.40	1.50	0.51	3.0	0.16
PIEDEMONTE A	1.70	2.35	0.66	3.0	0.20
PIEDEMONTE B	2.00	1.95	0.47	3.0	0.23
PIEDEMONTE C	1.85	1.95	0.51	3.0	0.22
LACUSTRE-50	1.45	3.40	1.13	4.0	0.19
LACUSTRE-100	1.35	3.70	1.32	4.0	0.18
LACUSTRE-200	1.25	4.00	1.54	4.0	0.16
LACUSTRE-300	1.10	3.40	1.48	5.0	0.14
LACUSTRE-500	1.00	3.10	1.49	5.0	0.13
LACUSTRE ALUVIAL-200	1.15	3.20	1.34	4.0	0.15
LACUSTRE ALUVIAL-300	1.05	2.90	1.33	5.0	0.14
ALUVIAL-50	1.40	2.10	0.72	3.5	0.18
ALUVIAL-100	1.25	2.50	0.96	3.5	0.16
ALUVIAL-200	1.10	2.50	1.09	3.5	0.14
ALUVIAL-300	1.00	2.50	1.20	3.5	0.13
DEPÓSITO LADERA	1.70	1.95	0.55	3.0	0.20

Nota: Esta imagen es tomada del decreto 523 del 16 de diciembre de 2016, página 13.

Figura 43.
Espectro de Umbral de daño



Nota: Esta gráfica fue obtenida mediante cálculos matemáticos

8. Propuesta de Intervención

8.1. Alcance de los Trabajos Geotécnicos

Se requiere una exploración geotécnica con sus respectivas recomendaciones en la zona de la fachada del templo, con el objeto de realizar la caracterización geotécnica en el marco del cumplimiento normativo aplicable que me permita verificar los límites de contracción en función de la humedad natural del suelo de fundación para determinar la profundidad a la cual el suelo se ha disecado, con estos resultados se puede asegurar mediante pruebas técnicas el asentamiento por desecación.

Para cumplir con los objetivos nombrados, se requieren los siguientes trabajos de campo y laboratorio:

- 1 sondeo a rotación de 8 m de profundidad mínima. Es importante detectar el nivel freático o en su caso garantizar su no detección. En este caso se deberá tomar cuatro muestras inalteradas en toda la profundidad del sondeo, a criterio del supervisor de la perforación.
- Ensayo para clasificación de suelos cada metro y guiado en las recomendaciones del título H de la NSR-10 (humedad, densidad, granulometría y límite de Atterberg).

Adicionalmente se realizará un informe en el que se describen las actividades de campo, donde se adjuntaran el registro fotográfico, con los resultados de laboratorio y el análisis de la información obtenida para determinar las siguientes conclusiones:

- Perfiles estratigráficos del terreno a lo largo de la línea, de acuerdo con los suelos encontrados mediante la exploración de campo.
- Recomendaciones generales para la intervención de la estructura
- Capacidad portante y asentamientos inmediatos y de largo plazo esperados en el suelo bajo el paciente a estudiar
- Recomendaciones de varias alternativas para el reforzamiento de la cimentación o el reemplazo de esta

8.2. Alcance de los Trabajos Patológicos

Dado al estado actual de la estructura no se pueden realizar más estudios patológicos, pero lo que se analizará la siguiente información que será suministrada por la comunidad:

- Extracciones de núcleos en columnas
- Regatas para verificar el refuerzo existente
- Resultados de pruebas con fenolftaleína para determinar el frente de carbonatación en la zona aledaña al refuerzo
- Medición de las fisuras desde el año de 2016 con testigos de fisuras

Se realizará una inspección visual y se analizará la información suministrada con el fin de dar un diagnóstico de la calidad de los materiales y el estado estructural del tempo, así como el análisis del estudio geotécnico que permitirá verificar el problema base de la condición actual de la estructura.

8.3. Alcance de la Propuesta de Intervención 1

Una vez realizado el estudio de suelos y comprobando los asentamientos producidos por una fundación en suelo arcilloso que presentó un cambio volumétrico debido a la evaporación de la superficie por efecto de los árboles plantados frente a su fachada, se plantea la primera propuesta de intervención, la cual es el uso del recrecimiento de la cimentación, zapatas aisladas de 4 x 4m en concreto ciclópeo, haciendo un reforzamiento a las zapatas y adicionar vigas de amarre que son las que más absorben las cargas diferenciales. Esta solución se plantea en la zona más afectada, que es la fachada del templo. Pero antes de implementar esta recomendación es preciso hacer un análisis de estabilidad estructural de la edificación, ya que la afectación que se pudo apreciar en la visita es severa y es necesario considerar si el templo tiene la capacidad de seguir soportando las cargas aplicadas, especialmente si hay algún riesgo de colapso.

Esta opción no fue considerada como las más favorable, dado a que en la visita se observó que el acero de refuerzo en las columnas no es corrugado, haciendo esta solución poco factible a ojos de la normativa colombiana.

8.4. Alcance de la Propuesta de Intervención 2

Otra solución es cambiar los árboles de ubicación, ya que con el pasar del tiempo sus raíces pueden seguir creciendo y afectar aún más la estructura, luego de ellos hacer un mejoramiento en el suelo de fundación con resinas expansivas para recuperar el nivel del terreno que ha sufrido los mayores asentamientos y con respecto a la estructura la opción es la reconstrucción del área más afectada, es decir la fachada del templo, teniendo en cuenta que esa zona no cuenta con elementos

estructurales que le den soporte. Con esta solución se puede garantizar el sistema estructural y evitar futuros asentamientos por desecación ya que se está eliminando el problema base y se está consolidando el terreno con el uso de las resinas.

8.5. Alcance de la Propuesta de Intervención Definitiva

La solución que se seleccionó como alternativa para la solución del problema es la de reubicar los 10 jazmines del Cabo, hacer un mejoramiento del suelo de fundación con resinas expansivas y la reconstrucción de la fachada del templo, ya que los suelos arcillosos que sufren cambios volumétricos por su variación en su contenido de humedad son los que mayor dificultad tienen para controlar los movimientos importantes en estructuras con cimentaciones superficiales.

Cuando los suelos lacustres sufren de acción de secado por árboles plantados cerca de la edificación, sus raíces extraen la humedad del suelo con el pasar de los años reflejándose en asentamientos locales.

Cuando se presentan problemas relacionados con la contracción de la estructura de fundación, lo más común es la aparición de grietas en la estructura generando falta de operatividad de los elementos que componen la estructura, en el caso de esta estructura no se puede hacer la apertura de las puertas para que las personas puedan ingresar a la iglesia.

La adecuación de una de cimentación según el tipo de suelo no depende únicamente de la forma de la estructura por sí misma, sino por la magnitud de los movimientos diferenciales esperados, además de la variación de movimientos en el área ocupada por la estructura y la influencia de los procedimientos de construcción afecta la proporción y magnitud de los efectos.

8.5.1. Trabajos de Intervención de la Propuesta Definitiva

- Solicitud ante el distrito para la reubicación de los 10 árboles plantados en la fachada del templo
- Reubicación de los árboles

- Demolición de la fachada
- Mejoramiento del suelo de fundación con el uso de resinas expansivas
- Diseños del nuevo sistema estructural de la fachada
- Diseños arquitectónicos manteniendo las mismas características de la fachada
- Construcción de la cimentación en la zona de la fachada
- Construcción de los elementos estructurales de la fachada
- Construcción de la mampostería
- Fase de acabados
- Restitución del adoquín en la zona del sendero peatonal frente al templo

9. Presupuesto

9.1. Presupuesto Estudio de Suelos



Presupuesto - Estudio de suelos

ITEM	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA				
1.1	Perforación mecánica vertical	ml	8	$ 850.142	$ 6.801.136
2	ENSAYOS				
2.1	Peso específico de sólidos	Und	4	$ 88.920	$ 88.924
2.2	Límite líquido y Límite plástico	Und	4	$ 31.860	$ 31.864
2.3	Contenido de humedad	Und	4	$ 18.525	$ 18.529
3	INFORME FINAL				
3.1	Informe Final	Und	1	$ 9.000.000	$ 9.000.001
4	MOVILIZACIÓN				
4.1	Movilización	Und	1	$ 2.000.000	$ 2.000.001
SUB TOTAL - COSTO DIRECTO					$ 17.940.455
IMPREVISTOS				2%	$ 358.809
IVA				19%	$ 3.408.686
TOTAL					**$ 21.707.951**

9.2. Presupuesto Estudio de Patología



Presupuesto - Estudio de Patología

ITEM	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	INSPECCIÓN VISUAL				
1.1	Informe de inspección visual	Und	1	$ 4.300.000	$ 4.300.000
2	REVISIÓN DE ESTUDIOS				
2.1	Informe de informe patológico existente	Und	1	$ 1.000.000	$ 1.000.001
2	Medición de fisuras	Und	20	$ 100.000	$ 2.000.000
3	ANÁLISIS ESTRUCTURAL	Und			
3.1	Inspección estructural	Und	1	$ 2.300.000	$ 2.300.000
4	INFORME FINAL				
4.1	Informe de patología	Und	1	$ 14.800.000	$ 14.800.001
5	FICHAS				
5.1	Fichas de levantamiento de daños patológicos	Und	1	$ 2.600.000	$ 2.600.000
SUB TOTAL - COSTO DIRECTO					$ 27.000.002
IMPREVISTOS				2%	$ 540.000
IVA				19%	$ 5.130.000
TOTAL					**$ 32.670.002**

9.3. Presupuesto Propuesta de Intervención Definitiva



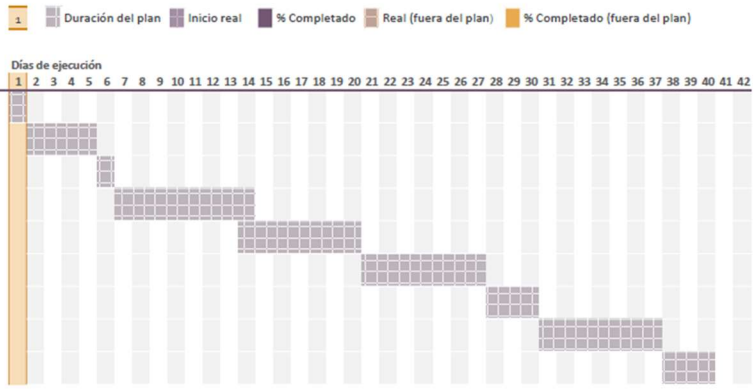
Presupuesto - Propuesta de intervención					
ITEM	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	REUBICACIÓN DE ÁRBOLES				
1.1	Solicitud ante el distrito para la reubicación de los 10 árboles planteados en la fachada del tempo	Und	10	$ 80.000	$ 800.000
1.2	Reubicación de los árboles	Und	10	$ 550.142	$ 5.501.420
2	DISEÑO				
2.1	Diseño del nuevo sistema estructural de la fachada	Und	1	$ 16.000.000	$ 16.000.000
2.2	Diseños arquitectónicos manteniendo las caraterísticas de la fachada original	Und	1	$ 12.000.000	$ 12.000.000
3	DEMOLICIÓN CON TRASLADO DE ESCOMBROS				
3.1	Fachada	Global	1	$ 2.000.000	$ 2.000.001
3.2	Cimentación - Zona de fachada	Global	1	$ 12.000.000	$ 12.000.001
4	MEJORAMIENTO DEL SUELO DE FUNDACIÓN				
4.1	Mejoramiento del suelo de fundación con el uso de resinas expansivas	Global	1	$ 18.000.000	$ 18.000.001
5	CONSTRUCCIÓN				
5.1	Construcción de la cimentación en la zona de la fachada	Global	1	$ 150.000.000	$ 150.000.001
5.2	Construcción de los elementos estructurales de la fachada	Global	1	$ 60.000.000	$ 60.000.001
5.3	Construcción de la mampostería	Global	1	$ 15.000.000	$ 15.000.001
5.4	Acabados arquitectónicos	Global	1	$ 80.000.000	$ 80.000.001
5.5	Adoquín del sendero peatonal frente al templo	Global	1	$ 8.000.000	$ 8.000.001
SUB TOTAL - COSTO DIRECTO					$ 379.301.428
IMPREVISTOS				2%	$ 7.586.029
IVA				19%	$ 72.067.271
TOTAL					**$ 458.954.728**

10. Programación

10.1. Programación Estudio de Suelos

Estudio de Suelos

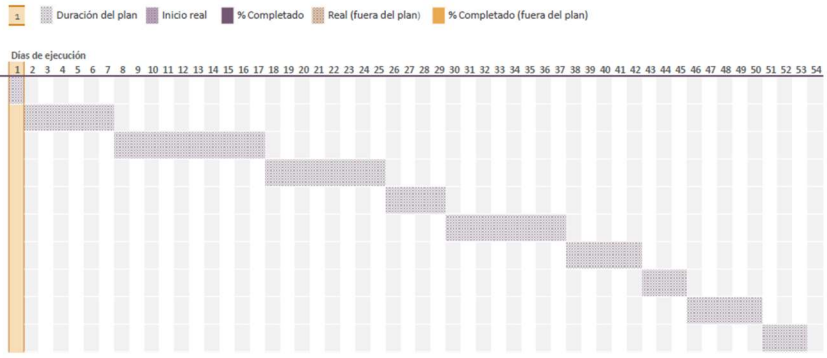
ACTIVIDAD	IP	DP	IR	DR
Firma del contrato	1	1	0	1
Contratación del personal	2	4	0	6
Movilización de equipos	6	1	0	1
Ejecución de los trabajos de campo	7	8	0	10
Ensayos de laboratorio	14	7	0	7
Informe Rev A	21	7	0	7
Comentarios Rev A	28	3	0	4
Informe en Rev 0	31	7	0	7
Comentarios Rev 0	38	3	0	4



10.2. Programación Estudio de Patología

Estudio de Patología

ACTIVIDAD	IP	DP	IR	DR
Firma del contrato	1	1	0	1
Inspección visual Revisión de los resultados suministrados	2	6	0	7
	8	10	0	10
Medición de fisuras actuales Revisión de los elementos estructurales	18	8	0	10
	26	4	0	4
Tomas de medidas de la fachada	30	8	0	10
Informe Rev A	38	5	0	5
Comentarios Rev A	43	3	0	4
Informe en Rev 0	46	5	0	5
Comentarios Rev 0	51	3	0	3



10.3. Programación Propuesta de Intervención Definitiva

CRONOGRAMA TRABAJOS GENERALES

ACTIVIDAD	IP	DP	IR	DR
Firma del contrato	1	1	0	1
Estudio previos de suelos	1	6	0	6
Estudios de patología	1	7	0	7
Diseños estructurales y arquitectónicos	1	3	0	3
Reubicación de árboles	8	1	0	1
Demolición	9	2	0	2
Construcción	11	15	0	15
Acabados arquitectónicos	26	5	0	5
Entrega Final	31	1	0	1



11. Conclusiones

- Se realizó la actualización del estudio patológico desarrollado en 2016 para la iglesia Nuestra Señora de Guadalupe, verificando el grado de avance de los testigos de fisuras, tomando desniveles de la placa de piso del templo, elaborando fichas de verificación del estado de las losetas del sendero peatonal en la zona arborea y el registro de nuevas fisuras reportadas.
- Se identificó el grado de avance de los testigos de fisuras registrados en 2016, de los cuales se pudo observar lo siguiente:
    - De acuerdo con el testigo número 5, el incremento de las fisuras fue de aproximadamente 0,7 mm.
    - De acuerdo con el testigo número 6, el incremento de las fisuras fue de aproximadamente 1,0 mm.
    - De acuerdo con el testigo número 7, el incremento de las fisuras fue de aproximadamente 10 mm.
    - De acuerdo con el testigo número 8, el incremento de las fisuras fue de aproximadamente 0,8 mm.
    - De acuerdo con el testigo número 9, el incremento de las fisuras fue de aproximadamente 1,7 mm.
    - De acuerdo con el testigo número 11, el incremento de las fisuras fue de aproximadamente 1,1 mm.
- En este informe se registraron tanto las fotografías del primer análisis patológico realizado en 2016 como las actuales para que fuera más gráfica y clara la identificación de las lesiones.
- Dentro de las fichas patológicas se registró la siguiente información:
    - Ficha de levantamiento de fisuras en fachada

  - Ficha de información histórica
  - Ficha de información general
  - Ficha de fisuras y desniveles en la placa de piso de la estructura
  - Ficha de desniveles en sendero peatonal
  - Ficha de fisuras en muro interno de fachada
- Al comparar los resultados de 2016 frenre a los actuales se pudo concluir que la estructura sigue presentando movimientos, especialmente en la zona de la fachada por el incremento del espesor de las grietas y fisuras, el aumento en los desniveles del piso del templo y la afectación de las losetas del sendero peatonal.
- Con la información recopilada realizó el siguiente prediagnóstico:
  - El templo al estar cimentado sobre arcillas blandas produjo una desecación por efecto de la gran cantidad de árboles plantados frente a la fachada, disminuyendo el volumen de la masa del suelo de fundación, generando asentamientos que causaron fisuras y grietas en la estructura cimentada sobre él.
  - Los suelos arcillosos se ven afectados directamente por el contenido de agua, presentándose hinchamientos, retracciones y fenómenos derivados de los procesos de humedecimiento y secado al que se encuentra sometido en el tiempo, es por ello que los factores externos, como es el caso de los árboles pueden afectar el comportamiento del suelo y evidentemente la estructura cimentada sobre él.
  - Otro factor que influyó en el deterioro acelerado fue la falta de vigas de amarre como parte de la estructura de cimentación, que ayuda a absorber parte de esos movimientos diferenciales.

12. Recomendaciones

- Según reportes del DANE en el año de 2015 se presentó el fenómeno del niño en Colombia generando una fuerte sequía, esta causa pudo ser un factor que incrementó los asentamientos diferenciales en la fachada de la estructura por lo que se recomienda inspeccionar de forma periódica la estructura en época de sequía.
- Según la información suministrada por el Jardín Botánico la especie arbórea Jazmín del cabo, con nombre técnico Pittosporum undulatum, tienen unas raíces profundas con estructura ramificada, por lo que se recomienda realizar un apique exploratorio para verificar su magnitud.
- En el año de 2016 se realizaron ensayos destructivos con el fin de verificar los materiales y elementos estructurales del templo, pero no hicieron ninguna reparación a los ensayos realizados en la época por lo que se recomienda su reparación inmediata para evitar el deterioro de dichos elementos, teniendo en cuenta que hacen parte del sistema estructural.
- De acuerdo con la información obtenida de los ensayos realizados, el acero de refuerzo utilizado para las vigas y las columnas son barras lisas, por lo que se recomienda hacer un estudio de vulnerabilidad y reforzamiento a la estructura para que cumpla con la normativa vigente.

