

EVALUACIÓN MECÁNICA DEL SUELO DE FUNDACIÓN DEL EDIFICIO PARQUE
SANTANDER, EN VILLAVICENCIO, META.



JHONATAN CAMILO MORENO VARGAS



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
VILLAVICENCIO

2022

EVALUACIÓN MECÁNICA DEL SUELO DE FUNDACIÓN DEL EDIFICIO PARQUE
SANTANDER, EN VILLAVICENCIO, META.



JHONATAN CAMILO MORENO VARGAS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director

I.C. JESSICA RAMIREZ CUELLO, M.Sc.

Evaluator

I.C. JUAN MANUEL SALGADO DÍAZ, M.Sc.

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
VILLAVICENCIO

2022

Autoridades Académicas

P. José Gabriel MESA ANGULO, O. P.

Rector General

P., Eduardo GONZÁLEZ GIL O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.

Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O. P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

I.C. Luis Fernando DÍAZ CRUZ, ESP. MG.

Decano de la Facultad de ingeniería Civil

Nota De Aceptación

LUIS FERNANDO DIAZ CRUZ

Decano de Facultad Ingeniería Civil

JESSICA RAMIREZ CUELLO

Director Trabajo de Grado

JUAN MANUEL SALGADO DÍAZ

Jurado

Agradecimientos

Dios, tu amor y bondad no tienen fin, me permites sonreír ante todos mis logros que son resultado de tu ayuda, cuando caigo y me pones a prueba, aprendo de mis errores y me doy cuenta de los que pones en frente mío para así mejorar como ser humano y crecer de diversas maneras.

Gracias a la Universidad Santo Tomas, mi alma máter, por mi formación profesional.

Así, quiero expresar mis agradecimientos a todas aquellas personas que estuvieron presente en la realización de esta meta propuesta, mi más sincero agradecimiento a mi directora la Ingeniera Jessica Ramírez Cuello y al Ingeniero Juan Manuel Salgado, quienes en su conocimiento y orientación fueron vitales para el desarrollo de este proyecto.

Quiero agradecer a la base de todo, a mi familia, en especial a mis abuelos y a mi madre, quienes con todo su apoyo fueron mi constante motivación, agradezco su paciencia y comprensión, y por sobre todo su amor.

A las personas que son de mi cercanía, Sebastián Flórez Barrera, Juan Esteban Ramírez Linares y a quienes a través del tiempo me han demostrado su apoyo incondicional y por permitirme compartir bonitas experiencias en el proceso.

Resumen

La comuna 2 de Villavicencio, Meta, es considerada, una de la más susceptible a procesos de remoción en masa y deslizamientos de la ciudad, por las altas pendientes y variedad de materiales de suelos asentados sobre esta, por ende, conllevan a la susceptibilidad de deslizamientos y socavación (Sánchez et. al, 2019).

Al evaluar el suelo de fundación por medio de 3 perforaciones realizadas en la zona de estudio, se implementó un modelo matemático de una cimentación supuesta del edificio Parque Santander en la comuna 2 de Villavicencio – Meta, a través de una metodología la cual identifica paso a paso este proceso, bajo los lineamientos establecidos en los capítulos de la normativa colombiana de construcción sismo resistente (NSR-10).

Por tanto, con los datos obtenidos y la investigación realizada, se realiza el modelo matemático de la cimentación supuesta en el software CYPECAD 2018.m representando el comportamiento del diseño de las zapatas y verificando su cumplimiento bajo normativa.

Palabras Clave: cimentación, estructura, evaluación, geotecnia, suelo, Villavicencio.

Abstract

Commune 2 of Villavicencio, Meta, is considered one of the most susceptible to mass removal processes and landslides in the city, due to the high slopes and variety of soil materials settled on it, thus leading to the susceptibility to landslides and scour (Sanchez et. al, 2019).

By evaluating the foundation soil through 3 boreholes drilled in the study area, a mathematical model of an assumed foundation of the Parque Santander building in commune 2 of Villavicencio - Meta was implemented, through a methodology which identifies step by step this process, under the guidelines established in the chapters of the Colombian seismic-resistant construction regulations (NSR-10).

Therefore, with the data obtained and the research carried out, the mathematical model of the assumed foundation is made in CYPECAD 2018.m software, representing the behavior of the footing design, and verifying its compliance under the regulations.

Key Word: evaluation, geotechnics, foundation, soil, structure, Villavicencio.

Contenido

1. Introducción	12
2. Objetivos	13
2.1. Objetivo General	13
2.2. Objetivos Específicos.....	13
3. Alcance	14
4. Formulación del problema.....	15
5. Justificación	16
6. Marco de referencia	17
6.1. Marco conceptual	17
6.2. Antecedentes y estado del arte	17
6.3. Marco Teórico	20
6.3.1. <i>Suelo</i>	20
6.3.2. <i>Teoría de Terzaghi de la capacidad última de carga</i>	20
6.3.3. <i>Mejoramiento del suelo</i>	23
7. Localización y descripción del área de estudio	24
7.1. Localización del área de estudio	24
7.2. Descripción del área de estudio.....	24
7.3. Aspectos climáticos	25
8. Metodología	27
8.1. Descripción de etapas y tareas	27
8.1.1. <i>Etapa preliminar</i>	27
8.1.2. <i>Estudio de suelos</i>	27
8.1.3. <i>Recolección y análisis de información</i>	27
8.1.4. <i>Modelo edificio Parque Santander, modelo matemático del diseño de la cimentación supuesto</i>	28
8.1.5. <i>Conclusiones / recomendaciones</i>	28
8.2. Desarrollo metodológico.....	28
9. Resultados de la evaluación geotécnica	29
9.1. Reconocimiento del área de proyecto.....	29
9.2. Trabajo en campo.....	30
9.3. Ensayos de laboratorio	30

9.4. Estratigrafía y condiciones geotécnicas del suelo	31
9.5. Características sísmicas del sector	32
9.5.1. <i>Definición de zona de amenaza sísmica de Aa y Av</i>	32
10. Análisis geotécnico para el diseño de las cimentaciones	34
10.1. Análisis de la capacidad portante	35
10.2. clasificación del suelo	38
11. Modelamiento de software	40
11.1. Descripción general de la estructura	40
11.2. Solicitud de planos arquitectónicos	41
11.3. Modelo matemático del edificio Parque Santander	41
11.3.1. <i>Datos de entrada</i>	42
12. Análisis y diseño de la cimentación	45
13. Conclusiones	52
14. Referencias bibliográficas	53
15. Anexos	55

Lista de tablas

Tabla 1. Estado del arte	18
Tabla 2. Factores de capacidad de carga de Terzaghi, N_c , N_q , N_γ	22
Tabla 3. Desarrollo metodológico	28
Tabla 4. Coordenadas de los sondeos	29
Tabla 5. Definición zona sísmica	32
Tabla 6. Valores de N obtenidos en el sondeo	34
Tabla 7. Factores de carga de acuerdo a MAYERHOF, HANSEN y VESINC	34
Tabla 8. Cálculo de la capacidad portante	36
Tabla 9. Perfil estratigráfico, sondeo No. 1	38
Tabla 10. Perfil estratigráfico, sondeo No. 2	39
Tabla 11. Tablas unificadas Id zapatas respecto a su tipo	48
Tabla 12. Tipo zapata con su respectivo armado	49

Lista de figuras

Figura 1. Modelo de falla de la capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación según Terzaghi	21
Figura 2. Localización general del proyecto	24
Figura 3. Precipitación vs. mes según el año	25
Figura 4. Temperatura vs. mes según el año	26
Figura 5. Suma precipitaciones vs. mes.....	26
Figura 6. Zona sísmica Colombia.....	32
Figura 7. Imagen Satelital edificio Parque Santander	40
Figura 8. Modelo edificio PARQUE SANTANDER	41
Figura 9. Vista en planta de la cimentación.....	42
Figura 10. Datos de ingreso 1.....	43
Figura 11. Valores de las capacidades del suelo	43
Figura 12. Material ingresado	44
Figura 13. Normativa utilizada en el modelo.....	44
Figura 14. Cortante basal según el tipo de perfil del suelo	45
Figura 15. zapata centrada con dos o tres columnas	45
Figura 16. zapata centrada con una columna	46
Figura 17. Vista en planta de la cimentación con selección tipo de zapatas	47

1. Introducción

Villavicencio siendo un epicentro conectando todo el llano con la región andina, ha sido referente comercial de gran potencia nacional, con una creciente población y actividad económica. Es de total importancia para la ciudad salvaguardar tradiciones y patrimonios, de esta forma, es preciso mencionar la calidad estructural actual de algunas edificaciones en la zona de estudio 2, por tanto, es de gran importancia garantizar la seguridad y funcionamiento de las estructuras existentes.

El edificio Parque Santander con actividad de tipo comercial, ubicado en la Calle 38 con 32-37, diagonal a la gobernación del Meta, contando con una altura aproximada de 51 metros, destacando por ser uno de los más altos de la ciudad de Villavicencio, contando con 17 plantas, una azotea y un sótano.

El propósito de esta investigación es realizar un modelo matemático de una cimentación supuesta aplicada a la estructura de pórtico rígido, en concreto reforzado. Recalcando que se trata de una cimentación supuesta ya que no se cuenta con bastante información de la edificación, todos los datos estructurales ingresados corresponden a la normativa vigente sismorresistente colombiana NSR-10 modelado en el software CYPECAD 2018, también ingresando datos de la parte geotécnica obtenidos para analizar el tipo de suelo sobre el cual descansa la edificación.

Para que una estructura ofrezca seguridad, debe contar con una cimentación adecuada, su diseño debe cumplir con todos los requerimientos exigidos por la normativa.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Evaluar el suelo de fundación de la comuna 2, en Villavicencio, Meta, tomando como referencia el edificio PARQUE SANTANDER, teniendo en cuenta la normativa vigente en Colombia.

2.2. Objetivos Específicos

1. Reunir la información geotécnica de la zona en estudio (recolección de muestra de suelo, ensayos de laboratorio).
2. Identificar las características geotécnicas del suelo a partir de la información obtenida de los sondeos.
3. Analizar la vulnerabilidad sísmica en la comuna 2 de Villavicencio, Meta, teniendo en cuenta antecedentes en relación al objeto de estudio.
4. Proponer un modelo matemático del diseño de la cimentación supuesto, teniendo en cuenta la Norma Sismo Resistente - NSR-10

3. Alcance

Con el presente trabajo se pretende evaluar el suelo de fundación de los edificios con más de 5 niveles de la comuna 2 en Villavicencio, Meta, implementando un modelo matemático supuesto de la cimentación en el programa CYPECAD 2018.m, el cual nos permitirá proponer un diseño de la misma teniendo presente los parámetros establecidos en la normativa Colombia de diseño sismorresistente vigente, toda vez se reúna, la información geotécnica de la zona en estudio y se analice la vulnerabilidad sísmica en la zona evaluada donde se tendrá en cuenta el título H de la NSR-10.