Bibliografía

- Orozco, L. (1998). ASENTAMIENTOS TOTALES Y DIFERENCIALES EN BOGOTÁ. CONFERENCIAS LFO. https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/tercer_ent/asentamientos_totales_diferenciales_bogota.pdf
- Decreto 523, Microzonificación sísmica de Bogotá, 2010.
- El tiempo en bogotá en 2016 (colombia) - Weather Spark. (2016). Weather Spark. https://es.weatherspark.com/h/y/23324/2016/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2016-en-Bogot%C3%A1-Colombia#Figures-Summary
- F. Montes (2016), Estudio de Suelos y Cimentaciones para la Rehabilitación de la Nave Frontal – Oriental de la Parroquia Guadalupe.
- M. Veloza, S. López, (2016), Estudio Patológico de la Fachada de la Iglesia Nuestra Señora de Guadalupe.
- (El clima en Bogotá, el tiempo por mes, temperatura promedio (Colombia) - Weather Spark. (2021, 21 diciembre). Weather Spark. https://es.weatherspark.com/y/23324/Clima-promedio-en-Bogot%C3%A1-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o)
- Ibarra, M. (2021). Arquitectura Paleocristiana. lifeder. https://www.lifeder.com/arquitectura-paleocristiana/
- Equipo de redactores de Arkiplus, (2021), https://www.arkiplus.com/arquitectura-paleocristiana/
- NSR-10, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, 2017
- www.arkiplus.com. Portal especializado en temas de arquitectura, construcción, paisajismo y arte con más de 2300 artículos publicados a la fecha. Título del artículo: “Arquitectura paleocristiana”. Fecha de publicación: Autoría del artículo: Equipo

de redactores de Arkiplus.com. Consultado el 23/12/2021, desde la url: https://www.arkiplus.com/arquitectura-paleocristiana/

- Wiesner, D. (2020). Diana Wiesner Arquitectura y Paisaje. Manual verde. http://dianawiesner.com/Arborizacion%20bogota/Jazmin_del_Cabo.pdf

Anexos

ANEXO 1

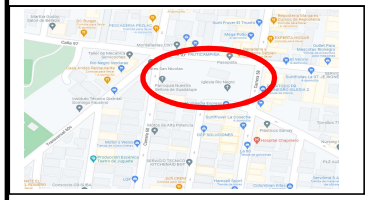
FICHAS DE LEVANTAMIENTO

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

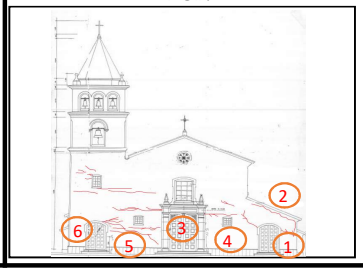
FICHA GENERAL DE LESIONES EN FACHADA
LEVANTAMIENTO DE FISURAS

IGLESIA NUESTRA SEÑORA DE GUADALUPE

UBICACIÓN



ZONA



Zona de levantamiento:

Fachada del templo

Fecha :

28/12/2021

Responsable del levantamiento:

Ing. Andrea Mayorga Gómez

1



2



3



4



5



6



TIPO	LESIÓN	UBICACIÓN	CAUSA	GRADO			
				L	M	S	G
Mecánica	Fisuras	Fachada	Asentamiento diferencial por desecación				

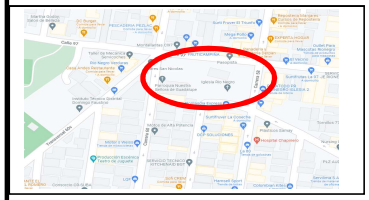
Descripción: El distrito sembró 10 árboles Jazmín del cabo en el sendero peatonal de la Carrera 58 generando un asentamiento diferencial por desecación, afectando la fachada prinicipal del templo, generando grietas y fisuras que impiden el acceso al público en esta zona de la iglesia

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

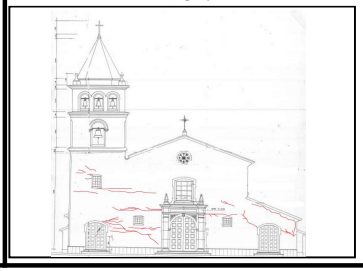
FICHA INFORMACIÓN HISTÓRICA

IGLESIA NUESTRA SEÑORA DE GUADALUPE

UBICACIÓN



ZONA



Zona de levantamiento:

Información histórica

Fecha :

28/12/2021

Responsable del levantamiento:

Ing. Andrea Mayorga Gómez

ESTAS FOTOGRAFÍAS FUERON SUMINISTRADAS POR LA COMUNIDAD DE PADRES SOMASCOS

1 Año aprx 1957 - Templo en construcción



2 Año aprx 1958 - Templo en construcción



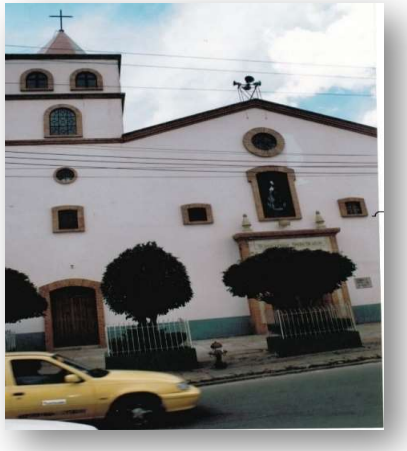
3 Año aprx 1959 - Templo construído



4 Templo años ochenta



5 Templo Años Noventas



6 Templo estado actual



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

FICHA INFORMACIÓN GENERAL

Inf. General	Departamento:	Cundinamarca
	Municipio:	Bogotá D.C.
	Localidad:	Barrios Unidos
	Barrio:	Rio Negro
	Dirección:	Carrera 60 No 94 B-90
Clasificación	año de construcción:	1959
	Uso actual:	Instituto religioso
	Nivel de importancia:	Alto
	Área:	1032 m²
	Aplicación Patológica:	Geriátrica
	Nivel Freático:	3 m
	Tipo de suelo:	Lacustre A
	Clasificación sísmica:	Intermedia
	Bien de interés cultural:	No
	Estilo arquitectónico:	Paleocristiana

Zona de levantamiento:

Información general

Fecha :

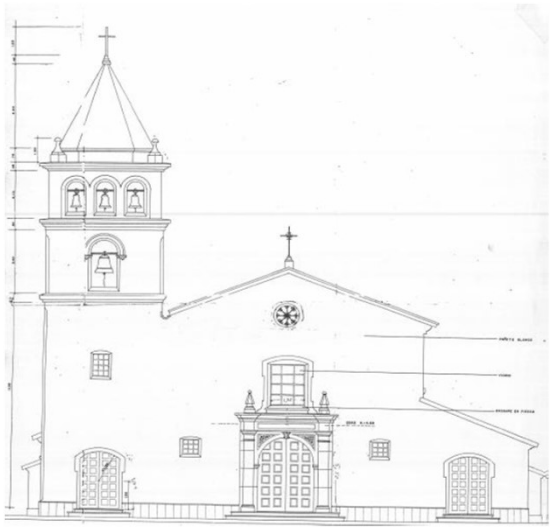
28/12/2021

Responsable del levantamiento:

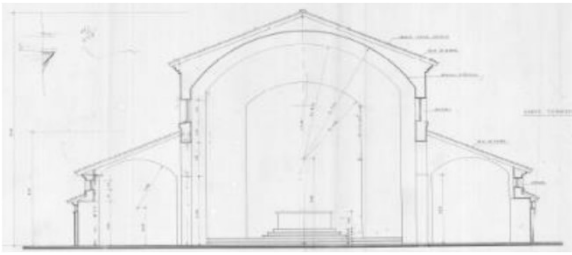
Ing. Andrea Mayorga Gómez

ESTAS FOTOGRAFÍAS FUERON SUMINISTRADAS POR LA COMUNIDAD DE PADRES SOMASCOS

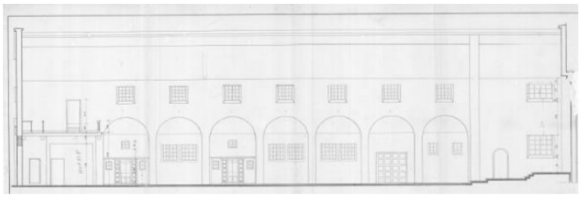
1 Fachada



2 Arco triunfal



3 Pasillo lateral interno



4 Sección lateral - exterior



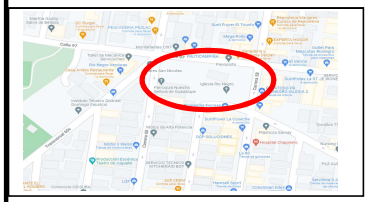
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

FICHA FISURAS EN LA PLACA DE PISO DE LA ESTRUCTURA

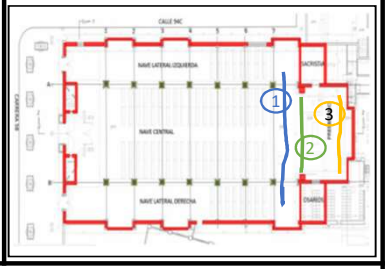
LEVANTAMIENTO DE FISURAS Y DESNIVELES

IGLESIA NUESTRA SEÑORA DE GUADALUPE

UBICACIÓN



ZONA



Zona de levantamiento:

Placa de piso

Fecha :

28/12/2021

Responsable del levantamiento:

Ing. Andrea Mayorga Gómez

Debido a los asentamientos diferenciales, el piso cerámico del templo ha presentado desniveles y fisuras que se describiran a continuación:

1. Desnivel 4,1° y fisura de 5 mm
2. Desnivel 1° y fisura de 7 mm
3. Desnivel 2,9° y fisura de 4 mm

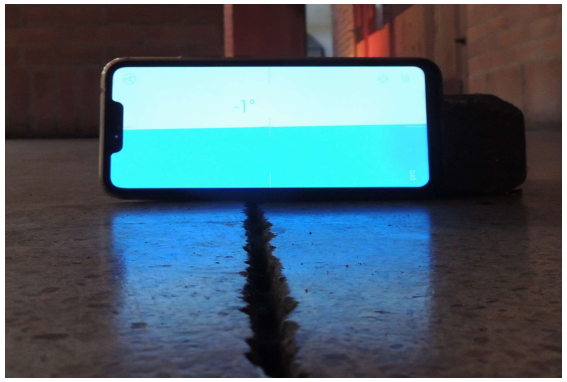
1



1



2



2



3



3

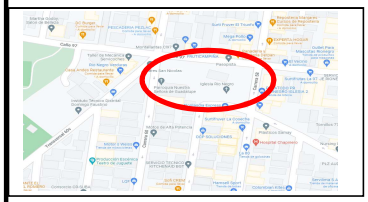


UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

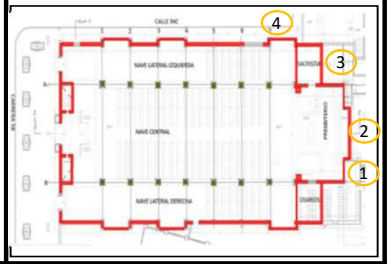
FICHA DESNIVELES EN SENDERO PEATONAL

IGLESIA NUESTRA SEÑORA DE GUADALUPE

UBICACIÓN



ZONA



Zona de levantamiento:

Sendero Peatonal

Fecha :

28/12/2021

Responsable del levantamiento:

Ing. Andrea Mayorga Gómez

En esta ficha se describen los desniveles en las losas del andén peatonal frente al templo

1 Deterioro y destrucción total del confinamiento del adoquin



2 Depresión que se presenta hacia el sentido de los árboles



3 Depresión que se presenta hacia el sentido de los árboles



3 Depresión que se presenta hacia el sentido de los árboles



3 Imagen general



4 Deterioro y destrucción total del confinamiento del adoquin



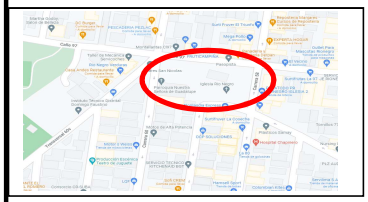
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

FICHA FISURAS EN MURO INTERNO DE FACHADA

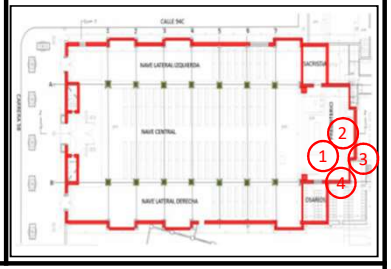
LEVANTAMIENTO DE FISURAS

IGLESIA NUESTRA SEÑORA DE GUADALUPE

UBICACIÓN



ZONA



Zona de levantamiento:

Muro interno de fachada

Fecha :

28/12/2021

Responsable del levantamiento:

Ing. Andrea Mayorga Gómez

1. Fisura de 8,0 mm
2. Fisura de 5,0 mm
   Fisura de 7,0 mmc
3. Fisura de 3,0 mm
   Fisura de 3,0 mm
4. Falla en muro por punzonamiento

1



Primer Nivel



2

Primer Nivel



3 Segundo Nivel



4 Segundo Nivel



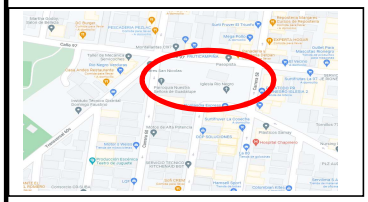
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

FICHA FISURAS EN MURO INTERNO DE FACHADA

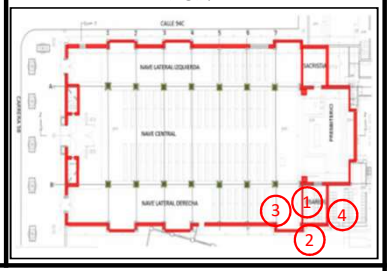
LEVANTAMIENTO DE FISURAS

IGLESIA NUESTRA SEÑORA DE GUADALUPE

UBICACIÓN



ZONA



Zona de levantamiento:

Muro interno de fachada

Fecha :

28/12/2021

Responsable del levantamiento:

Ing. Andrea Mayorga Gómez

1 Fisura de 3,0 mm
Fisura de 2,0 mm

2 Fisura de 2,0 mm
Fisura de 2,0 mm

3 Fisura de 3,0 mm
Fisura de 4,0 mm

4 Fisura de 4,0 mm
Fisura de 5,0 mm

1 Segundo Nivel - Campanario



2 Segundo Nivel - Campanario



3 Segundo Nivel - Campanario



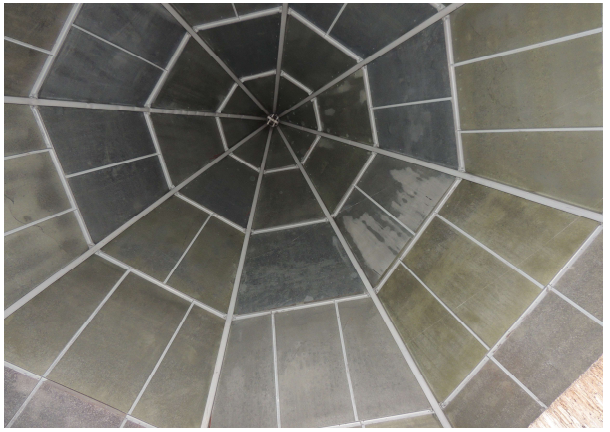
4 Tercer Nivel - Campanario



Tercer Nivel - Campanario - Presencia de humedad



Tercer Nivel - Campanario - Vista General



ANEXO 2

PLANO DE CALIFICACIÓN DE FACHADA PRINCIPAL



Grietas y fisuras Grado de afectación: Severo

Ingeniera responsable: Andrea Mayorga Gómez

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

ANEXO 3

ESTUDIOS REALIZADOS

ESTUDIO DE SUELOS Y CIMENTACIONES PARA LA REHABILITACIÓN DE LA NAVE FRONTAL - ORIENTAL DE LA PARROQUIA GUADALUPE

REVISIÓN 0

INFORME DE FINAL

LA PARROQUIA GUADALUPE



Fuente: Parroquia Nuestra Señora de Guadalupe años 80

PAVIMENTOS & GEOTECNIA

PAVIMENTOS & GEOTECNIA

JUNIO DE 2016

BOGOTÁ, D.C.

FORMATO DE CONTROL DE REVISIÓN DEL DOCUMENTO

No DE PROYECTO: P&G-168-2015

OBJETO: ESTUDIO DE SUELOS Y CIMENTACIONES PARA LA REHABILITACIÓN DE LA NAVE FRONTAL - ORIENTAL DE LA PARROQUIA GUADALUPE

MUNICIPIO: BOGOTÁ D.C.

CLIENTE: PARROQUIA DE GUADALUPE

FECHA DE ENTREGA AL CLIENTE	REV.	OBSERVACIÓN Y/O MOTIVO DE LA MODIFICACIÓN	REALIZÓ	REVISÓ	APROBÓ
23 de junio de 2016	0	Entrega del documento para revisión del cliente	J.C	F.M	P&G

J.C: **Ing. CV Jully Casallas**
F.M: **Ing. CV, Esp., MIC Francisco Montes**
P&G SAS: **Pavimentos y Geotecnia SAS**

TABLA DE CONTENIDO

1 GENERALIDADES 1
1.1 OBJETIVO 1
1.2 ALCANCES Y LIMITACIONES 1
1.3 GRUPO DE TRABAJO 1
1.4 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 2
1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y SU ENTORNO 2
1.6 SITUACIÓN ACTUAL 7
2 ASPECTOS BÁSICOS 10
2.1 ASPECTOS SÍSMICOS 10
2.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS 11
2.3 PLAN DE EXPLORACIÓN 11
2.4 ENSAYOS DE LABORATORIO 13
2.5 INSTRUMENTACIÓN 13
3 MODELO GEOTÉCNICO 18
3.1 PERFIL GEOTÉCNICO PROMEDIO 18
3.1.1 CAPA VEGETAL O CON ALTO CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA 18
3.1.2 MEJORAMIENTO DEL SUELO 19
3.1.3 DEPOSITO FLUVIO LACUSTRE 20
3.1.4 DESCRIPCIÓN DE APIQUES. 21
3.2 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS. 25
3.2.1 COEFICIENTES DE DEFORMACIÓN. 25
3.2.2 CORRELACIONES CON EL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR 26
4 ANÁLISIS DE CAPACIDAD PORTANTE PARA CIMIENTOS EXISTENTES 29
5 ASENTAMIENTOS DE LA ESTRUCTURA 31
6 ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN DE LA CIMENTACIÓN 34
7 CONCLUSIONES 35
8 RECOMENDACIONES 39
9 BIBLIOGRAFÍA. 39

1 GENERALIDADES

La emisión del presente documento se realiza para proyectar la rehabilitación del templo localizado en el barrio Río Negro de Bogotá, con la nomenclatura Cra 60 Nº 94B-90 en La zona frontal cumpliendo con el reglamento vigente para este tema que es la norma Colombiana sismo resistente NSR-10. .

En general el informe contiene el conjunto de actividades que comprenden el reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantiza un comportamiento adecuado de la edificación, protegiendo ante todo la integridad de las personas ante cualquier fenómeno externo, además de proteger vías, instalaciones de servicios públicos, predios y construcciones vecinas.

1.1 OBJETIVO

Establecer criterios básicos, basados en la investigación del subsuelo y las características arquitectónicas y estructurales de las edificaciones con el fin de proveer las recomendaciones geotécnicas de diseño y construcción de excavaciones y rellenos, estructuras de contención, cimentaciones, rehabilitación o reforzamiento de edificaciones existentes y la definición de espectros de diseño sismorresistente, para soportar los efectos por sismos y por otras amenazas geotécnicas desfavorables.

1.2 ALCANCES Y LIMITACIONES

El presente estudio se realiza con el fin de ampliar el conocimiento de las condiciones geotécnicas del sitio donde se tiene prevista la rehabilitación del templo y eventualmente como requisito para el trámite de licencia o permiso de construcción.