4. Formulación del problema

Dado que los edificios patrimoniales representan la historia de una población y permiten evaluar el comportamiento social y económico de las distintas épocas involucradas, los ciudadanos deben reconocer la importancia de la conservación para el desarrollo de nuestra sociedad.

En Villavicencio encontramos diferentes tipos de suelos, los cuales son un reto de ingeniería definir si es aceptable directamente para una obra o no aceptable para ello y que requieren de un mejoramiento o intervención antes de su uso como fundación de cualquier obra de infraestructura, adicional, la ciudad se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta, teniendo en consideración distintos factores al diseñar una estructura. Estos factores y consideraciones que se adjuntan en el Reglamento Colombiano de construcción sismorresistente (Nsr-10), es de obligatoriedad apuntar hacia las construcciones puestas antes de la vigencia de esta ya que no se cuenta con normativa aplicada.

Respecto a la ocurrencia de un sismo con magnitud media a grande presentando un epicentro que abarca el área afectada en Villavicencio, se deduce que las edificaciones contempladas en la parte antigua de la ciudad en consecuencia por su sistema constructivo pueden ser afectadas, por lo que existe la necesidad de desarrollar estudios de vulnerabilidad para identificar las áreas de mayor riesgo y el alcance del impacto potencial de la ciudad en el evento. (Vivas, 2012)

¿Cuál es el grado de vulnerabilidad físico estructural y funcional de los edificios de más de cinco pisos de la comuna 2 en la ciudad de Villavicencio evaluando el suelo de fundación?

5. Justificación

En cuanto a Villavicencio, la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) ha registrado sismos en las cercanías, y la Asociación de Ingeniería Sismológica de Colombia AIS estima una alta amenaza sísmica para la ciudad. Teniendo en cuenta que muchos edificios de más de cinco pisos ubicados en el centro de la capital del Meta y en las cercanías incluyendo el sector El Barzal, fueron construidos antes de la implementación de los códigos de construcción sismorresistentes de Colombia.

Por lo anterior, se tomará en cuenta el análisis estructural de las edificaciones principalmente el edificio PARQUE SANTANDER, objeto de estudio realizado en el marco del proyecto de investigación FODEIN multicampus 2021. En este se determinarán las características de las edificación mencionada anteriormente como según su forma geométrica, edad construida, sistema estructural y uso, seguido del análisis estructural del edificio y un supuesto diseño de cimentación para determinar su condición de acuerdo a su capacidad en relación a la demanda inducida por sismos bajo el capítulo A.10 de la NSR 10 (AIS, 2010), se toma el encabezado H de la misma norma para incluir en el análisis un modelo que considera la interacción suelo-estructura y otro que no lo considera, comparándolos con la determinación final de vulnerabilidad ante un evento sísmico.

6. Marco de referencia

En geología, generalmente se hace referencia al suelo como un sistema estructurado con propiedades biológicas activas que se desarrolla en las capas más superficiales de la corteza terrestre. Las etapas de formación del suelo incluyen la destrucción o meteorización mecánica de las rocas, sea por frío, calor, lluvia, oxidación y/o humedad, haciendo que la roca sea fragmentada gradualmente.

En esta sección, dependerá profundamente de la teoría acerca de reconocimiento de suelos, aplicación en vulnerabilidad sísmica y mejoramientos, también habrá una descripción de las investigaciones recientes sobre este tema, referenciados con el objeto de estudio.

6.1. Marco conceptual

Los principales conceptos que hacen referencia al tema de investigación, se relacionan en este acápite.

La cimentación de una edificación, se puede definir como un conjunto de elementos estructurales que tienen como objetivo transmitir las cargas de la estructura apoyada sobre estas al suelo, distribuyéndolas de tal forma que no superen la presión admisible.

Existen dos tipos principales de cimentación:

- Cimentación superficial, situadas en las capas menos profundas del suelo para construcciones livianas. Existen varios tipos como lo son las zapatas aisladas, zapatas corridas, zapatas combinadas y losas de cimentación.
- Cimentación profunda, situadas a más profundidad, soportando mayores cargas, un ejemplo de esta son los pilotes de cimentación, distribuidos de tal manera que se pueda distribuir la carga aplicada.

6.2. Antecedentes y estado del arte

Con el fin de definir la metodología del proyecto, se realiza una revisión y recopilación de diferentes investigaciones afines al tema propuesto, relacionadas a continuación:

Tabla 1. Estado del arte

Año	Autor	Título	Objetivo	Tipo de documento
2010	<i>Germán Ernesto Chicangana Montón et. al</i>	LA SOCIEDAD FRENTE A LA GESTION DEL RIESGO: CASO SOBRE LA AMENAZA SÍSMICA EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO	Presentar un análisis de los registros instrumentales existentes sobre la vulnerabilidad y el papel desempeñado por los entes involucrados (las autoridades político-administrativas y la academia), se hace una descripción de un posible escenario post-sísmico, y son presentadas ciertas recomendaciones para mitigar efectos de un sismo de importancia.	Artículo
2015	<i>LABORATORIO DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS, José María Mican Nechiza</i>	ESTUDIO DE SUELOS Y RECOMENDACIONES DE CIMENTACIÓN PARA CONSTRUCCIÓN DE BODEGA Y OFICINAS CON DESTINO CENTRO DE ACOPIO PARA CACAO.	Determinar las condiciones físico mecánicas de los suelos existentes, además de evaluar la capacidad portante del suelo, y los asentamientos posibles del sistema con base en la información de campo recolectada y sometiendo el suelo a unos estados de cargas posibles. Es fundamental que una vez se tengan los diseños estructurales se hagan llegar a esta oficina para su aprobación según el reglamento NSR-10.	Laboratorio
2019	<i>Kandy Vanessa Sánchez García, Sergio Ospina Cárdenas</i>	DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA CONSTRUCCIÓN PATRIMONIAL EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO, CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO NACIONAL (DIAN)	Realizar una evaluación de vulnerabilidad sísmica y un diagnóstico, para el Edificio Nacional en la ciudad de Villavicencio, determinando su estado y comportamiento actual en máximas condiciones de servicio siguiendo los parámetros establecidos por el NSR-10 título A-10.	Tesis
2019	<i>Alejandra marcela Carvajás Yate, Rafael Esteban Garzon Novoa</i>	EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE UN SUELO ARENO ARCILLOSO CON REFUERZOS DE FIBRAS PET.	Evaluar la resistencia de un suelo areno arcilloso al adicionar fibras PET como refuerzo.	Tesis

Tabla2. Continuación

Año	Autor	Título	Objetivo	Tipo de documento
2020	<i>Jefferson Dayans García Socha, Juan David Roza Ávila</i>	APLICACIÓN DE TEMAS DE INGENIERÍA CIVIL EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y DIAGNÓSTICO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO, CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO LA VOZ DEL LLANO	Realizar la evaluación de vulnerabilidad sísmica a la planta física del edificio La Voz del Llano, ubicado en el municipio de Villavicencio, teniendo en cuenta las patologías estructurales, evaluando la resistencia actual de los elementos estructurales y verificando su comportamiento de acuerdo a lo reglamentado en la NSR – 10.	Tesis
2021	<i>María José Hernández Garzón</i>	IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES DE MEJORAMIENTO EN SUELOS EXPANSIVOS DESTINADOS COMO SUELO DE FUNDACIÓN PARA VIVIENDAS EN EL SECTOR NOR-ORIENTAL DE LA CIUDAD DE TUNJA.	Establecer el material de mejoramiento óptimo para reducir el potencial de expansión en suelos destinados como materiales de fundación en el sector Nor-oriental de la ciudad de Tunja, específicamente en la zona comprendida entre el campus de la universidad Santo Tomás y el campus de la Universidad de Boyacá.	Tesis
2021	<i>JUAN FELIPE PEREZ RODRIGUEZ CAMILO ANDRES LOPEZ PARRADO</i>	ANALISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA Y VALORACION DE PATOLOGIAS ESTRUCTURALES, CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO BALCONES DE LA 30. VILLAVICENCIO, META.	Evaluar por medio de un análisis de vulnerabilidad y riesgo sísmico el edificio Balcones de la 30 ubicado en la ciudad de Villavicencio, bajo el capítulo A. 10 NSR 10	Tesis
2022	<i>JUAN DAVID GUTIERREZ OTERO</i>	PATOLOGÍA Y VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO PARQUE SANTANDER UBICADO CERCA AL PARQUE CENTRAL EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO, META, COLOMBIA.	Realizar el estudio de patología y análisis de vulnerabilidad sísmica para el edificio Parque Santander ubicado en Villavicencio, Meta, Colombia.	Tesis

6.3. Marco Teórico

En el desarrollo de este proyecto es importante tener en cuenta los procedimientos, parámetros y otros aspectos que servirán en la orientación para así llegar a los objetivos establecidos.

6.3.1. Suelo

La definición de suelo tiene varios matices tales como la perspectiva agronómica, geológica, constructiva, ecológica, química y antropológica. Dependiendo de quién llevo a cabo su definición y la época en que se desarrolle.

Desde la perspectiva geológica e ingenieril el suelo se define como un recurso muy importante, ya que se desempeña en la superficie terrestre como reactor natural, hábitat para diversos organismos, fuente de materiales no renovables y soporte de infraestructuras.

Según Braja M. Das, los ingenieros civiles definen el suelo como una capa delgada en la corteza terrestre formada por la meteorización (interperismo), que puede ocurrir como resultado de procesos físicos o químicos y si permanece en su lugar de origen, se conoce como residual, de lo contrario transportado.

A través del tiempo haciendo referencia a la ciencia de la fundación, se evidencia que existen muchas edificaciones de épocas pasadas que al día de hoy han sobrevivido en pie, lo que indica que hubo una buena aplicación de la ingeniería en la cimentación de estos.

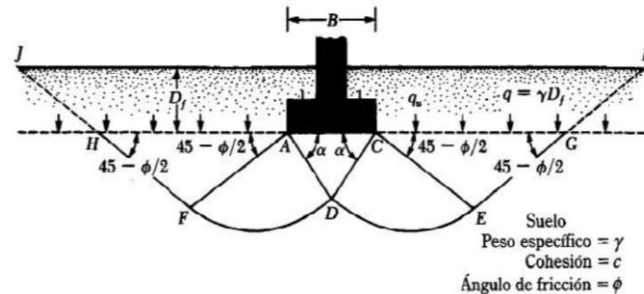
6.3.2. Teoría de Terzaghi de la capacidad última de carga

Karl Von Terzaghi, profesional en el área de la ingeniería, conocido como el padre fundador de la mecánica de suelos e ingeniería geotécnica, quien en 1943 fue el primero en exponer una teoría para evaluar la capacidad ultima de carga de cimentaciones poco profundas, en la cual determina que: una cimentación es poco profunda, si la profundidad D_f de la cimentación es menor o igual al ancho de esta misma.

En dicha exposición, Terzaghi, define como la solución de capacidad última de carga puede realizarse cuando a los casos en que el nivel freático es profundo; además las tensiones totales son

iguales a todas las tensiones efectivas y los parámetros de tensión de corte deben expresarse en términos de tensión efectiva.

Figura 1. Modelo de falla de la capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación según Terzaghi



Nota: La zona de falla se divide en tres bajo la cimentación como lo enseña en la ilustración (Das, 2013).

1. La zona triangular ACD inmediatamente debajo la cimentación en estado activo.
2. Las zonas ADF y CDE, con las curvas DE y DF siendo arcos de una espiral logarítmica.
3. Dos zonas pasivas Rankine triangulares AFH y CEG.

Usando el análisis de equilibrio, Terzaghi expreso la capacidad última de carga de la forma:

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma$$

Donde:

q_u = Máxima capacidad de carga, kN/m²

c' = Cohesión del suelo, kPa

γ = Peso unitario del suelo, kN/m³

$q = \gamma D_f$, profundidad de la cimentación, m

N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga adimensionales y sólo son funciones del ángulo de fricción del suelo, ϕ' .

B = Ancho de la cimentación, m

Partiendo de la teoría de capacidad de carga, se modificaron las ecuaciones teniendo en cuenta los efectos que implica la forma de la cimentación, cuadradas y circulares.

Terzaghi sugirió las siguientes ecuaciones para la capacidad última de carga del suelo:

Zapatas cuadradas:

$$q_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma$$

Zapatas circulares:

$$q_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.3\gamma BN_\gamma$$

Partiendo de las consideraciones de Terzaghi, los factores N_c , N_q , N_γ están en función del ángulo de fricción, ϕ' , como se muestra a continuación:

Tabla 2. Factores de capacidad de carga de Terzaghi, N_c , N_q , N_γ

ϕ' (grados)	N_c	N_q	N_γ^a	ϕ' (grados)	N_c	N_q	N_γ^a
0	5.70	1.00	0.00	26	27.09	14.21	9.84
1	6.00	1.10	0.01	27	29.24	15.90	11.60
2	6.30	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.70
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.50	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.60
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.80	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6.00	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.50	415.14	1,072.80
25	25.13	12.72	8.34				

Nota: Adaptado de (Das, 2013)

6.3.3. *Mejoramiento del suelo*

Muchos ingenieros geotécnicos denominan el mejoramiento del suelo como una estabilización del mismo, definiéndolo como un proceso de modificación en sus propiedades físicas y mecánicas.

Existen técnicas de mejora en las cuales hay dos categorías principales:

1. La estabilización química: la cual utiliza aditivos químicos para mejorar el comportamiento del suelo, su trabajabilidad y facilita su uso como material de construcción. También se utiliza para reducir la plasticidad y la capacidad de expansión-contracción, si la arcilla es difícil de compactar, se pueden agregar productos químicos para dispersar fácilmente las partículas y ayudar en el proceso. Algunos de los materiales más utilizados para este fin son cal, cemento y cenizas volantes.
2. La estabilización mecánica incluye métodos para mejorar las propiedades mecánicas del suelo sin la necesidad de agregar agentes u otro tipo de energía que desarrolle la unión de partículas. En otras palabras, no hay efectos químicos en esta metodología. Algunos de los métodos de estabilización mecánica más utilizados son:

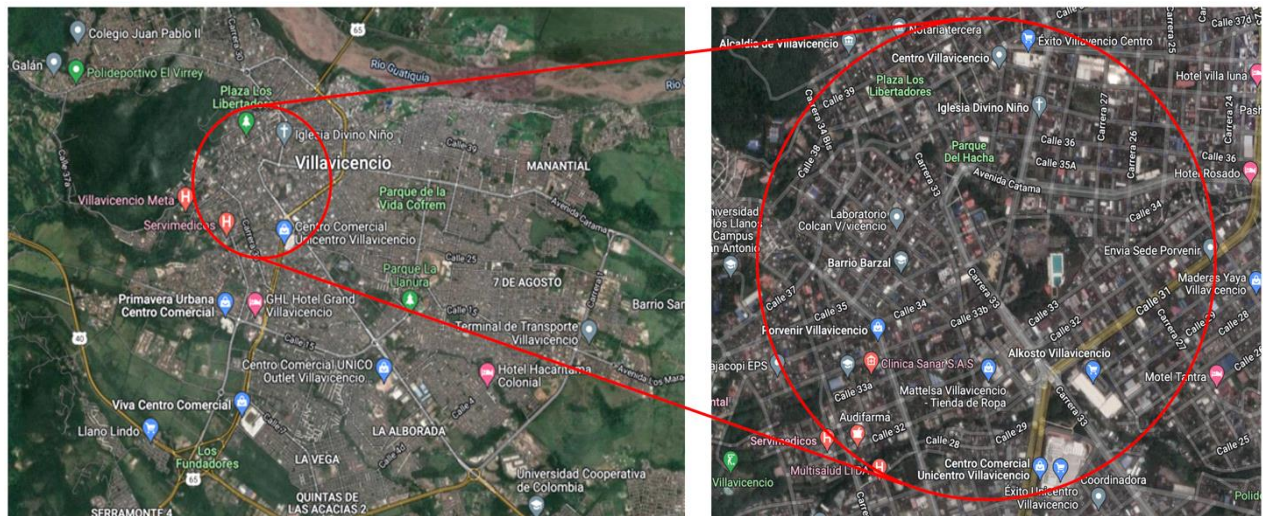
- Compactación.
- Vibro flotación.
- Voladura o blasting.
- Compactación dinámica.
- Precarga.
- Drenes de arena.