El propósito de este estudio es identificar y caracterizar los materiales que conforman el depósito de suelo, estableciendo su distribución y espesores, basado en información secundaria, exploración del subsuelo, el reconocimiento de campo e integrarlo con diferentes parámetros como son la topografía, estructuras actuales y proyectadas, zona sísmica, tipo de drenaje, entre otros aspectos, con el objeto de determinar y diseñar el tipo de rehabilitación de la cimentación y el proceso de ejecución para evitar que durante la construcción de las obras proyectadas, se presenten daños a las estructuras vecinas y garantizando la estabilidad, funcionabilidad y habitabilidad de las edificaciones que conforman el proyecto y su entorno.

Las recomendaciones contenidas en el presente informe se basan en la experiencia de los especialistas, la exploración del subsuelo, los análisis empleados bajo las hipótesis propuestas por los especialistas y su percepción de los procesos en campo; por ende, puede contener imprecisiones propias de las incertidumbres, relacionadas con las hipótesis de diseño, la génesis aleatoria de los depósitos de suelo, las unidades de roca y por consiguiente de su comportamiento termo, físico, químico y mecánico.

Si durante la construcción se presentan situaciones o condiciones no previstas en este informe, deberá darse aviso oportuno a esta oficina para estudiar la solución más adecuada, esto también incluye cambios en el diseño, que puedan generar una variación en la localización, uso, niveles o cargas utilizados para este informe.

Este documento no podrá ser alterado o modificado sin autorización explícita de esta compañía.

1.3 GRUPO DE TRABAJO

Con el objeto de llevar a cabo las diferentes actividades relacionadas con el presente estudio, **PAVIMENTOS Y GEOTECNIA SAS** conformó el siguiente grupo de profesionales de trabajo, relacionados en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1. Relación de personal que realizó los trabajos.

NOMBRE	FUNCIÓN O CARGO
Luis Francisco Montes Buriticá	Profesional en Geotecnia Sénior
Jully Andrea Casallas Galindo	Ingeniero Civil, estudiante especialización en geotecnia vial
David Bernal	Ingeniero Civil, estudiante especialización infraestructura vial

1.4 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se desarrollará en la Parroquia Nuestra Señora de Guadalupe con dirección Carrera 60 No 94B-90 en ubicado al norte de la ciudad de Bogotá capital del departamento de Cundinamarca. Se encuentra localizado en el barrio Rionegro en la localidad de Suba, entre la Calle 94 C y Calle 97; y la Carrera 58 y Carrera 60, con una altura aproximada sobre el nivel del mar de 2.552 m



Figura 1-1. Localización Templo Nuestra Señora de Guadalupe. Tomado de Google Earth.

1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y SU ENTORNO

El lote donde se implanto la iglesia y las edificaciones de la comunidad religiosa, corresponde a la dirección Carrera 60 No 94B-90. En este predio existen por lo menos cuatro edificaciones de las cuales el objeto del presente documento hace referencia a la estructura principal o templo que colinda con la carrera 58 y la cual es la parroquia de nuestra Señora de Guadalupe, tal como se resalta en rojo en la siguiente figura:



Figura 1-2. Localización del predio nuestra señora de Guadalupe. Tomado de SINUPOT. **1** Capilla, **2** Canchas deportivas, **3** Edificios anexos, **4** TEMPLO PARROQUIA DE GUADALUPE. ■ Materas donde están plantados once árboles que están causando asentamientos diferenciales tanto en la fachada de la iglesia como en el mobiliario urbano. **....** **- - - -** Concentración de los problemas asociados a la succión producida por las raíces de los arboles

La parroquia Nuestra Señora de Guadalupe tiene un área construida aproximada de 1032 m², que corresponde a una longitud de 43 m de longitud por 24 de ancho, distribuidos como se muestra en la Figura 1-3. Está conformada por un (1) modulo estructural de un (1) nivel con mezzanine y cubierta



Figura 1-3 Esquemas arquitectonicos**. A:** fachada lateral. B:Fachada frontal. **C:** Fachada Lateral. **D:** Fachada posteroior.

En este predio existen por lo menos cuatro edificaciones de las cuales tan solo se presentan deformaciones significativas asociadas a los árboles en la estructura principal o templo que colinda con la carrera 58, la cual es la parroquia de nuestra Señora de Guadalupe y específicamente en la fachada de acceso al templo.

La templo en su totalidad fue construido por etapas, iniciando su construcción alrededor de los años 1957 a 1963 y finalizó en la década de los años 90 del siglo pasado, aclarando que la fachada frente a la carrera 58 no ha presentado variación significativa desde hace por lo menos dos décadas y los muros afectados por las raíces de los arboles datan de principios de la construcción como se puede observar en la siguiente figura en la que se relacionan algunas fotografías del templo.



Figura 1-4 Fotografías de diferentes periodos de la edificación. **A:** se observa la iglesia y la construcción de las primeras materas las cuales se ha reconstruido por lo menos dos veces. **B y C:** Nótese el porte de los árboles que alcanzan alturas cercanas a los 10 m que están sembrados al frete de la entrada principal. **D:** etapa de construcción de la edificación principal en la cual se observa parte de la construcción del muro de fachada, en las primeras etapas de la construcción hacia los años 60 y que hoy por hoy se encuentra deteriorado a consecuencia de las deformaciones inducidas por las raíces de los arboles adyacentes.

Las estructuras que componen el templo se construyeron en una zona donde predominan los depósitos fluvio lacustres de la sabana de Bogotá con profundidades que pueden alcanzar entre 200 a 300 metros de profundidad, es decir que existe homogeneidad el perfil del suelo donde se cimento la estructura en su totalidad, sin embargo con el pasar de los años se ha notado que paralelo a la carrera 58 donde fueron plantados once árboles se han venido registrando asentamientos considerables (de más de 50 cm medidos desde la cota rasante de la vía hasta el portón de entrada a la iglesia) de la estructura frontal o fachada de la iglesia mientras que en el resto de la estructura las fundaciones han permanecido intacta sin la presencia de deformaciones desde la construcción hacia los años 70.

Las deformaciones no solo son notorias en la fachada del templo como se deja constancia en las siguientes fotografías donde se pueden apreciar grietas de los muros de fachada del orden de decímetros, sino que también se han afectado considerablemente el mobiliario urbano, como andenes, materas y la estructura del pavimento de la carrera 58, sin embargo cabe notar que las intervenciones de obras civiles, periódicas que el distrito ha realizado en los andenes y en la vía han invisibilizado o matizado de alguna manera el problema de los asentamientos generalizados del área de influencia de los árboles; un ejemplo de esto fue la última acción de obra civil de la carrera 58 entre los años 2014 y 2015 ejecutada por la alcaldía local a través del consorcio Sanmiguel cuando se nivelaron los andenes y se realizó la rehabilitación de la vía y las intervenciones previas de mobiliario urbano en la última década de siglo pasado y en la primera del presente siglo.


A


B


C


D

Figura 1-5 Fotografías actuales. **A**: fachada principal afectad por los asentamientos que han inhabilitado las puertas de acceso y donde se aprecian grietas de varios centímetros. **B**: panorámica en la que se observa la comunidad de árboles con pendiente en dirección a los árboles. **C**: panorámica del templo en donde no hay ningún tipo de deformaciones. **D:** daños en la fachada principal, de la torre frente a la carrera 58

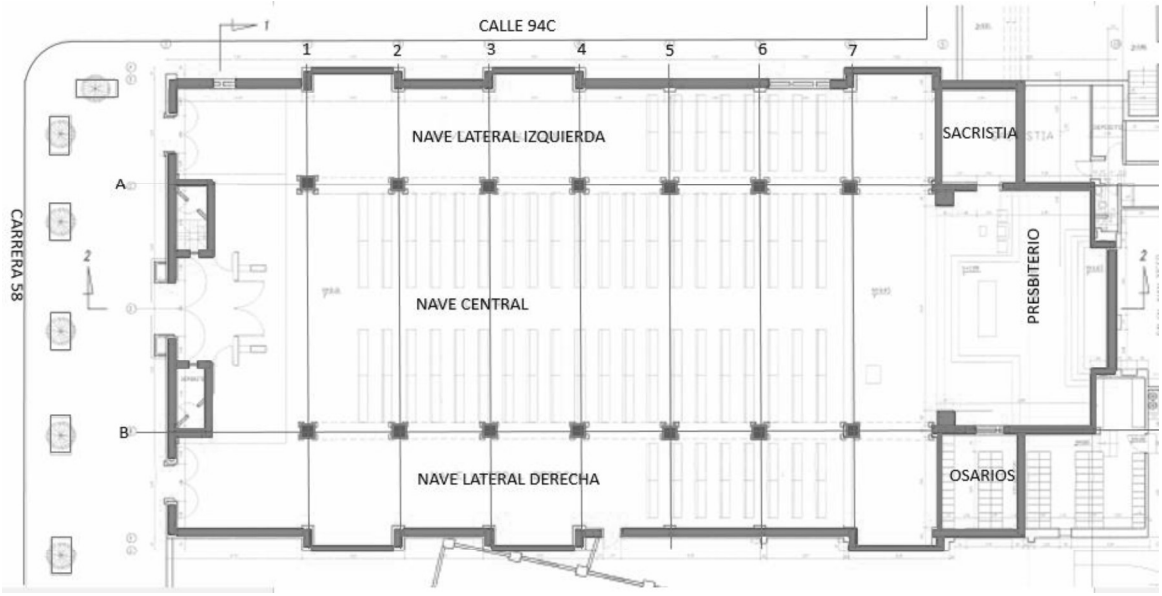
Descripción del tipo de cimentación diseñada:

De acuerdo a las la información suministrada en el plano (entregado el 4 de enero de 1963) de ejes y cimientos, se identificaron los siguientes tipos de estructuras:

- Muros laterales (cimentación corrida)
- Cimientos tipo zapata

Ahora bien, en la planta general se realizó la respectiva ubicación de los cimientos identificados en los planos, los cuales se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

Los muros laterales rodean la estructura excepto algunos espacios de las ventanas y puertas. Los muros confinan los osarios, la sacristía, el presbiterio, las naves izquierda, central y derecha. Las zapatas están ubicadas en los ejes horizontales A (entre las naves central e izquierda) y B (entre las naves central y derecha), y los ejes verticales del 1 al 7 (a lo largo de la nave central, constado izquierdo y derecho).



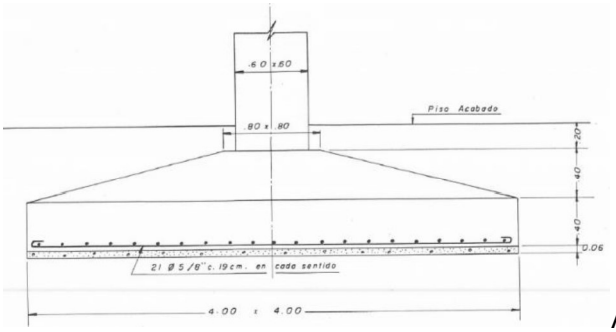
Muro lateral

Cimiento tipo zapata

Las materas proyectas son 6, mientras que las que existen hoy en día son 11

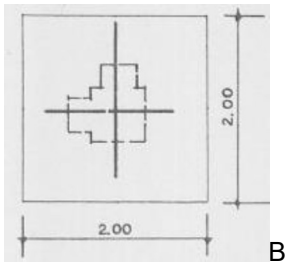
Figura 1-6 Tipos de cimentación

En las siguientes imágenes se esquematizan las dimensiones de las zapatas y muros de cimentación entregados en el año 1963.



A

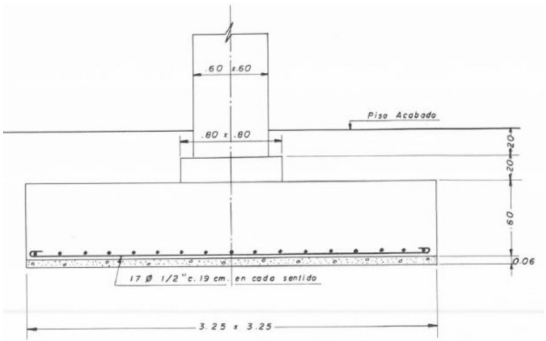
Vista perfil



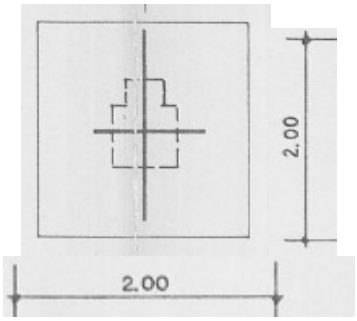
B

Vista en planta

Figura 1-7 Cimiento A1 y B1.

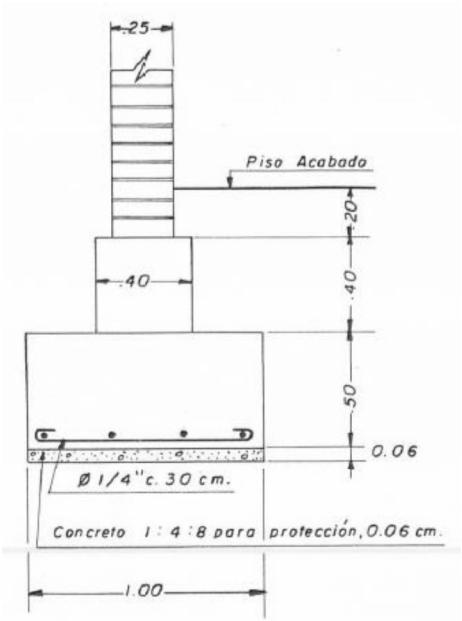


Vista perfil

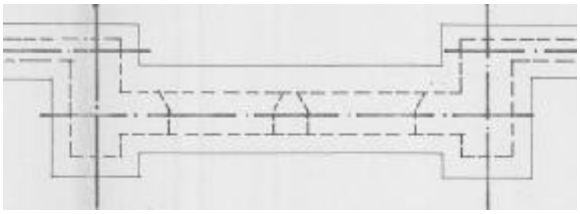


Vista en planta

Figura 1-8 Cimientos A2 al B9.



Vista perfil



Vista en planta

Figura 1-9 Cimientos para muro lateral. Fuente: Plano cimientos para la iglesia Parroquia de Rios Negro, entregado en el año 1963.

1.6 SITUACIÓN ACTUAL

El templo construido a finales del siglo pasado (ver las siguientes fotografías) tiene un sistema de cimentación superficial conformado por zapatas para las columnas y vigas para los muros laterales.

Luego de la construcción del templo se plantaron una secuencia de diez árboles alineados con la carrera 58 y tiempo después se adoso la edificación donde hoy por hoy funciona la casa parroquial.

La edificación presenta grietas por asentamientos diferenciales en dos sectores bien determinados, el primero en los muros cargueros en la parte posterior o si se quiere cerca al altar donde la edificación colinda con el edificio de la casa parroquial mientras que la segunda zona se encuentra localizada paralela a la carrera 58 donde queda la entrada principal del templo (ver siguiente figura), también cimentada sobre muros cargueros.

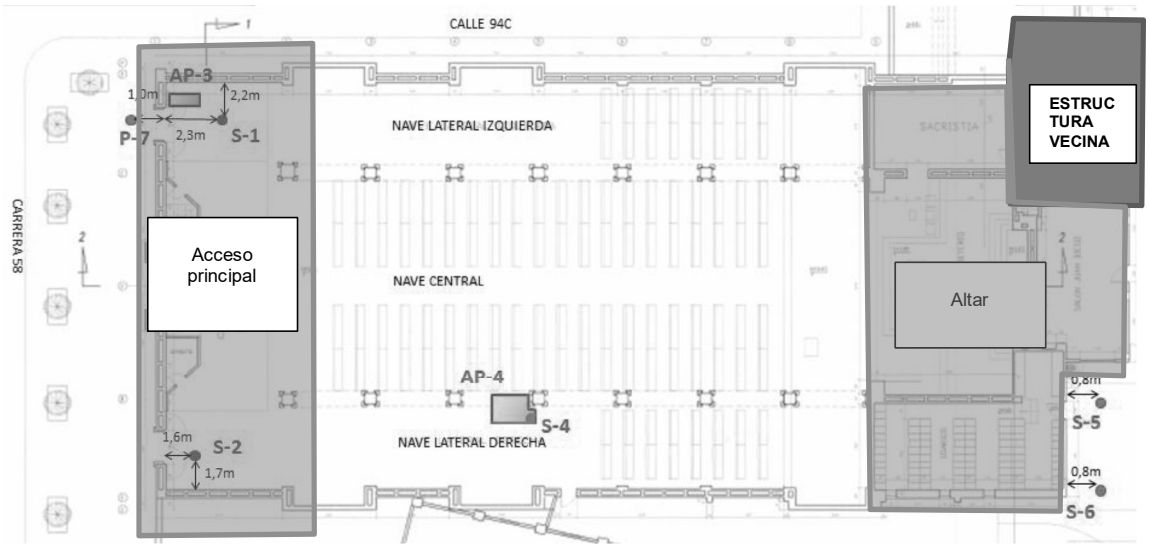


Figura 1-10 Localización las zonas de afectación de los asentamientos

Con el paso de los años los arboles han aumentado de tamaño y la fachada principal ha presentado recurrentes deformaciones que se han manifestado en grietas y fisuras que por lo generan se reparan periódicamente, sin embargo la zona de mayor preocupación por los asentamientos diferenciales hoy, es la que corresponde a la fachada principal donde la magnitud de las distorsiones ha causado perdida de funcionalidad de las puertas de acceso, mientras que las deformaciones en la zona en cercanías al altar ha tenido menor impacto.

En las siguientes fotografías se observa la evolución de vegetación sobre la carrera 58 desde la construcción del templo. Nótese que inicialmente la estructura no tiene torre.


A


B


C


D

Figura 1-11 Fotografias antiguas de la edificaciòn. **A:** se observa la iglesia sin torre y la cosntruccion de materas para los argboles. B: se observan los arboles sembrados al frete de la entrada principal. C: panoramica de la fachada principal sin torre. D: edtapa de construccion de la edificacion principal.

Como se mencionó previamente la construcción se ha realizado por etapas en las cuales se ha realizado algunas modificaciones en la fachada o muros cargueros como lo son: la construcción de la torre y el adoso un mezzanine.

La vegetación consistente en un caucho sabanero y nueve jazmines de cabo a crecido hasta alcanzar portes importantes (ver siguiente fotografías)


A


B


C


D

Figura 1-12 Fotografias actuales. A: fachada principal afecrtad por los asentamientos que han inabilidtado las puetas de acceso. B: panoramica en la que se observa la comunidad de arboles. C: panoramica de la fachada principal con torre. D: daños en el primer piso de la torre

Conclusiones:

Los asentamientos diferenciales en los muros laterales de la estructura tienen varios detonantes principales que se resumen a continuación por zonas de afectación:

Zona del altar:

1. Deficiencias en el tipo de cimentación de los muros laterales que no permiten absorber deformaciones.
2. Cargas externas que es el caso de los muros en cercanías al altar producidas principalmente por la edificación vecina.

Zona frontal:

1. Deficiencias en el tipo de cimentación de los muros laterales que no permiten absorber deformaciones.
2. Sobre cargad debido a la construcción de la torre y el mezzanine
3. Cambios estacióneles del nivel freático que causan que las raíces de los arboles generen asentamientos diferenciales.

2 ASPECTOS BÁSICOS

Los aspectos básicos en estudios de geotecnia son aquellos que permiten establecer las características internas y externas que condicionan los depósitos de suelo en condiciones actuales. Comprende la información levantada en campo.

A continuación, se relaciona la información sísmica, geológica, de exploración del subsuelo y de ensayos de laboratorio ejecutados para el proyecto.