7. Localización y descripción del área de estudio

7.1. Localización del área de estudio

El análisis se realizará para los edificios de más de 5 niveles ubicados en la comuna 2 de Villavicencio, Meta. Se encuentra en el piedemonte de la cordillera oriental al noroccidente del departamento.

Figura 2. Localización general del proyecto



Nota: Adaptado de (Google Maps, 2022)

7.2. Descripción del área de estudio

En el municipio de Villavicencio se distinguen dos regiones, una montañosa formada en la ladera de las montañas orientales y otra es una llanura que se inclina ligeramente hacia el este y noreste, correspondiente al pie de la montaña. Rodeada por el río Guatiquía por el norte y el río Guayuriba por el sur. Los ríos Ocoa y Negro, numerosos caños y pequeños arroyos fluyen en medio de esta llanura. Su geología muestra el impacto de dos estructuras principales, al occidente el macizo de la Guayana y al oriente se encuentra la cordillera oriental, junto con la sierra de La Macarena.

Partiendo de que la ciudad de Villavicencio es la primera plaza y fuente de comercio de la región siendo la más grande de los llanos orientales, y ubicada en el corazón del país.

El comercio y el turismo son los sectores más dinámicos, ya que la mayor parte de la producción agrícola e industrial agropecuaria de los llanos se envía a través de Villavicencio hacia Bogotá y otras ciudades del interior. En cuanto al turismo, cuenta con una actividad turística que es el resultado del desarrollo comercios y servicios. Es decir, su crecimiento dependerá de la dinámica comercial, de los servicios que se presten y del esfuerzo de las administraciones municipales y ministeriales. El turismo ocurre tanto en áreas urbanas como rurales (pueblos) y ha crecido en ambos sectores.

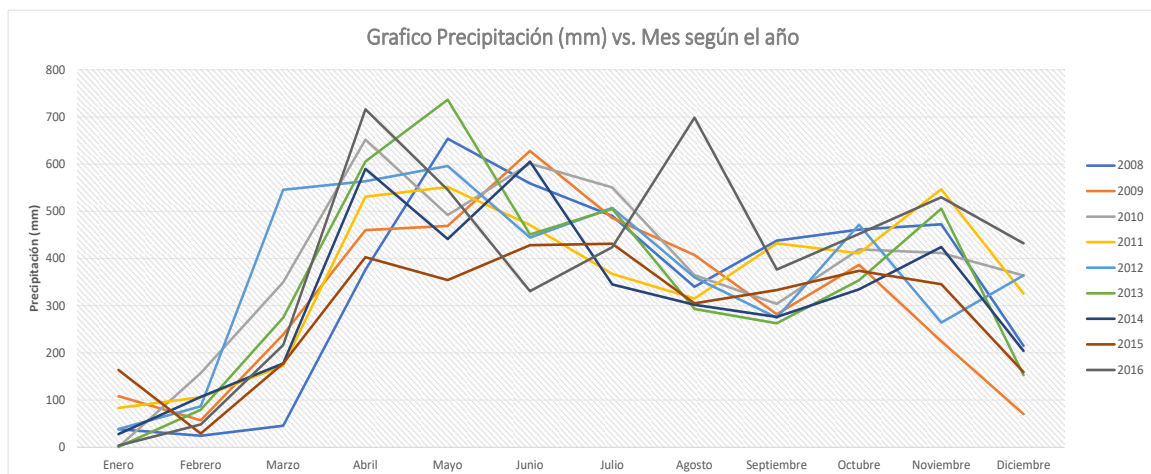
El municipio de Villavicencio limita con:

- Norte: Restrepo y El Calvario
- Sur: Acacias y San Carlos de Guaroa
- Oriente: Puerto López
- Occidente: Departamento de Cundinamarca

7.3. Aspectos climáticos

El clima en la ciudad de Villavicencio según los datos arrojados del IDEAM se compone con veranos cortos, cálidos y nublados además de inviernos cortos, calurosos, mojados y parcialmente nublados. En el paso del año la temperatura promedio mensual varía entre 24°C a 29°C.

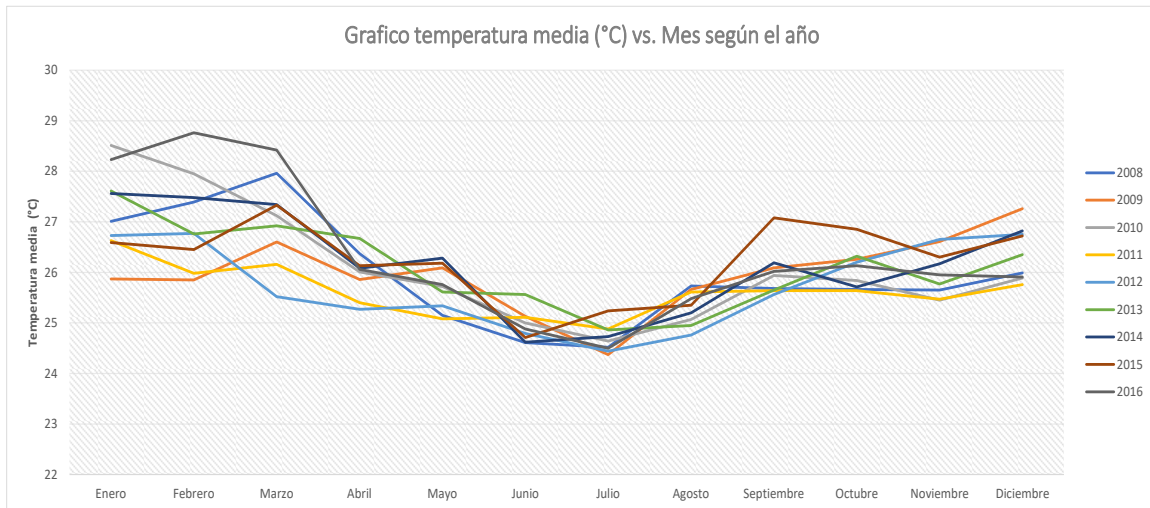
Figura 3. Precipitación vs. mes según el año



Nota: Autor, Adaptado (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, 2016)

En el grafico anterior expone que la mayor precipitación ocurrida en el año está entre el mes de abril y agosto, aunque existe otro pico entre el mes de octubre a noviembre. La menor precipitación ocurrida esta entre el mes de diciembre, enero, febrero y marzo.

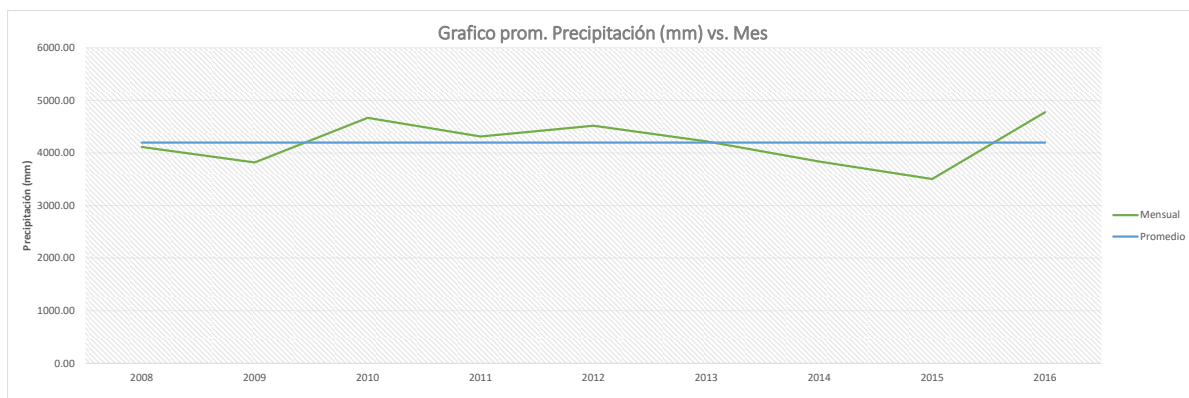
Figura 4. Temperatura vs. mes según el año



Nota: Autor, Adaptado (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, 2016)

La temperatura en la ciudad de Villavicencio según los datos arrojados por el IDEAM varía entre los 24°C y los 29°C, se observa que relacionando las gráficas anteriores en orden los meses con menos precipitación existe un aumento de temperatura como lo son los meses de enero a marzo, también siendo los meses con mayor precipitación se refleja una disminución de temperatura.

Figura 5. Suma precipitaciones vs. mes



Nota: Autor, Adaptado (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, 2016)

8. Metodología

En el desarrollo del presente proyecto se debe considerar que la investigación es de tipo mixta, es decir que en primera instancia se compila información existente en el área de estudio, para así poder desarrollar esta investigación bajo el seguimiento de los lineamientos establecidos por la normativa vigente, en el cual se establece los procedimientos a seguir.

8.1. Descripción de etapas y tareas

8.1.1. Etapa preliminar

Se investigó primeramente bajo el marco de investigación FODEIN multicampus que temáticas están presentes, así definiendo la materia y objetivos del presente proyecto, consiguiente a la presentación de la propuesta se desarrolla la revisión de fuentes bibliográficas y normativa vigente relacionadas con el objeto de estudio.

8.1.2. Estudio de suelos

Se realiza una exploración en campo, ensayos, pruebas de laboratorio y demás aspectos relacionados con las condiciones físicas y mecánicas del suelo para así poder responder a un análisis confiable y válido.

8.1.3. Recolección y análisis de información

Inicialmente se investigó en la zona de estudio (Villavicencio – Meta) existencia de información geológica, además de ello, recolección de datos bibliográficos realizados, donde evidencie estudios sísmicos y estructurales, revisando y teniendo en cuenta la normativa vigente colombiana (NSR-10) aplicada en este campo.

8.1.4. Modelo edificio Parque Santander, modelo matemático del diseño de la cimentación supuesto

Se tomó como referencia y con el fin de cumplir el objeto de estudio, el modelo del edificio PARQUE SANTANDER realizado en el programa CYPECAD, teniendo en cuenta los datos obtenidos, representando el comportamiento de la estructura en relación con el suelo, dando como resultado un análisis suelo-estructura, entre otros.

8.1.5. Conclusiones / recomendaciones

Se presenta un mejoramiento aplicado a la zona respecto a los resultados obtenidos en el estudio de suelos (además de este), en efecto se presentan recomendaciones para la mitigación de impactos sísmicos significativos.