2.1 ASPECTOS SÍSMICOS

Según las especificaciones del decreto 523 del 16 de Diciembre de 2010, la zona de estudio pertenece a una zona geotécnica “Lacustre A” (Ver Figura 2-1 Zonas geotécnicas) y una zona de respuesta sísmica “Lacustre 300” (Ver Figura 2-2 Zonas sísmicas)



Figura 2-1 Zonas geotécnicas
. Fuente: Adaptado Google Earth

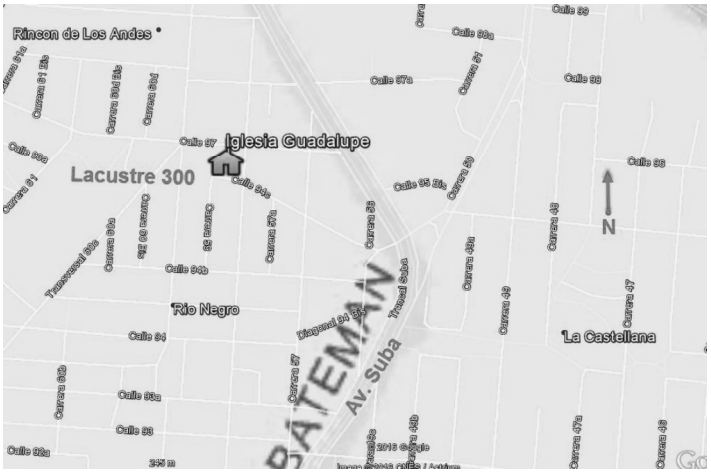


Figura 2-2 Zonas sísmicas
. Fuente: Adaptado Google Earth

En este sentido se tienen en cuenta las consideraciones sísmicas que se presentan a continuación:

Zona:	Lacustre 300
Espesor del depósito (m):	200-300
Período fundamental del suelo (s):	3.5-4.5
Velocidad onda promedio 50m Vs (m/s):	<175
Humedad promedio 50 m Hn (%):	>80
Efectos de sitio relacionados:	Amplificación

Descripción Geotécnica General: Suelo lacustre blando: Arcillas limosas o limos arcillosos, en algunos sectores con intercalaciones de lentes de turba

Los coeficientes de diseño para esta zona se muestran a continuación:

Fa (475):	1.05	**A0 (475):**	0.16
Fv (475):	2.90	**Aa:**	0.15 g
Tc (s):	1.77	**Av:**	0.20 g
TL (s):	5.0		

2.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

De acuerdo al Decreto 523 del 16 de Diciembre de 2010 por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá, el templo Guadalupe se encuentra en un depósito fluvio lacustre (Terraza alta) compuesto por geoformas planas a ligeramente onduladas, de composición arcillo limosa de muy baja capacidad portante y muy compresible, donde su geomorfología típica es una planicie. En la siguiente figura se muestra la ubicación del Templo en el Mapa geológico de Bogotá.

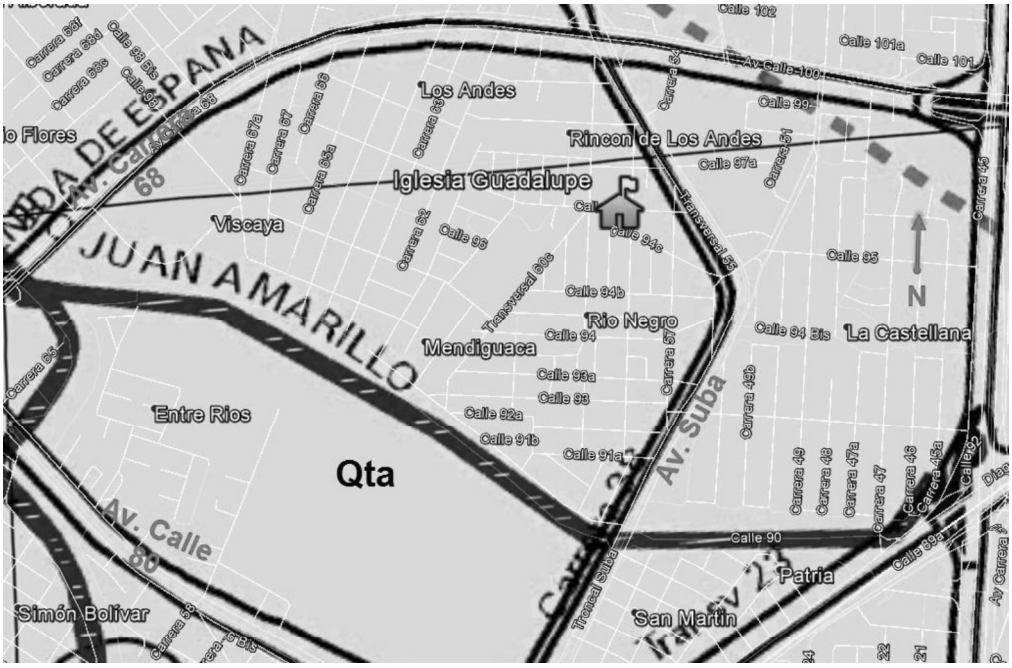


Figura 2-3 Aspectos Geológicos. Fuente: Adaptado Google Earth

2.3 PLAN DE EXPLORACIÓN

El propósito del plan de exploración es identificar y caracterizar los materiales que conforman los depósitos de suelo, estableciendo sus características geomecánicas, su distribución y espesor, basados en el reconocimiento de campo y la exploración del sub suelo. Para ello se ejecutaron 7 perforaciones y 5 apiques con profundidad variada.

En la siguiente figura se muestra un esquema de la distribución de las perforaciones realizadas, en el anexo 1 Exploración del subsuelo, se adjuntaron los registros de perforación.



Figura 2-4 Localización de las perforaciones en el área de influencia del proyecto.– Templo Guadalupe. Fuente: Modificado de la planta general.

Para cada perforación se realizó un registro continuo de los materiales encontrados, así como el reconocimiento del nivel freático para cada uno de estos. Cada material encontrado fue separado por muestras a lo largo de su profundidad, las cuales fueron marcadas y catalogada con el debido registro fotográfico.

Por otro lado, con los apique se obtuvo información en campo del perfil estratigráfico, dicha información es complementaria para el análisis del mismo. Ahora bien, el apique 3 se inició pero no se pudo terminar ya que durante la excavación se evidencio una masa de concreto producto de un intento de recalce o mejoramiento de la cimentación y adicionalmente se observó vibración en los muros por lo cual se decidió no continuar la excavación.

Tabla 2-1. Perforaciones y apiques realizados.

IDENTIFICACIÓN DE LA PERFORACIÓN	PROFUNDIDAD DE LA PERFORACIÓN EJECUTADA (m)
Sondeo 1	18.5
Sondeo 2	15.18
Perforación 3	15.41
Sondeo 4	15.19
Sondeo 5	15.09
Sondeo 6	15.02
Perforación 7	15.27
Apique 1	1.12
Apique 2	1.54
Apique 3	Se inició encontrando una masa de concreto
Apique 4	1.4
Apique 5	1.25
Apique 6	1.07

2.4 ENSAYOS DE LABORATORIO

Las muestras obtenidas durante la exploración de campo fueron el resultado del buen manejo y cuidado, el cual garantizó su representatividad y conservación. Todas las muestras obtenidas de los trabajos de exploración del subsuelo fueron identificadas visualmente, y sobre un número representativo de los tipos de suelos encontrados se realizaron los ensayos de laboratorio que permitieron conocer con claridad la clasificación, propiedades in-situ y su resistencia.

Se tomaron muestras alteradas con cuchara partida (Split Spoon) y bolsa e inalteradas tipo Shelby (pared delgada), en las cantidades que señala la **Tabla 2-2**

Tabla 2-2. Tipos de muestras y cantidades

PERFORACIÓN	BOLSA	SPLIT SPOON	SHELBY
Sondeo 1	*2*	*18*	*17*
Sondeo 2	*5*	*16*	*14*
Perforación 3		*33*	
Sondeo 4	*6*	*15*	*14*
Sondeo 5	*4*	*15*	*14*
Sondeo 6	*3*	*15*	*14*
Perforación 7		*31*	

A continuación se presenta, en la, los ensayos de laboratorio ejecutados junto con su respectiva norma, que se muestran en detalle en el Anexo 1 “Exploración del subsuelo”.

Tabla 2-3. Ensayos ejecutados para la exploración del subsuelo.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
Determinación en el laboratorio del contenido de agua (Humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas suelo-agregado I.N.V.E-122-13	UN	**46**
Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos I.N.V.E-125 Y 126-13	UN	**21**
Peso unitario en suelos I.N.V.E -217- 13	UN	**10**
Determinación de la cantidad de material que pasa en el tamiz (No. 200) en los agregados pétreos mediante lavado. I.N.V.E-214-13	UN	**19**
Determinación del contenido Orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición I.N.V.E -121- 13	UN	**4**
Compresión inconfinada en suelos I.N.V.E-152-13	UN	**20**
Consolidación unidimensional I.N.V.E-151-13	UN	**6**

2.5 INSTRUMENTACIÓN

Para facilitar la detección de movimientos horizontales del subsuelo se instaló un (1) inclinómetro a nueve (9) metros de profundidad y posteriormente se hizo mediciones semanales de deformaciones en una tubería biaxial instalada en la perforación vertical.

Esta perforación fue realizada en el costado sur occidental de la Iglesia Guadalupe y su ubicación se indica en la siguiente figura:



- Sondeo No.1
- Prof: 18.5 m
- Prof Incl: 9.0 m

Figura 2-5 Localización Inclinómetro

A la fecha se han realizado ocho (8) lecturas de instrumentación, reportándose movimientos pequeños (milimétrica) en el suelo hasta una profundidad de 8.0 m.

A continuación se presenta un resumen de las lecturas realizadas:

Tabla 2-4 Lecturas del inclinó metro

No. DE LECTURAS	FECHA	HORA	NIVEL DE AGUA	OBSERVACIONES
INICIAL	15-Abril-2016	11:57	4.5 m	Se reportó presencia de combustible mezclado con agua en todas las lecturas realizadas.
1	18-Abril-2016	9:01	4.5 m	
2	18-Abril-2016	9:46	4.5 m	
3	20-Abril-2016	8:20	4.5 m	
4	25-Abril-2016	12:53	4.5 m	
5	28-Abril-2016	8:38	4.5 m	
6	13-Mayo-2016	15:50	4.5 m	
7	17-Mayo-2016	7:31	4.5 m	

De acuerdo con los resultados obtenidos en las ocho (8) lecturas tomadas en campo, (ver siguiente figura), realizadas desde el 15 de abril hasta el 17 de mayo del presente año, mediante el inclinómetro digital RST se puede definir que según las medidas de inclinación con respecto a la vertical no se evidenciaron movimientos significativos en la zona de estudio.

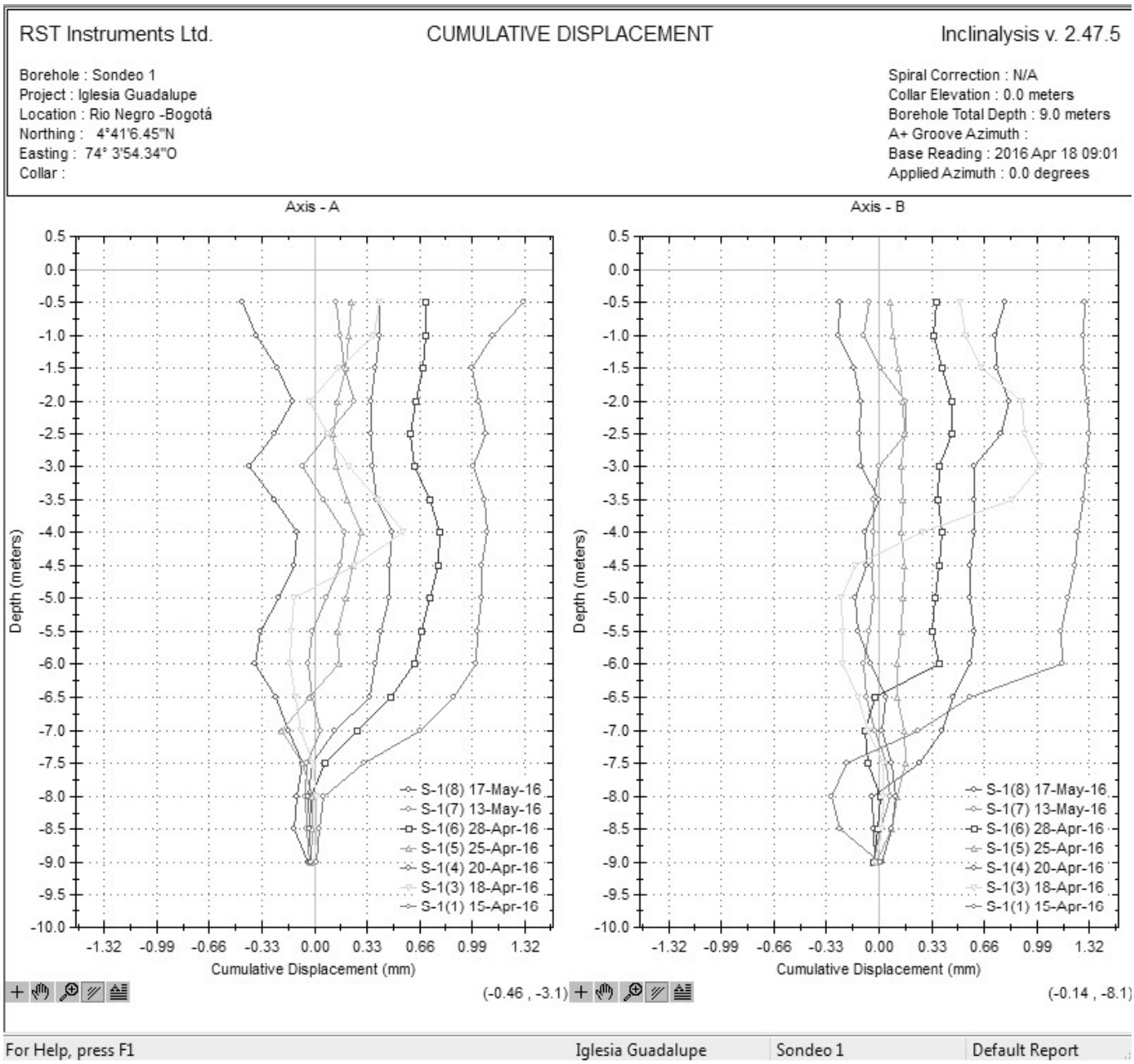


Figura 2-6 Grafica Desplazamiento Acumulado S-1

Además de las lecturas de inclinómetro, se hizo una inspección visual de la zona y se observó que los árboles que se encuentran en el costado frontal de la Iglesia Guadalupe han hecho que el suelo sufra asentamientos significativos (de centímetros). Teniendo en cuenta lo anterior, se analizó la profundidad de la raíz de los árboles existentes, conociendo que normalmente esta ocupa un tamaño similar al de su parte aérea (tronco, ramas y follaje), y el resultado de las lecturas del inclinómetro, (véase la siguiente figura).

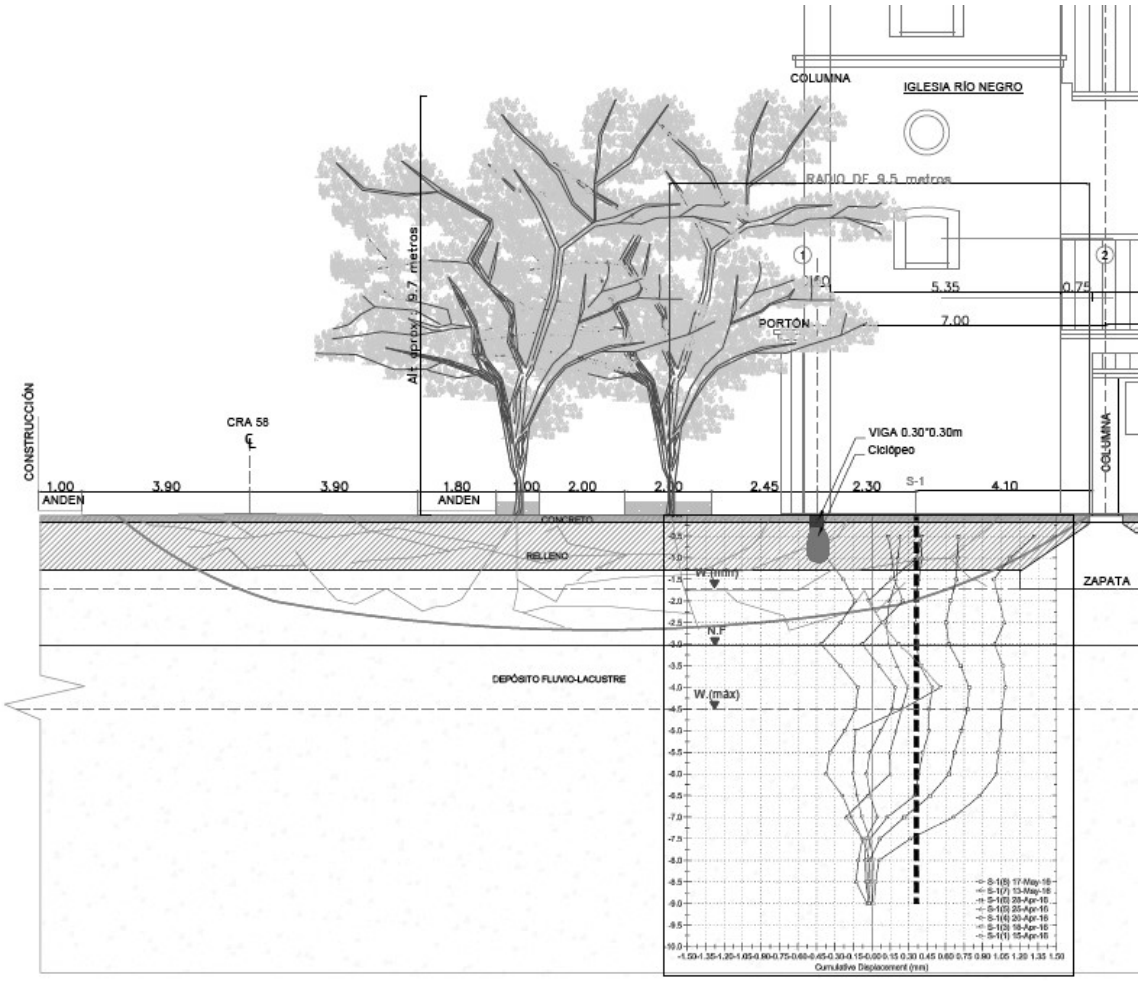


Figura 2-7 Perfil estratigráfico del Sondeo 1

Por lo anterior se define que el área de desplazamientos en la zona de succión del sitio en estudio se encuentra a una profundad entre 2.5 m y 3.0 m del sondo No. 1 con un radio desde el eje del árbol más cercano a hacia la Iglesia Guadalupe de 9.30 metros.

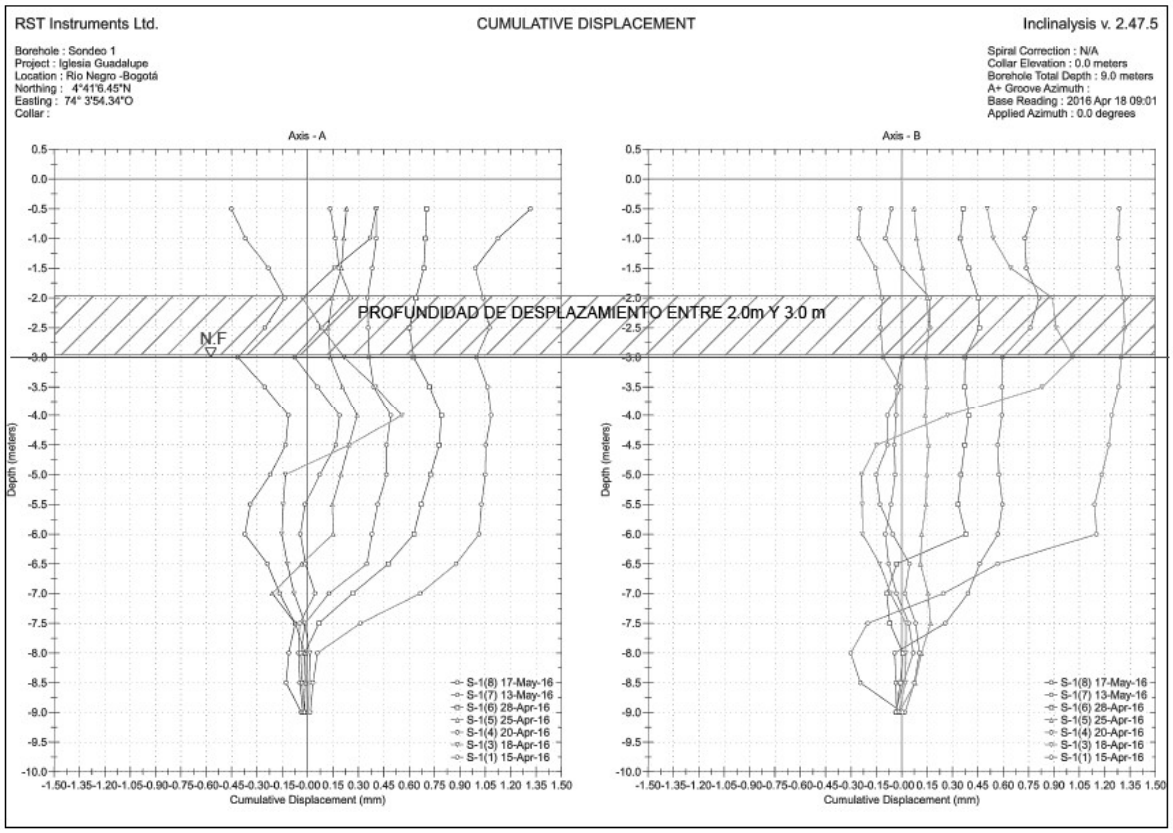


Figura 2-8 Resultado de la Instrumentación

Conjuntamente a los resultados obtenidos, se reportó presencia de combustible mezclado con agua a una profundidad de 4.5 m, el cual no ha cambio su nivel en el tiempo que se han ido haciendo las lecturas del inclinómetro.

3 MODELO GEOTÉCNICO

El modelo geotécnico consolida la información recopilada, topográfica, geológica, la investigación del subsuelo entre otros aspectos, para determinar las diferentes características geotécnicas de los materiales presentes, los mecanismos de falla predominantes de acuerdo a los procesos activos y potenciales.

La estructuración del modelo en el presente estudio contiene tres aspectos a saber: el primero es la determinación del perfil geotécnico de los depósitos de suelo y unidades de roca buscando la definición de los perfiles o secciones así como los espesores extrapolados de las diferentes exploraciones realizadas, el segundo es la caracterización de las unidades de roca y suelo de los diferentes materiales encontrados en el terreno y el tercero es la evaluación de las cargas que serán trasmitidas al terreno.

3.1 PERFIL GEOTÉCNICO PROMEDIO

Se hizo un análisis de la información de campo, laboratorio y los recorridos en terreno de los especialistas, determinando el perfil geotécnico promedio. En esta medida, se definió el perfil, que está compuesto básicamente por tres estratos los cuales se mencionan a continuación y describen en los siguientes numerales:

- Capa vegetal o con alto contenido de materia orgánica
- Mejoramiento del suelo
- Deposito fluvio lacustre

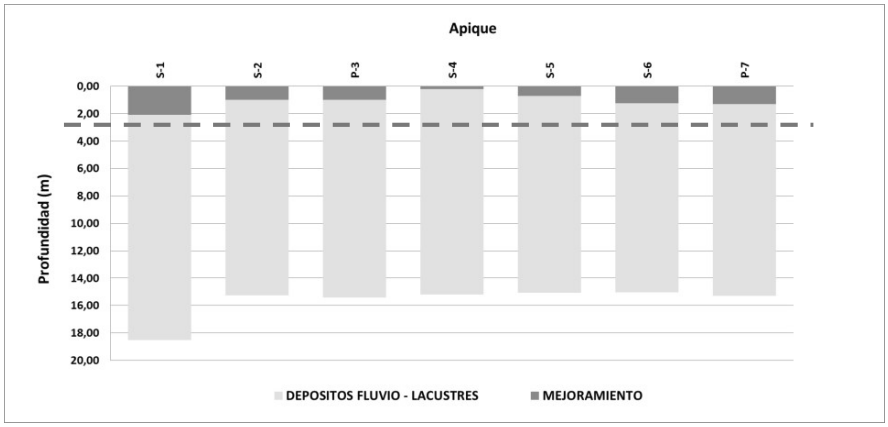


Figura 3-1 Perfil geotécnica promedio, perforaciones Nivel freático

A continuación se da a conocer la descripción geotécnica de los estratos mencionados anteriormente con su correspondiente caracterización geo mecánica

3.1.1 CAPA VEGETAL O CON ALTO CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA

Este material se aprecia en las paredes de los apiques (uno, dos tres y cuatro) a una profundidad variable entre el nivel de superficie cercano a los pisos y los 1.5 metros. El contenido de materia orgánica se encuentra en un rango de valores entre 7.2% y 9.6%, lo cual corrobora el origen lacustre y orgánico, su color es negro y visualmente es fácilmente identificable por el olor característico de los suelos fértiles de la sabana de Bogotá, con altos contenidos de materia orgánica.

En los apiques se observó que este material fue excavado para alcanzar los niveles de fundación de las zapatas y muros corridos y luego mezclado con ladrillo y materiales de construcción, para una vez fundida la cimentación, alcanzar nuevamente la cota rasante donde se fundieron los pisos.



Figura 3-2 Vista del perfil de suelo, apique 4.

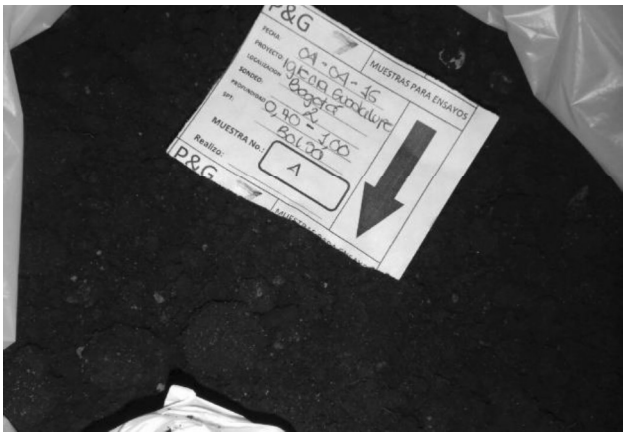


Figura 3-3 Material con alto contenido de materia orgánica: Sondeo 2 profundidad entre 0,7 y 1 metro.

3.1.2 MEJORAMIENTO DEL SUELO

Este estrato se aprecia principalmente en la torre y los sectores de cimentación, compuestos por gravas, arena de grano fino con algo de arcilla y limos arenosos con coles cafés oscuros que se distingue del negro de la capa vegetal, los cuales subyacen de un piso de 2 cm y una capa de rellenos de nivelación, en algunos sitios como está especificado en los registros de perforación (ver anexo 1), su profundidad oscila entre 0,21 metros a 2,10 metros. Sobre el mejoramiento se colocaron capas de relleno granulares compactados con espesores variables de aproximadamente 20 centímetros.

En la perforación número uno se logró identificar rajones que se emplearon en la estabilidad o mejoramiento del suelo, los cual corresponde a una práctica común para estabilizar los suelos blandos de la sabana y que consiste en el indicado de rocas areniscas de tamaños variables de aproximadamente 0.30 metros de diámetro en los mantos arcillosos de los depósitos fluvio lacustres.



Figura 3-4 Mejoramiento con rajón.



Figura 3-5 Material de mejoramiento

3.1.3 DEPOSITO FLUVIO LACUSTRE

Este estrato se aprecia en toda el área de estudio, y está compuesto por arcillas y limos con presencia de lentes de arena. La consistencia de los suelos finos es variable donde predominando la blanda, desde la capa vegetal y/o mejoramiento hasta 18,50 metros de profundidad es decir la longitud explorada.

Este material se estratifico, para esto se tuvieron en cuenta los resultados de laboratorio tales como: la compresión inconfinada, el índice de compresibilidad y el número de golpes corregido. En la siguiente grafica se observan los niveles bajos de consistencia presentes en este material, ya que este se encuentra a partir de los dos metros y subyaciendo de los estratos previamente mencionados.

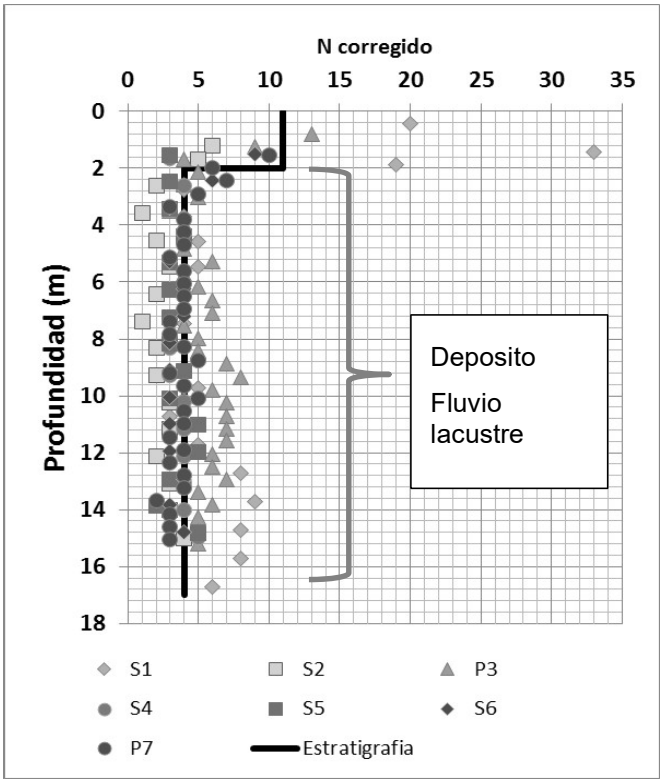


Figura 3-6 SPT Corregido contra la profundidad explorada

El comportamiento de los límites de Atterberg (**Figura 3-9**.) nos muestra que los limos y arcillas se encuentran en la zona de comportamiento plástico, lo cual depende fundamentalmente del contenido de agua que varía con la profundidad de las muestras obtenidas en la exploración, esta humedad se mantiene en un rango de 48 % al 157 % como se observa en la **Figura 3-9**.

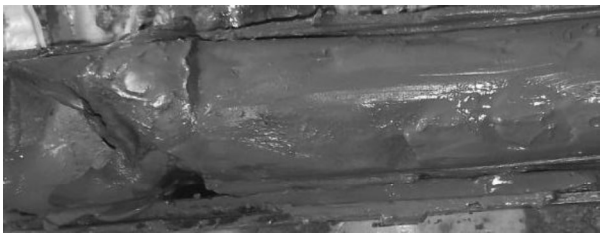


Figura 3-7 Depósitos fluvio lacustre encontrado en el sondeo 6, color gris, profundidad entre 10.77 y 11.22 metros.

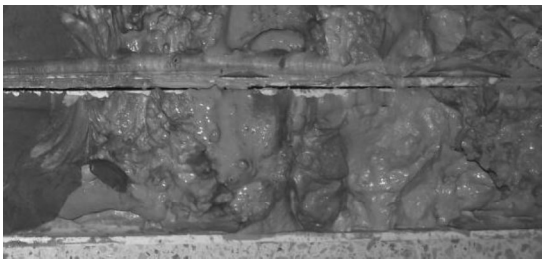


Figura 3-8 Depósitos fluvio lacustre encontrado en el sondeo 2, color café y gris, profundidad entre 4.75 y 5.25 metros.

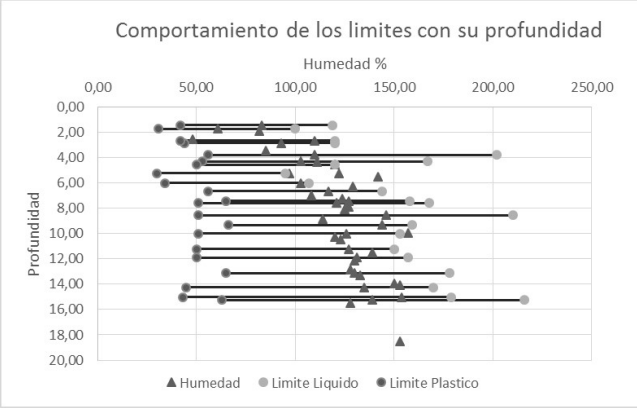


Figura 3-9 Comportamiento de los límites de Atterberg con la profundidad de las exploraciones para Depósitos fluvio lacustre.

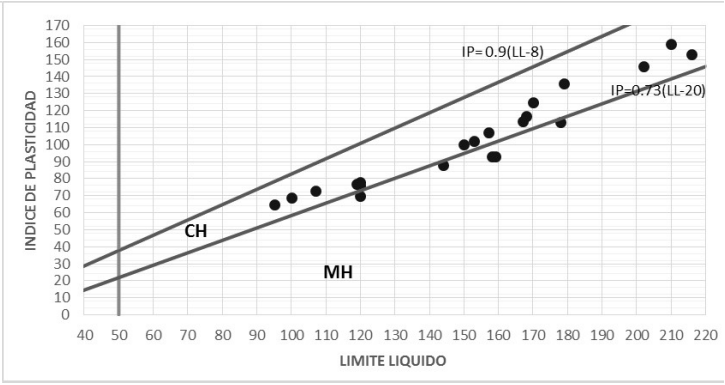


Figura 3-10 Carta de plasticidad para Depósitos fluvio lacustres.

De acuerdo a los datos obtenidos de las perforaciones ejecutadas, se observa en la carta de plasticidad (**Figura 3-10**) que no hay variaciones importantes en los tipos de materiales encontrados, respecto a su profundidad, evidenciando que se componen principalmente de arcilla y limo de alta compresibilidad (CH, MH). Sin embargo este manto o estrato se dividió como se indica a continuación debido al análisis presentado en relación a los ensayos de consolidación, compresiones in confinadas y la relación de vacíos. Ahora bien, en la **Tabla 3-1** se dan a conocer la clasificación USC para cada rango de profundidad, la cual fue catalogada con los valores más críticos. Con esta información, se concluiye que todo el material tiene alta compresibilidad debido a la cantidad importante de humedad, con respecto al tipo de material se puede decir que está compuesto por limos de 2 a 3 metros y de 13 a 16 metros, y por arcillas de 3 a 13 metros, en relación a contenido de materia orgánica los porcentajes indican una cantidad importante, lo cual provoca inestabilidades en el suelo.

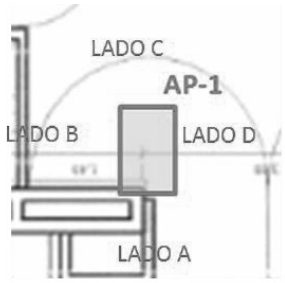
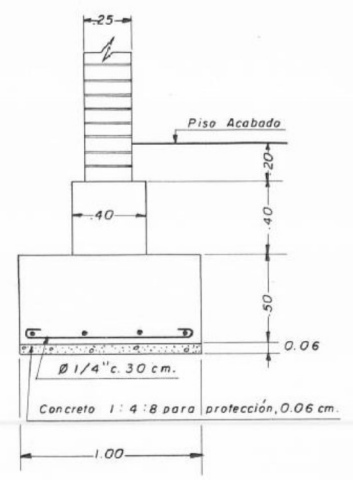
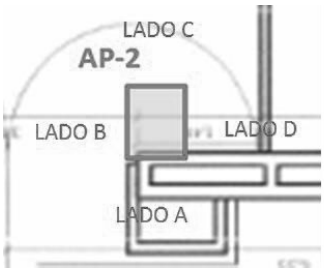
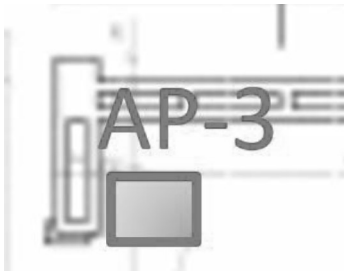
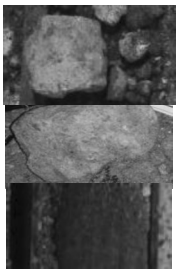
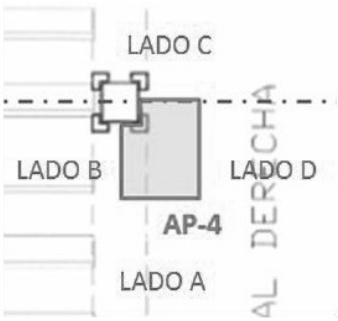
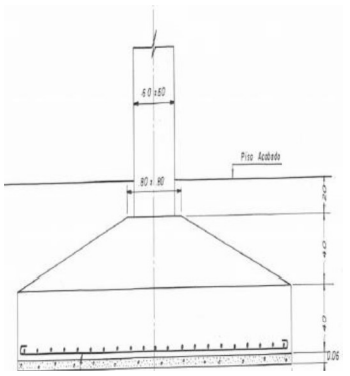
Tabla 3-1 Propiedades índice.

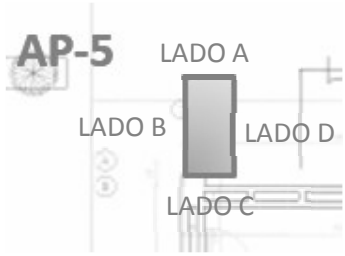
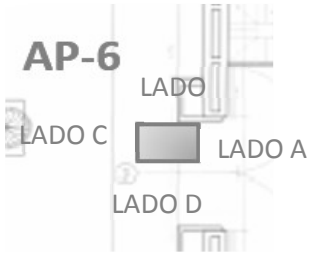
PROFUNDIDAD (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Contenido de materia orgánica (%)	Clasificación USC
2-3	120	42	78		MH
3-10	210	51	159	9.6	CH
10-13	178	65	113	9.4	CH
13-16	216	63	153		MH

3.1.4 DESCRIPCIÓN DE APIQUES.

Teniendo en cuenta la descripción de los apiques y el tipo de cimentación en planta, se verifica si la información concuerda con el plano entregado en el año 1963, para esto se muestra la siguiente tabla identifican los apiques realizados cerca de los cimientos.

Tabla 3-2 Resumen de los apiques realizados

<table>
<tr><th>APIQUE</th><th>PERFIL CONTRA LA CIMENTACIÓN</th><th>UBICACIÓN</th><th>FOTO</th><th>ESTRUCTURA DISEÑADA 1964</th></tr>
<tr>
<td>
</td>
<td>
<table>
<tr><th colspan="2">LADO A</th></tr>
<tr><td>LADRILLO</td><td>0,06 - 0,13</td></tr>
<tr><td>VIGA</td><td>0,13 - 0,45</td></tr>
<tr><td>CICLÓPEO</td><td>0,45 - 1,12</td></tr>
<tr><td>DEPOSITOS FLUVIO LACUSTRES</td><td>1,12 - 2,00</td></tr>
</table>
</td>
<td>Muro lateral</td>
<td></td>
<td rowspan="2">
</td>
</tr>
<tr>
<td>
</td>
<td>
<table>
<tr><th colspan="2">LADO A</th></tr>
<tr><td>LADRILLO</td><td>0,06 - 0,37</td></tr>
<tr><td>VIGA</td><td>0,37 - 0,68</td></tr>
<tr><td>CICLÓPEO</td><td>0,68 - 1,54</td></tr>
<tr><td>DEPOSITOS FLUVIO LACUSTRES</td><td>1,54 - 2,00</td></tr>
</table>
</td>
<td>Muro lateral</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>
</td>
<td>
<table>
<tr><td>PISO</td><td>0,00 - 0,02</td></tr>
<tr><td>RELLENO</td><td>0,02 - 0,20</td></tr>
<tr><td>MEJORAMIENTO CON RAJÓN</td><td>0,20 - 1,20</td></tr>
<tr><td>DEPOSITOS FLUVIO LACUSTRES</td><td>1,20 - 2,55</td></tr>
</table>
</td>
<td>Torre</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>
</td>
<td>
<table>
<tr><th colspan="2">LADO A</th></tr>
<tr><td>PISO</td><td>0,00 - 0,03</td></tr>
<tr><td>CONCRETO</td><td>0,03 - 0,10</td></tr>
<tr><td>RECEBO</td><td>0,10 - 0,18</td></tr>
<tr><td>RELLENO</td><td>0,18 - 0,78</td></tr>
<tr><td>ZAPATA</td><td>0,78 - 1,40</td></tr>
<tr><td>DEPOSITOS FLUVIO LACUSTRES</td><td>1,40 - 2,00</td></tr>
</table>
</td>
<td>Zapata B4</td>
<td></td>
<td>
</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr><th>APIQUE</th><th>PERFIL CONTRA LA CIMENTACIÓN</th><th>UBICACIÓN</th><th>FOTO</th><th>ESTRUCTURA DISEÑADA 1964</th></tr>
<tr>
<td>
</td>
<td>
<table>
<tr><th colspan="2">LADO A</th></tr>
<tr><td>TABLETA</td><td>0,00 - 0,06</td></tr>
<tr><td>ARENA</td><td>0,06 - 0,09</td></tr>
<tr><td>CONCRETO</td><td>0,09 - 0,14</td></tr>
<tr><td>ARENA</td><td>0,14 - 0,17</td></tr>
<tr><td>CONCRETO</td><td>0,17 - 0,19</td></tr>
<tr><td>RELLENO</td><td>0,19 - 0,25</td></tr>
<tr><td>LIMO</td><td>0,25 - 0,36</td></tr>
<tr><td>ASFALTO</td><td>0,36 - 0,40</td></tr>
<tr><td>RELLENO</td><td>0,40 - 0,65</td></tr>
<tr><td>ZAPATA</td><td>0,65 - 1,25</td></tr>
<tr><td>DEPOSITOS FLUVIO LACUSTRES</td><td>1.25 - 2.00</td></tr>
</table>
</td>
<td>Zapata</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>
</td>
<td>
<table>
<tr><th colspan="2">LADO A</th></tr>
<tr><td>LOSA DE PISO</td><td>0,00 - 0,19</td></tr>
<tr><td>VIGA</td><td>0,19 - 0,45</td></tr>
<tr><td>CICLOPEO</td><td>0,45 - 1,07</td></tr>
<tr><td>DEPOSITOS FLUVIO LACUSTRES</td><td>1,07 - 2,00</td></tr>
</table>
</td>
<td>Torre</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</table>

Para los muros laterales se concluye que la cimentación proyectada difiere significativamente de la encontrada en terreno, en proporción a los espesores de las vigas que son 10 cm menor, los espesores de las losas de concreto ciclópeo son hasta 30 cm mayores y las dimensiones de la cama de los cimientos no corresponden a las proyectadas en el diseño ya que este fue de 1m x 0.5m.

La cimentación de las zapatas en terreno dista significativamente de la proyectada, ya que el diseño planteado es para una zapata diferente a la encontrada, en relación al espesor de la zapata en terreno es 20 cm mayor a la diseñada, la cual subyacen de un piso de espesor variable entre 3 cm a 5,5 cm, seguido de un espesor de concreto variable entre 7 cm a 11 cm, para luego encontrar 6 cm de recebo y material de relleno con un espesor variable entre 46 cm y 134 cm.

En los cimientos de entrepiso se encontró inicialmente un piso de 2 cm, seguido de una losa con un espesor aproximado de 4 cm, luego se identifica un material de relleno y/o concreto ciclópeo con un espesor variable entre 18 cm y 40 cm, para luego encontrar depósitos fluvio lacustres.

Para el cimiento de la torre se concluye que está distribuida de la siguiente manera: se encontró un piso de 2 cm de espesor, seguido de un relleno de 18 cm para luego encontrar material de mejoramiento con rajón con un espesor aproximado de 100 cm y finalmente se encontraron depósitos fluvio lacustres.

Con el apique 6 lado B (ver **Figura 3-11**) se identificó la cimentación del arco ubicado en la entrada principal de la fachada, en este se encontró inicialmente 6 cm de ladrillo, seguido de concreto ciclópeo con espesor aproximado de 76 cm para luego encontrar depósitos fluvio lacustres. En el lado A del apique se identificó una losa de piso a lo largo de la entrada con un espesor aproximado de 19 cm, seguido de una viga con un espesor de 26 cm, para luego encontrar 62 cm de ciclópeo y finalmente el deposito fluvio lacustre. Teniendo en cuenta la información encontrada en campo de los apiques 1 (lado A) y 6 (lado A) se identificó el ancho de la viga en planta el cual es de 38 cm.

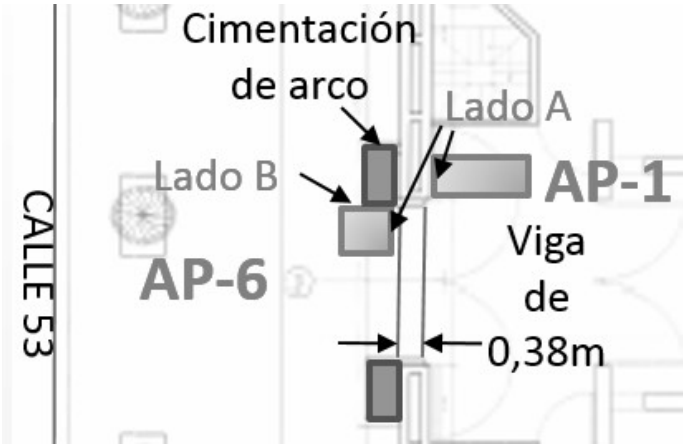


Figura 3-11 Ubicación del apiques 1 y 6

En la siguiente tabla se dan a conocer los tipos de cimentación encontrada en terreno:

Tabla 3-3 Resumen de los tipos de cimentación

MUROS LATERALES		ARCO		ENTREPISOS		TORRE	
LADRILLO	Aproximadamente 7 cm	LADRILLO	Aproximadamente 6 cm	PISO	Aproximadamente 2 cm	PISO	Aproximadamente 2 cm
VIGA	Aproximadamente 30 cm	CICLÓPEO	Aproximadamente 76 cm	LOSA	Aproximadamente 4 cm	RELLENO	Aproximadamente 18 cm
CICLÓPEO	Variable entre 50 cm a 80 cm	DEPOSITOS FLUVIO LACUSTRES		RELLENO O CONCRETO CICLÓPEO	Variable entre 18 cm a 40 cm	MEJORAMIENTO CON RAJÓN	Aproximadamente 100 cm
DEPOSITOS FLUVIO LACUSTRES				DEPOSITOS FLUVIO LACUSTRES		DEPOSITOS FLUVIO LACUSTRES	

ZAPATAS	
PISO	Variable entre 3 cm a 5.5 cm
CONCRETO	Variable entre 7 cm a 11 cm
RECEBO	Aproximadamente 6 cm
RELLENO	Variable entre 46 cm a 134 cm
ZAPATA	Aproximadamente 60 cm
DEPOSITOS FLUVIO LACUSTRES	

3.2 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS.

Para estimar las características geomecánicas a cada estrato se emplearon diferentes metodologías, que incluyen, Cohesión y Ángulo de fricción a partir de correlaciones, Coeficientes de compresión y re compresión a partir de correlaciones con ensayos de límites de consistencia y de ensayos de consolidación unidimensional de los suelos.

A continuación se describe cada metodología empleada y posteriormente se hace referencia a los parámetros geotécnicos seleccionados para cada estrato identificado.

3.2.1 COEFICIENTES DE DEFORMACIÓN.

Para el cálculo de los asentamientos por consolidación, es necesario determinar por lo menos las siguientes variables: incrementos de esfuerzos sobre los estratos que subyacen la cimentación, la relación de vacíos inicial, la carga de servicio para cada fundación y el índice de re compresión o compresión virgen, según sea el caso calculado por los ensayos de consolidación unidimensional.

Se revisaron los valores de relación de vacíos teniendo en cuenta la microzonificación de Bogotá, la literatura y los ensayos de consolidación, los cuales se muestran en la siguiente figura:

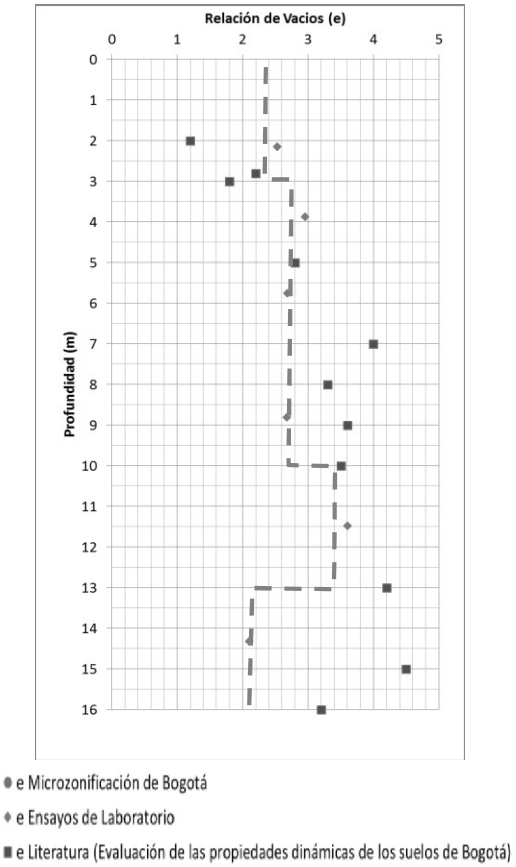


Figura 3-12 Relaciones de vacíos

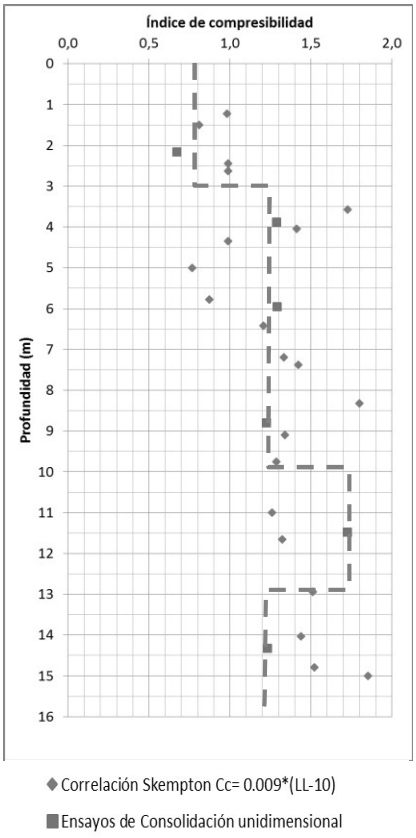


Figura 3-13 Índice de compresibilidad

Ahora bien, comparando los índices de compresibilidad virgen obtenidos por los ensayos de laboratorio de consolidación unidimensional y por las correlaciones empíricas desarrolladas por Skemton Cc = 0.009*(LL-10), así como la correlación para los suelos de la sabana de Bogotá (Microzonificación (Cc = 0.0094*(LL-15.2))) se observó que tanto los ensayos de laboratorio como las correlaciones muestran valores congruentes.

El índice de re compresión se toma como una fracción del índice de compresión: Cr = Cc/8

Los valores de índices de compresibilidad, índices de re compresión y relaciones de vacíos Asumido por profundidad se muestran, así:

Tabla 3-4 Índices de compresibilidad y relaciones de vacíos,

PROFUNDIDAD (m)	ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD (Cc)	ÍNDICE DE RE COMPRESIÓN (Cr)	RELACIÓN DE VACÍOS (e)
2-3	0.8	0.1	2.4
3-10	1.25	0.15	2.8
10-13	1.62	0.20	3.4
13-16	1.22	0.15	2.2

3.2.2 CORRELACIONES CON EL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

A partir de correlaciones con el ensayo de Penetración Estándar SPT, con base en la metodología propuesta por el Ingeniero Álvaro González[1]. El procedimiento es descrito a continuación:

1. Encontrar el N70 o número de golpes por pie corregido a una energía real aplicada del 45%, teniendo en cuenta el control ejercido durante el proceso de exploración. A continuación se indica dicho procedimiento:

$$N_i^{'} = C_N \times N \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4$$

En donde:

$N_i^{'}$: Número de golpes corregido para un determinado nivel de transmisión de energía i

C_N: Factor de ajuste para tener en cuenta el esfuerzo geostático, σ'_v. Se evaluó con base en las propuestas de Sedd-Isdriss para la cual:

$$C_N = 1 + K \cdot \log\left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right)$$

Donde P_a corresponde a la presión atmosférica los valores de K varían de acuerdo al valor de la relación (σ'_v/P_a)

N: Número de golpes del ensayo de penetración estándar (SPT)

η_1: Factor de corrección por eficiencia de energía trasmitida del martillo al varillaje y al tomar muestras.

η_2: Factor de corrección por longitud del varillaje.

η_3: Factor de corrección por presencia de revestimiento, debido a que no se utilizó revestimiento, el factor de corrección es 1.0.

η_4: Factor de corrección por diámetro de la perforación. Los diámetros de las perforaciones fueron inferiores a 0,12 m, por lo cual el factor de corrección es 1.0.

2. Una vez obtenido N70 se calcula el valor del ángulo de fricción interna (ϕ) por la correlación de Kishida:

- $\phi = \sqrt{12.5 \cdot N_{70}} + 15$

[1] González, A. (1999) **ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIA CON EL SPT.** X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería de Colombia. SCI-SCG. Santafé de Bogotá D.C.

3. Siguiendo el criterio de falla de Mohr – Coulomb, se procede a calcular el valor correspondiente al esfuerzo cortante con una cohesión de cero (suponiendo que el ϕ hallado anteriormente es el ángulo de fricción total).
4. Se realiza una gráfica esfuerzo normal efectivo Vs esfuerzo cortante obteniendo de la correlación lineal los valores de c' y ϕ'.

Teniendo el total de los resultados (puntos de corte a diferentes esfuerzos normales) se puede determinar la línea de falla, obteniéndose así el ángulo de fricción efectivo y la cohesión efectiva del material.

El resultado de aplicar esta metodología a cada estrato se muestra en el Anexo 2 "Corrección del SPT" y "Parámetros efectivos a partir de SPT".

Los valores obtenidos de Angulo de fricción para los suelos residuales es del orden de 20 grados y 22 grados y la cohesion varia de 0.2 (ton/m²) a 1.0 (ton/m²), para los niveles de depósitos fluvio lacustres (ver anexo 2).

Los valores de peso unitario están en un rango de 1.3 t/m³ a 1.6 t/m³ hasta una profundidad de 5 metros, y de 5 metros en adelante los valores se encuentran en un rango de 1.3 t/m³ a 1.4 t/m³ (Figura 3-14).

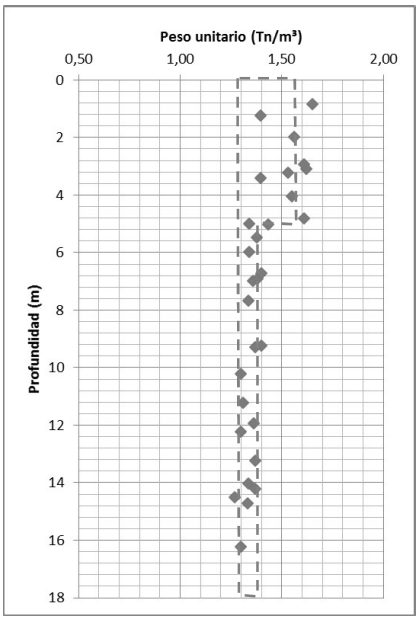


Figura 3-14 Peso unitario

En el momento de graficar el número de golpes corregido contra la profundidad se identificó que hay un rango de concentración del número golpes entre 1 y 7 (**Figura 3-15**), hecho que se corrobora cuando se grafica el ensayo de compresión simple como se observa en la **Figura 3-16**, en esta grafica se observa con mayor claridad la estratificación.

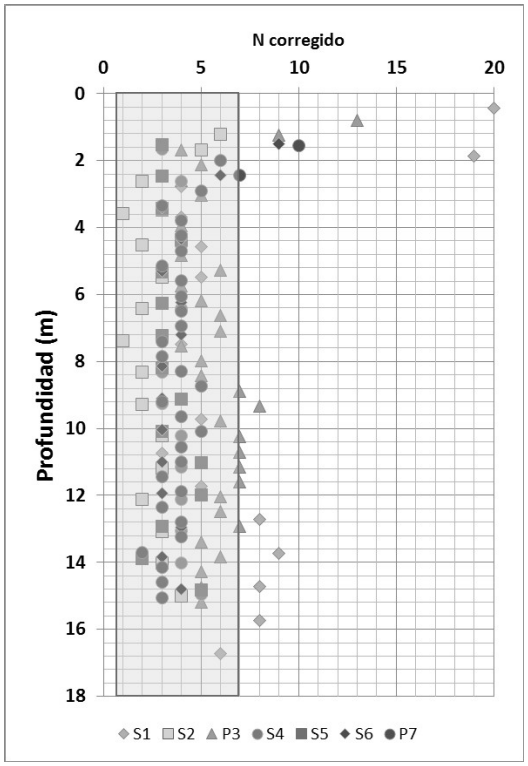


Figura 3-15 SPT Corregido

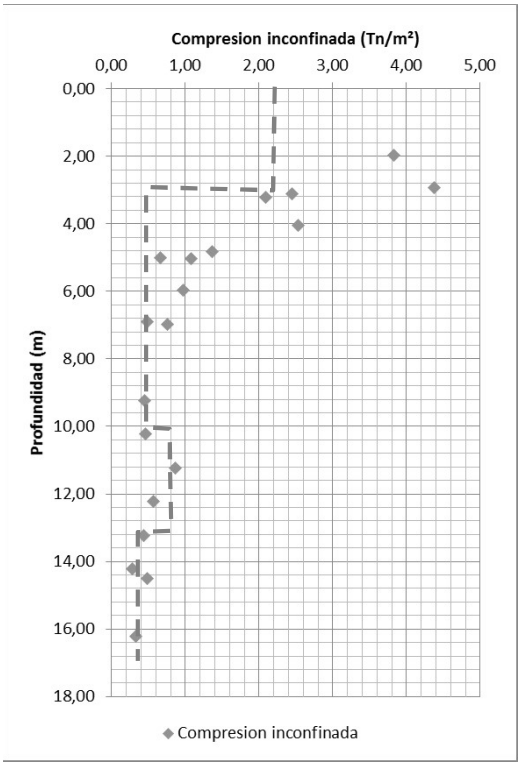


Figura 3-16 Compresión inconfinada

Teniendo en cuenta la exploración geotécnica y ensayos de compresión inconfinada se obtuvieron valores a diferentes profundidades las cuales se relacionan en la **Figura 3-16**.

En este sentido, se estratifico el suelo de acuerdo a las tendencias que se observan de la compresión inconfinada, para tal análisis, se tuvo en cuenta el comportamiento de la consolidación unidimensional y la relación de vacíos a lo largo de la profundidad, ya que se observa una estratificación similar.

Tabla 3-5 Parámetros geotécnicos seleccionados para cada estrato.

ESTRATO	PROFUNDIDAD		ωn %	LL %	LP %	IP %	C_u Ton/m²	ANGULO DE FRICCIÓN (°)	COHESIÓN c' (ton/m²)
	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR							
1	0.00	3.00	110	120	42	78	1.1	20	0.5
2	3.00	10.00	146	210	51	159	0.25	22	0.2
3	10.00	13.00	139	178	65	113	0.4	20	0.9
4	13.00	16.00	154	216	63	153	0.2	20	1.0

Wn humedad natural (%); LL = Limite liquido (%); LP = Limite plástico (%); IP = Índice de plasticidad (%); Cu = Cohesión no drenada (Ton/m^2)

4 ANÁLISIS DE CAPACIDAD PORTANTE PARA CIMIENTOS EXISTENTES

Teniendo en cuenta las características de los depósitos fluvio lacustres y la distribución de cargas que transmiten las estructuras existentes en la suelo, se analizó el sistema de cimentaciones existente para los muros corridos y zapatas. Se estima la capacidad portante para el primer estrato ya que este abarca la profundidad de desplante necesaria en las estructuras de cimentación.

Teniendo en cuenta que el tipo de cimentación necesaria es superficial encontrada en terreno, se consideró apropiado emplear el método de Meyerhof, en el que se tiene en cuenta los factores de forma, inclinación y profundidad de la cimentación, acorde con los factores de seguridad indirectos del código en la tabla H.4.7-1.

Las expresiones utilizadas para el cálculo de capacidad portante de cimentaciones superficiales por el método de Meyerhof, se presentan a continuación:

$$Qu = C.N_c.F_{cs}.F_{cd}F_{ci} + q.N_q.F_{qs}.F_{qd}F_{qi} + 0.5.\gamma.B.N_\gamma.F_{\gamma s}.F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

Dónde:

C	:	Cohesión del suelo
γ	:	Peso unitario del suelo
B	:	Ancho de la cimentación
q	:	Sobrecarga del suelo sobre el nivel de cimentación (γ.Df)
N_i	:	Factores de capacidad de carga en función de ϕ (N_c, N_q, N_γ)
ϕ	:	Angulo de fricción interno del suelo
F_{is}	:	Factores de corrección por forma (F_{cs}, F_{qs}, $F_{\gamma s}$)
F_{id}	:	Factores de corrección por profundidad (F_{cd}, F_{qd}, $F_{\gamma d}$)
F_{ii}	:	Factores de corrección por inclinación (F_{ci}, F_{qi}, $F_{\gamma i}$)

Análisis para cimentación corrida

Para estimar la capacidad portante de los muros se tuvieron en cuenta los parámetros de resistencia del depósito fluvio lacustre, tales como la cohesión y el ángulo de fricción (ver **Tabla 3-5**) con un factor de seguridad de 3, junto con las dimensiones de la estructura y profundidad de cimentación.

Ahora bien, para la variabilidad de la carga se modificaron tanto la profundidad de desplante como la profundidad del nivel freático, como consecuencia, se observó el comportamiento de la carga con cada variabilidad.

En este sentido, la variación de la carga con profundidad de desplante fija, cuyo valor es de 0.9 metros, es proporcional a la profundidad del nivel freático, donde es evidente que en las condiciones más críticas del suelo la capacidad de carga es menor. De igual manera, se evaluó la carga para una condición saturada, la cual es proporcional a la profundidad de desplante, donde a mayor profundidad de desplante mayor es la carga del suelo.

Ahora bien, se evaluó la variación de carga con respecto a las dimensiones del cimiento, donde es evidente que a mayor área del cimiento este va a tener una mayor carga. Teniendo en cuenta la anterior información, se concluye que la carga es mayor en la medida que se tiene una mayor profundidad de desplante (**Figura 4-1**) y aumenta en la medida que desciende el nivel freático (**Figura 4-2**). Y en cualquiera de los dos casos entre mayor es la base del cimiento mayor es la carga que soporta este.

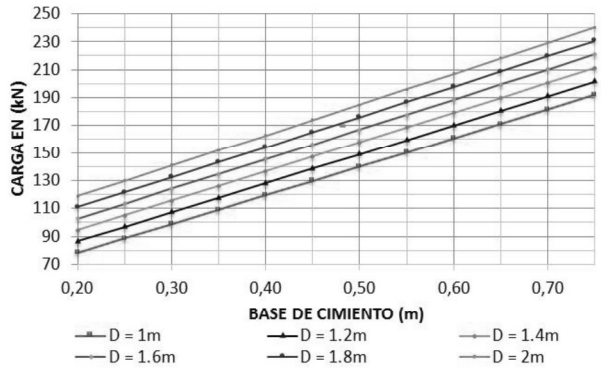


Figura 4-1 Carga Vs Base del cimiento. Variación de la profundidad de desplante y nivel freático en la superficie.

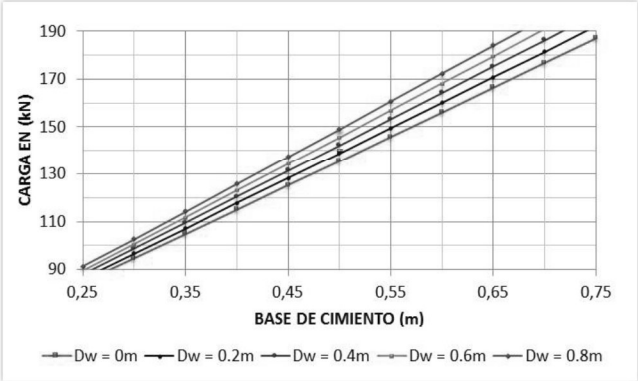


Figura 4-2 Carga Vs Base del cimiento. Variación de la profundidad del nivel freático y profundidad de desplante constante de 0.9m

Para los cimientos corridos encontrados en terreno (ver anexo 1, apiques 1, 2 y 6) con una base de 0.38 metros aproximadamente y una profundidad variable entre 0.45 metros y 0.68 metros, se estima una capacidad portante entre 26 KN/m^2 y 29 KN/m^2 con el nivel freático a 3.0 metros y un factor de seguridad de 3 (ver ANEXO 2). Para las mismas condiciones descritas previamente en el escenario de un nivel freático en superficie, se tiene una capacidad portante variable entre 24 KN/m^2 y 27 KN/m^2.

Análisis para cimentación cuadrada

Para estimar la capacidad portante de las zapatas se tuvieron en cuenta los parámetros de resistencia del depósito fluvio lacustre, tales como la cohesión y el ángulo de fricción (ver **Tabla 3-5**) con un factor de seguridad de 3, junto con las dimensiones de la estructura y profundidad de cimentación. Con la anterior información, se evaluó la variabilidad de la carga para dos condiciones, la primera tiene variaciones en la profundidad de desplante con el nivel freático en la superficie (ver **Figura 4-3**) y la segunda tiene variaciones en el nivel freático variable con profundidad de desplante fija, con un valor de 3 metros (ver **Figura 4-4**).

Teniendo en cuenta lo anterior, de la primera condición se deduce que a mayor profundidad de desplante mayor es la carga del suelo y de la segunda condición se infiere que las condiciones más críticas del nivel freático disminuyen la carga del suelo. De igual manera, se evaluó la variación de la capacidad portante para dimensiones del cimiento, donde es evidente que entre mayor es el área del cimiento, mayor es la carga que soporta el suelo.

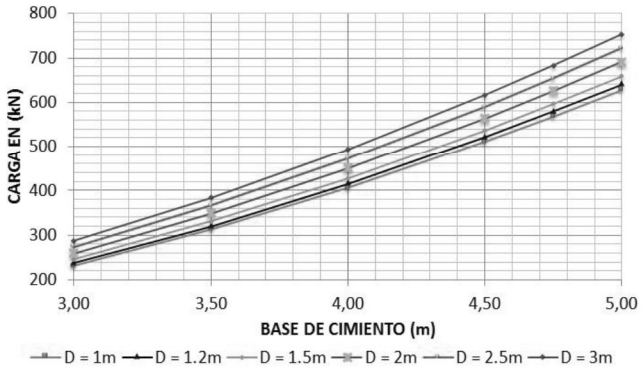


Figura 4-3 Carga Vs Base del cimiento. Variación de la profundidad de desplante y nivel freático en la superficie.

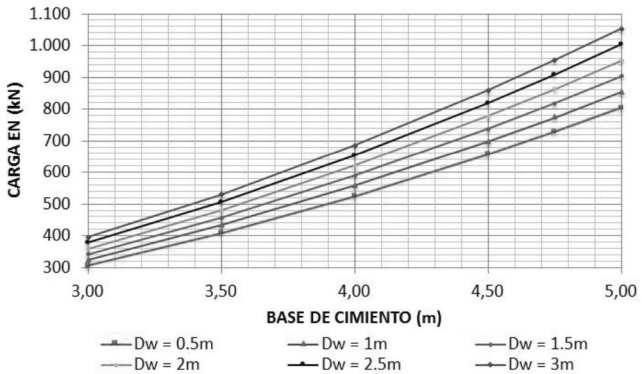


Figura 4-4 Carga Vs Base del cimiento. Variación de la profundidad del nivel freático y profundidad de desplante constante de 3m

Para los cimientos corridos encontrados en terreno (ver anexo 1, apiques 4 y 5) con una base de 4 metros aproximadamente y una profundidad variable entre 1.30 metros y 1.40 metros, se estima una capacidad portante entre 31.37 KN/m^2 y 32.05 KN/m^2 con el nivel freático a 3.0 metros y un factor de seguridad de 3 (ver ANEXO 2). Para las mismas condiciones descritas previamente en el escenario de un nivel freático en superficie, se tiene una capacidad portante variable entre 26.17 KN/m^2 y 26.45 KN/m^2.

Conclusiones:

De acuerdo al análisis de cimentación para cualquier tipo de rehabilitación la capacidad portante debe tener como mínimo 26 KN/m^2 con una profundidad mínima de 1.4 m para cimentaciones cuadradas y de 27 KN/m^2 con una profundidad mínima de 0.7 m para cimentaciones corridas. En cualquiera de los dos casos el factor de seguridad de trabajo mínimo es de 3.

5 ASENTAMIENTOS DE LA ESTRUCTURA

Los asentamientos totales de la estructura se pueden evaluar como la suma de los asentamientos elásticos al momento de la construcción que para este caso son irrelevantes dado que ocurrieron hacia los años 60 del siglo pasado y que en generan son de milimétricos, los asentamientos plásticos por procesos de consolidación primaria y secundaria que tienen gran relevancia con el trascurrir de los años pero que en este caso en particular no son de gran magnitud dado que las cargas están distribuidas uniformemente y la estructura presenta un comportamiento homogéneo salvo en los sectores donde se han inducido asentamientos por el efecto de la vegetación en la acera de la carrera 58 en donde se pudo observar, en relación con el borde de la vía contra la fachada, asentamientos cercanos a 5 decímetros y que son los que han causado lesiones importantes en el templo (ver siguientes fotografías)



Figura 5-1 Lesiones en los muros de fachada del templo. **A.** grietas de más de tres centímetros de ancho y a todo lo largo de la fachada en contacto entre la fachada y el muro de cerramiento. **B.** gritas en el primer piso de la fachada en el sector de la torre.

Para calcular los asentamiento se tuvo en cuenta las siguientes premisas: primero se consideró que los asentamientos elásticos no son de relevación en el entendido que se trata de una rehabilitación, se calcularon los asentamientos de consolidación teniendo en cuenta la profundidad de referencia y la condición del suelo a la que se encuentra más crítica normalmente consolidado para este caso. Teniendo en cuenta lo anterior, se escogió el índice de compresión virgen que se obtuvo en el ensayo de consolidación con la respectiva relación de vacíos, que está relacionada en la **Tabla 3-4**. De igual manera se tiene en cuenta la geometría del cimiento y la carga máxima obtenida en los análisis de capacidad portante sin mayorar.

En este sentido, con la profundidad de referencia y el peso unitario tanto del suelo como del nivel freático se calcula el esfuerzo efectivo al nivel de referencia:

$$\sigma_0 = (\mathrm{H} * \gamma_{suelo}) - (\mathrm{H}_{agua} * \gamma_{agua})$$

H: Profundidad de Referencia (al medio de la profundidad de cimentación donde se encuentra el centro aproximado del bulbo de esfuerzos)

σ_0: Esfuerzo efectivo a nivel de referencia.

γ: Peso unitario

Ahora bien, para calcular el aumento de carga producida por la estructura se tiene en cuenta la carga máxima de capacidad portante para una condición saturada y el área de la estructura de cimentación.

Los asentamientos generados por consolidación son producidos por la disipación de presión de poros a través del tiempo, los cuales se calculan por medio de la siguiente expresión:

Para suelos normalmente consolidados:

$$S_c = \frac{\mathrm{H} \cdot \mathrm{C_c}}{1 + \mathrm{e_0}} \cdot \log\left[\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma_z}{\sigma_0}\right]$$

Dónde:

H: Profundidad de Referencia

$\mathrm{C_c}$: Coeficiente de compresión virgen

σ_0: Esfuerzo efectivo a nivel de referencia.

$\Delta\sigma_z$: Aumento de carga producido por la estructura.

$\mathrm{e_0}$: Relación de vacíos del estrato

Cimentación cuadrada

Para los cimientos cuadrados se evaluó la variabilidad del asentamiento con diferente geometría de la zapata como se muestra en la **Figura 5-2**. En este sentido, se infiere que entre mayor es el área del cimiento hay menos asentamiento, ya que hay una mejor distribución de las cargas.

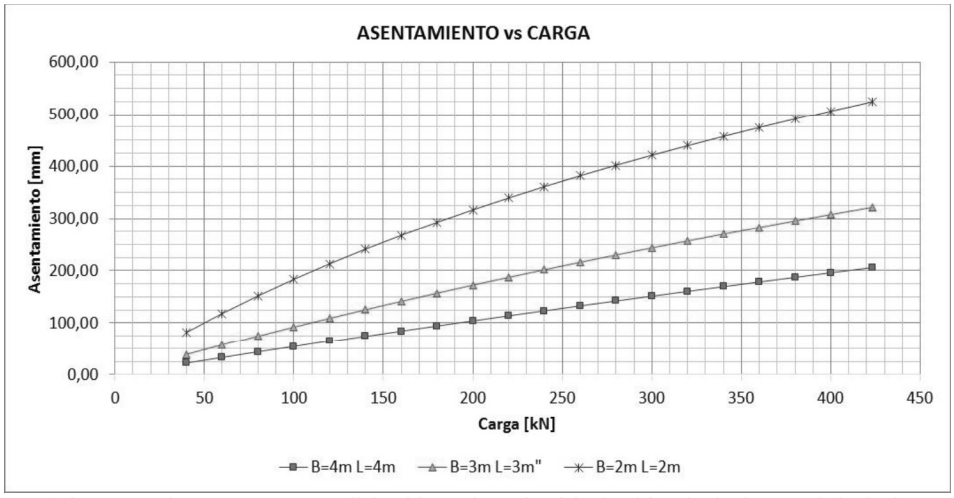


Figura 5-2 Asentamiento por consolidación primaria. Variación de la base del cimiento cuadrado.

Para los cimientos cuadrados con una profundidad de desplante de 1.4 metros, base de 4 metros aproximadamente y un esfuerzo máximo permitido de 26 KN/m^2 que equivale al 100%, se tiene una asentamiento de 206 mm, sin embargo para un 50 % está en 109 mm y para un 10% está en 22 mm (ver ANEXO 2).

Cimentación corrida

Para los cimientos corridos se evaluó la variabilidad del asentamiento con diferentes longitudes de la viga y una baje fija, cuyo valor es de 0.4 metros como se muestra en la **Figura 5-3**. En este sentido, se deduce que entre mayor es la longitud de la viga hay menos asentamiento, ya que hay una mejor distribución de las cargas.

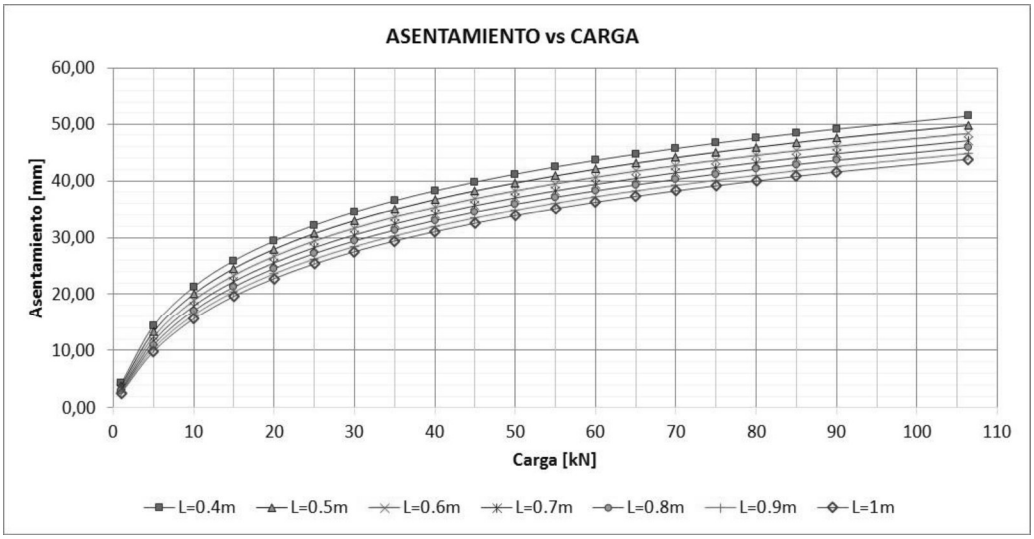


Figura 5-3 Asentamiento por consolidación primaria. Variación de la longitud del cimiento corrido.

Para los cimientos corridos con una profundidad de desplante de 0.7 metros, base de 0.4 metros aproximadamente y un esfuerzo máximo permitido de 27 KN/m^2 que equivale al 100%, se tiene una asentamiento de 12 mm, sin embargo para un 50 % está en 10 mm y para un 10% está en 3 mm (ver ANEXO 2).

Conclusiones:

Los asentamientos calculados por consolidación primaria en los escenarios más desfavorables y tomando los criterios más conservadores son del orden de máximo 200 mm que equivale al 100% de la carga máxima en términos de capacidad portante y para un 50% de la misma está en el orden de 100 mm en los cimientos con zapatas, mientras que para los muros es mayor al centímetro para una condición conservadora que equivale al 100% de la carga máxima permitida y para un 50% de la misma este no varía significativamente en relación a la condición más crítica. Sin embargo los asentamientos observados en la fachada son a todas luces superiores, en consecuencia estas deformaciones están gobernadas por la vegetación, donde se producen cambios volumétricos importantes hasta la profundidad de referencia, ya que dé ahí en adelante el incremento de esfuerzos disminuyen progresivamente hasta ser nulos.

6 ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN DE LA CIMENTACIÓN

Considerando la magnitud de las cargas a transmitir a nivel de cimentación, las características de resistencia de perfil de suelo encontrado y la profundidad de cimentación, no se encontró técnicamente viable una solución de rehabilitación cimentación superficial consistente en zapatas.

Por otro lado, una alternativa de placa compensada tampoco se considera viable por la logística, por lo anterior, se plantea como alternativa de solución un sistema de rehabilitación de la cimentación profunda, el cual podrá ser realizado por micro pilotes.

La evaluación de la cimentación se basó en aplicar criterios de capacidad de carga y control de asentamientos. La metodología de cálculo consiste en aplicar los criterios para cálculo de capacidad de carga de Polos y Terzaghi (como verificación) y los criterios de Bousinesq en condiciones elásticas para el cálculo de los asentamientos.

Capacidad portante

La transmisión de las cargas se deberá realizar mediante la implementación de una cimentación profunda tipo micro - pilotes los cuales trabajarán exclusivamente por fricción. Se ha considerado una fundación profunda dado el nivel de cargas a transmitir en cada apoyo y a la presencia de materiales de baja competencia a nivel superficial.

Se ha supuesto que los pilotes deben construirse como mínimo 1.0 m por debajo de la superficie del terreno para dar cabida a los dados y/o viga de amarre y/o unión con el sistema actual de amarre del sistema de cimentación

Los pilotes se unirán con dados cabezales y/o viga de amarre y/o unión con el sistema actual que deberá estar unido al resto de la estructura.

El factor de seguridad utilizado para el cálculo de capacidad de pilotes es de 2.5

Se presentan a continuación las recomendaciones para los pilotes.

Los pilotes fueron calculados exclusivamente por fricción con profundidades totales de 11 a partir del nivel del terreno y longitud efectiva de 11 m considerando una altura de cabezal de 1.0 m.

Se prefirieron pilotes con longitudes de 11 metros en vez de pilotes de mayor longitud debido a la facilidad de construcción, y que puede ser ejecutado con equipos livianos de fácil trasporte y acceso al interior del templo

La profundidad de exploración se considera suficiente considerando que los elementos verticales están calculados por únicamente por fuste.

A continuación en la se relacionan las capacidades de pilotes de diferentes diámetros:

Tabla 6-1. Capacidad de micro pilotes pilotes.

DIÁMETRO (m)	LONGITUD TOTAL (m)	LONGITUD EFECTIVA (m)	CAPACIDAD DE TRABAJO PU (ton)	ASENTAMIENTO (m)	MODULO DE REACCIÓN VERTICAL Kv (ton/m³)
0.30	**-11.0**	**-10.0**	3.46	**0.015**	16
0.25	-11.0	-10.0	2.93	**0.014**	11
0.20	-11.0	-10.0	2.38	**0.013**	6
0.15	-11.0	-10.0	1.81	**0.013**	3

Los valores estimados de asentamientos elásticos serán del orden de 2 cm. Estos valores deberán ser controlados durante la ejecución de la obra, ya que corresponde al sistema de validación de la solución planteada. En el anexo II se presentan las memorias de cálculo.

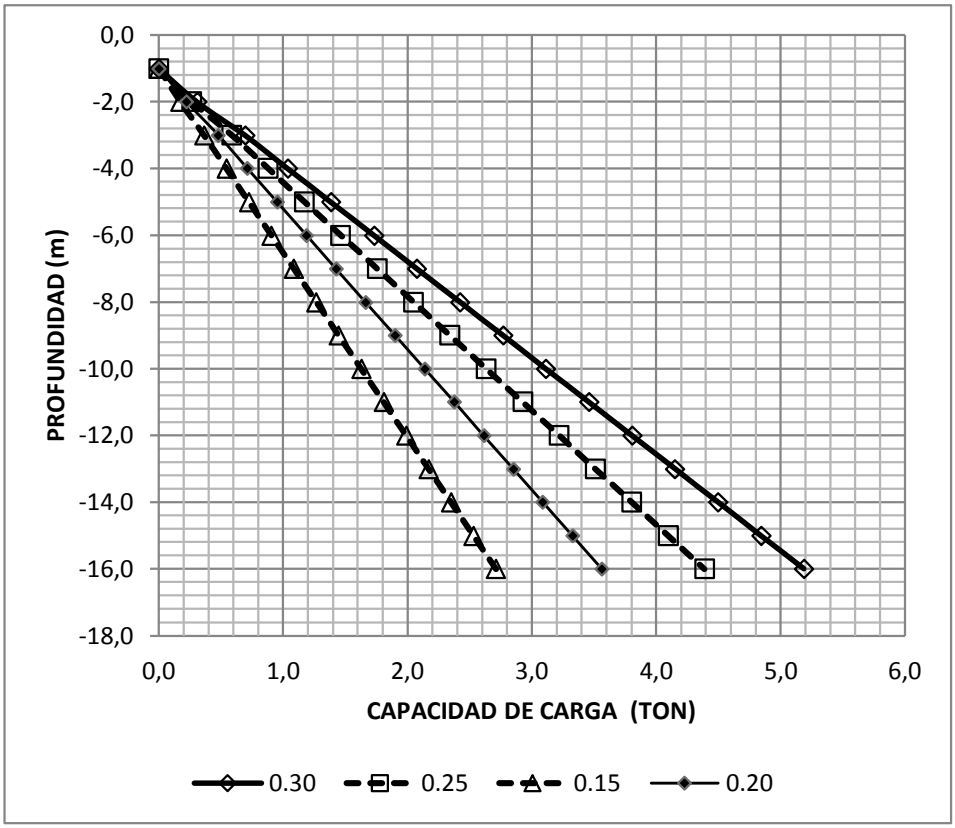


Figura 6-1. Capacidad de carga de pilotes para diferentes diámetros.

- En caso que se requiera, se podrán utilizar diferentes tipos de diámetros para la cimentación, pero no se recomienda utilizar diferentes diámetros en el mismo dado.
- El módulo de balastro horizontal se estimó como 200 KN/m³
- El refuerzo de los pilotes debe ser definido por el especialista estructural pero se recomienda una cuantía mínima del 0.5%.
- Para efectos de dimensionamiento de los dados, los micro pilotes se distribuirán con una separación mínima de tres (3) diámetros centro a centro de pilotes.
- Por homogeneidad bajo la cimentación, se recomienda que se utilice una única longitud de micro pilotes para todo el proyecto.
- Teniendo en cuenta las capacidades de carga y la susceptibilidad de los suelos a los asentamientos por consolidación se sugiere colocar secuencias o grupo de 4 micropilotes pilotes de diámetro 0.20 m, con lo que se obtendrán eficiencias del grupo de pilotes alrededor del 80%
- Una vez se tengan las cargas definitivas se considera necesario se de aviso a esta oficina para realizar los ajustes pertinentes.

7 CONCLUSIONES

El lote donde se construyó la iglesia y las edificaciones de la comunidad religiosa, corresponde a la dirección Carrera 60 No 94B-90. En este predio existen por lo menos cuatro edificaciones de las cuales tan solo se presentan deformaciones significativas asociadas la estructura principal o templo que colinda con la carrera 58, la cual es la parroquia de nuestra Señora de Guadalupe.

La edificación presenta grietas por asentamientos diferenciales en dos sectores determinados, el primero en los muros cargueros en la parte posterior o si se quiere cerca al altar donde la edificación colinda con el edificio de

la casa parroquial mientras que la segunda zona se encuentra localizada paralela a la carrera 58 donde queda la entrada principal del templo (ver siguiente figura), también cimentada sobre muros cargueros.

El templo construido a finales del siglo pasado tiene un sistema de cimentación superficial conformado por zapatas para las columnas y vigas para los muros laterales.

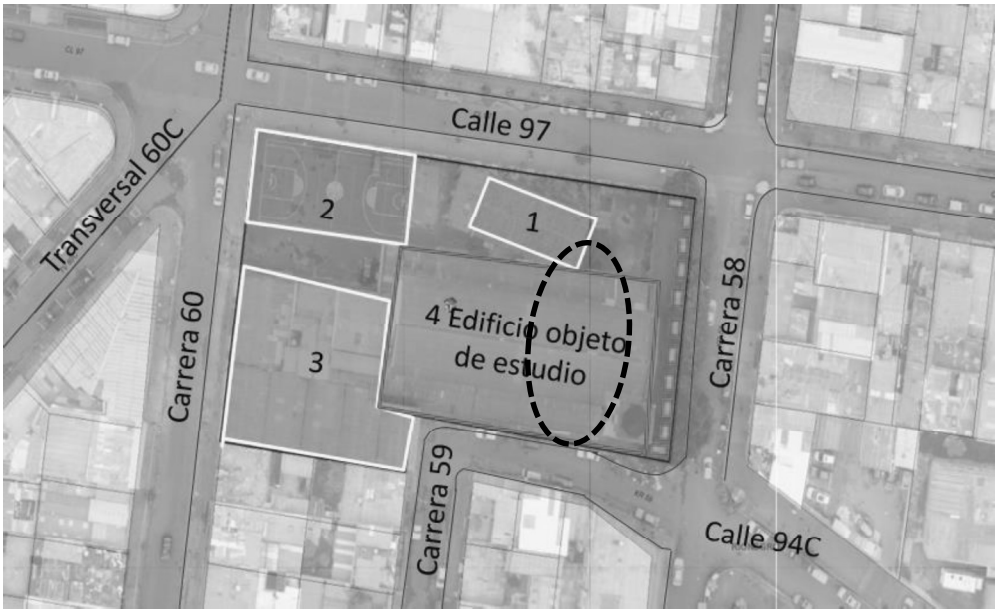


Figura 7-1 Localización del predio nuestra señora de Guadalupe. Tomado de SINUPOT. **1** Capilla, **2** Canchas deportivas, **3** Edificios anexos, **4** TEMPLO PARROQUIA DE GUADALUPE. ■ Materas donde están plantados once árboles que están causando asentamientos diferenciales tanto en la fachada de la iglesia como en el mobiliario urbano. **....** **- - - -** Concentración de los problemas asociados a las raíces de los arboles

La templo en su totalidad fue construido por etapas, iniciando su construcción alrededor de los años 1957 a 1963 y finalizó en la década de los años 90 del siglo pasado, aclarando que la fachada frente a la carrera 58 no ha presentado variación significativa desde hace por lo menos dos décadas y los muros afectados por las raíces de los arboles datan de principios de la construcción como se puede observar en la siguiente figura en la que se relacionan algunas fotografías del templo.



A



B



C



D

Figura 7-2 Fotografías de diferentes periodos de la edificación. **A:** se observa la iglesia y la construcción de las primeras materas las cuales se ha reconstruido por lo menos dos veces. **B y C:** Nótese el porte de los árboles que alcanzan alturas cercanas a los 10 m que están sembrados al frete de la entrada principal. **D:** etapa de construcción de la edificación principal en la cual se observa parte de la construcción del muro de fachada, en las primeras etapas de la construcción hacia los años 60 y que hoy por hoy se encuentra deteriorado a consecuencia de las deformaciones inducidas por las raíces de los arboles adyacentes.

Las estructuras que componen el templo están cimentadas mediante un sistema combinado de cimentación superficial compuesto por zapatas cuadradas de cuatro por cuatro metros en la nave central, mientras que perimetralmente se cimentaron los muros laterales por medio de vigas corridas sobre un concreto ciclópeo y en algunos sectores como el de la torres se encontró un mejoramiento del suelo consistente en rajon y en los muros del portón principal se encontró tan solo concreto ciclópeo.

Toda la estructura se construyó en una zona donde predominan los depósitos fluvio lacustres de la sabana de Bogotá con profundidades que pueden alcanzar entre 200 a 300 metros de profundidad, es decir que existe homogeneidad el perfil del suelo donde se cimento la estructura en su totalidad, sin embargo con el pasar de los años se ha notado que paralelo a la carrera 58 donde fueron plantados once árboles se han venido registrando asentamientos considerables (de más de 50 cm medidos desde la cota rasante de la vía hasta el portón de entrada a la iglesia) de la estructura frontal o fachada de la iglesia mientras que en el resto de la estructura las fundaciones han permanecido intactas sin la presencia de deformaciones desde la construcción hacia los años 60.

Las deformaciones no solo son notorias en la fachada del templo como se deja constancia en las siguientes fotografías donde se pueden apreciar grietas de los muros de fachada del orden de decímetros, sino que también se han afectado considerablemente el mobiliario urbano, como andenes, materas y la estructura del pavimento de la carrera 58, sin embargo cabe notar que las intervenciones periódicas de obras civiles, que el distrito ha realizado en los andenes y en la vía han invisibilizado o matizado de alguna manera el problema de los asentamientos generalizados del área de influencia de los árboles; un ejemplo de esto fue la última acción de obra civil de la carrera 58 en el año 2015 ejecutada por la alcaldía local a través del consorcio Sanmiguel cuando se nivelaron los andenes y se realizó la rehabilitación de la vía y las intervenciones previas de mobiliario urbano en la última década de siglo pasado y en la primera del presente siglo.


A


B


C


D

Figura 3 Fotografías actuales. **A**: fachada principal afectada por los asentamientos que han inhabilitado las puertas de acceso y donde se aprecian grietas de varios centímetros. **B**: panorámica en la que se observa la comunidad de árboles con pendiente en dirección a los árboles. **C**: panorámica del templo en donde no hay ningún tipo de deformaciones. **D:** daños en la fachada principal, de la torre frente a la carrera 58

Los asentamientos y lesiones estructurales evidentes en la fachada oriental de la iglesia y en los andenes, no corresponden a ninguno de los componentes del conjunto de factores que interactúan generalmente asociados a estas deformaciones como lo son las extracciones de aguas freáticas o poco profundas para construcción de sótanos de edificios, dado que no se han construido sótanos o estructuras similares en los alrededores.

Por otro lado las cargas de la edificación son mínimas y desde la finalización de la construcción de la iglesia a finales del siglo pasado, no se han aplicado nuevas cargas, ni en su entorno se han construido estructuras que pudieran influir en el comportamiento elástico del suelo, de tal suerte que los asentamientos pudieran estar asociados a sobrecargas externas.

En relación a los aspectos de tipo estacional, relacionados con leves variaciones en los niveles del terreno en épocas de sequía y lluvia, por efectos de la contracción y expansión superficiales, tanto el tipo de suelos, el tipo de estructura y el nivel freático, entre otros, son los once arboles quienes en las épocas estacionales tienen una demanda de agua, que no es suplida naturalmente, generando succión entre la tabla de agua o nivel freático y la superficie, produciendo cambios volumétricos que hoy por hoy están *ad portas* de causar daños irremediables en la estructura, producto de los asentamientos que han ocasionado la succión de agua por medio de las raíces de los once árboles, localizados en las inmediaciones de la fachada principal del templo en el costado

Con el paso de los años los arboles han aumentado de tamaño y la fachada principal ha presentado recurrentes deformaciones que se han manifestado en grietas y fisuras que por lo generan se reparan periódicamente, sin embargo la zona de mayor preocupación por los asentamientos diferenciales hoy por hoy, es la que corresponde a la fachada principal donde la magnitud de las distorsiones ha causado perdida de funcionalidad de las puertas de acceso, mientras que las deformaciones en la zona en cercanías al altar ha tenido menor impacto.

Los problemas de asentamientos diferenciales están asociados a los cimientos laterales mientras que el sistema de zapatas no ha presentado deformaciones significativas.

Los asentamientos diferenciales en los muros laterales de la estructura tienen varios detonantes principales que se resumen a continuación por zonas de afectación:

Zona del altar:

3. Deficiencias en el tipo de cimentación de los muros laterales que no permiten absorber deformaciones inducidas por la vegetación.
4. Cargas externas que es el caso de los muros en cercanías al altar producidas principalmente por la edificación vecina.

Zona frontal:

5. Deficiencias en el tipo de cimentación de los muros laterales que no permiten absorber deformaciones inducidas por la vegetación.
6. Sobre cargad debido a la construcción de la torre y el mezzanine
7. Cambios estacióneles del nivel freático que causan que las raíces de los arboles generen asentamientos diferenciales.

El modelo geológico permitió determinar los diferentes estrado, inicialmente se identificó una capa vegetal o con un alto contenido de materia orgánica, seguida de una material de mejoramiento y finalmente un deposito fluvio lacustre sin potencial de licuación.

De acuerdo al análisis de cimentación para cualquier tipo de rehabilitación la capacidad portante debe tener como mínimo 26 KN/m^2 con una profundidad mínima de 1.4 m para cimentaciones cuadradas y de 27 KN/m^2 con una profundidad mínima de 0.7 m para cimentaciones corridas. En cualquiera de los dos casos el factor de seguridad de trabajo mínimo es de 3.

8 RECOMENDACIONES

Reforzar el sistema de cimentación lateral de todos muros mediante la implementación de micropilotes.

Profundizar los cimientos - Hasta pasar, al menos parcialmente, la profundidad de la zona crítica donde la expansión es más severa mediante micro pilotes

Cimentación rígida - Rigidización de los elementos de la cimentación de manera que la estructura se mueva como un todo mediante amarres entre columnas y zapatas

La tala de los once individuos arbóreos y su remplazo por especies de bajo porte no agresivas, en razón a que es evidente que las podas anteriores, han potenciado el desarrollo de los mismos, al punto que han comprometido la estabilidad del sector oriental del templo.

9 BIBLIOGRAFÍA.

- República de Colombia, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) 2010,
- Joseph E. Bowles, Foundation analysis and design, fifth edition, 1996, numeral 4-3
- González, A. **ESTIMATIVOS DE PARÁMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIA CON EL SPT.** X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana, Bogotá, 1999

ANEXO 4

ENSAYOS REALIZADOS

Figura 1
Verificación de refuerzo de la columna



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia

Figura 2
Regatas para verificar el refuerzo de la placa de entrepiso



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia

Figura 3
Verificación de refuerzo en columna



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia

Figura 4
Verificación de refuerzo en columna



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia

Figura 5
Verificación de refuerzo en viga



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia

Figura 6
Verificación de la inclinación del suelo con uso de inclinómetro



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia

Figura 7
Verificación de refuerzo en viga



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia

Figura 8
Verificación de cámara de aire entre los muros dobles



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia

Figura 9
Verificación de cámara de aire entre los muros dobles



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia

Figura 10
Verificación de cámara de aire entre los muros dobles



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia

ANEXO 5

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Figura 1
Vista general del templo desde la calle 94C



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia

Figura 2
Vista general del templo desde la carrera 58



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia

Figura 3
Vista general del templo desde la esquina de la calle 97 y la carrera 58



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia

Figura 4
Vista general del templo desde la esquina de la calle 97 y la carrera 58



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia

Figura 5
Vista general de la estructura vecina al templo



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia

Figura 6
Vista general del templo desde su interior



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia

Figura 7
Vista general del inclinómetro



Nota: Este registro fotográfico es de fuente propia