8.2. Desarrollo metodológico.

Tabla 3. Desarrollo metodológico

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Reunir la información geotécnica de la zona en estudio (recolección de muestra de suelo, ensayos de laboratorio).	Recopilar información existente y llevar a cabo extracción de material presente en la zona.	Existe la necesidad de una revisión general de los estudios que se han realizado además de llevar a cabo una nueva recolección en el área en el cual se desarrollará el proyecto.	Camilo Moreno Vargas
Determinar el tipo de suelo en estudio.	Realizar ensayos de laboratorio.	Se clasificará el tipo de suelo evaluado tomando por normativa vigente.	Camilo Moreno Vargas
Modelo de cimentación supuesto de la edificación PARQUE SANTANDER	Realizar un modelo matemático de la cimentación supuesta de la edificación PARQUE SANTANDER	Se evaluará el modelo de cimentación supuesto con respecto al modelo estructural ya desarrollado.	Camilo Moreno Vargas
Analizar la vulnerabilidad sísmica en la comuna comuna 2 con más de 5 niveles teniendo en cuenta la fundación del suelo en la zona de estudio.	Recolección de datos existentes teniendo en cuenta la zona de evaluación y la normativa vigente.	En esta actividad se realizan valoraciones para predecir los impactos generados en las estructuras ante alguna actividad sísmica teniendo en cuenta el tipo de suelo presente.	Camilo Moreno Vargas

9. Resultados de la evaluación geotécnica

El presente capítulo comprende la descripción de los trabajos de campo y sus características principales, tales como: tipo de exploración, localización, perfil estratigráfico y resultados de los ensayos realizados.

La exploración geotécnica para la evaluación del suelo de fundación, consistió en precisar las características físicas y geomecánicas de los estratos existentes, lo que permite evaluar la calidad relativa de los suelos, evaluándose, en lo en lo posible, las condiciones “in situ”.

9.1. Reconocimiento del área de proyecto

Antes de iniciar la exploración se realizó un reconocimiento del área objeto de estudio, apoyándose en mapas geológicos y toda la información necesaria para la identificación de las características de la zona en donde se desarrolla el proyecto.

Una vez analizada la información existente se realizó una visita previa a la zona de estudio de los trabajos a los sectores a intervenir definiendo la profundidad de la exploración y los sitios para la toma de la perforación, referenciando a partir de coordenadas geográficas

Tabla 4. Coordenadas de los sondeos

No. Sondeo	Coordenadas	
	Norte (°)	Este (°)
1	-73,639,437	4.152230
2	-73.6381920	4.150759

Nota: Adaptado de (INCONTECH, 2020)

Para establecer las propiedades y características geotécnicas del suelo se realizaron los sondeos a 2,5 metros de profundidad, llevando a cabo el cumplimiento de la normativa NSR-10 título H en cuanto a alcances en profundidad y área de estudio.

Los métodos realizados en esta etapa de reconocimiento, corresponden al uso de equipos de perforación manual, además se realiza tomas de muestras inalteradas cohesivas con el

muestreador cuchara partida para ensayos de penetración SPT, con el fin de hacer un muestreo continuo y detallado del subsuelo.

9.2. Trabajo en campo

Con objetivo de conocer el perfil del suelo y llevar a cabo la respectiva evaluación de los parámetros que determinan su comportamiento previo a la carga, se realizaron las siguientes actividades.

1. Toma de muestras del suelo tipo alterado e inalterado, siendo las inalteradas obtenidas a través de tubos de pared delgada con un diámetro de 2" (Pulgadas)
2. Se registró el tipo de suelo, color, textura y consistencia.
3. Al final de cada ejecución del sondeo, la profundidad indicada está relacionada con el nivel del suelo de la ubicación del estudio. Las mediciones se realizaron durante el período de transición entre el invierno y el verano.
4. Pruebas de penetración estándar SPT (ASTM D1586): El método estandarizado desde 1958 con la norma ASTM D-1586, revisado y ajustado se da a conocer: El procedimiento utiliza la energía de un martillo de 140 libras que cae desde una altura de 76 cm, se realiza un hincado del muestreador tomando registro las cantidades de golpes necesarios para penetrar 15cm tomando 3 lecturas, es decir la penetración es de 45 cm para empujar el tubo de muestra hacia el fondo del orificio. El número de impactos necesarios para penetrar los últimos 30 cm nos da una idea de la resistencia al corte del suelo. Esta norma especifica que cuando se aplican más de 50 o hasta 100 choques en intervalos, ocurre un fenómeno conocido como retracción (RCH) en el terreno, el cual se reporta en el protocolo de perforación y debe considerarse completo. Se realizó una prueba de penetración estándar (SPT) aproximadamente cada 1,00 metros.

9.3. Ensayos de laboratorio

La siguiente investigación se realizó utilizando muestras obtenidas de las perforaciones para caracterizar y determinar los parámetros de resistencia.

1. Humedad natural (Norma INV-E-122): Se tomaron muestras de suelo para cada estudio y se colocaron en una bolsa sellada y etiquetada, determinando su humedad basados en la norma INV E-122-13. Primeramente, se determina y se registra la masa de un recipiente

limpio y seco, seguidamente se selecciona una muestra representativa para la prueba y se coloca en el recipiente, luego se registra el peso del recipiente que contiene la muestra de material húmedo. Se coloca el recipiente con el material en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, por aproximadamente 24 horas. Finalmente, se retira el recipiente del horno y esperamos que se enfríe a temperatura ambiente y se registra el peso del material.

2. Granulometría (Norma INV-E-123): Para llevar a cabo este ensayo se tomó una serie de tamices estandarizados (2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°200) para determinar la distribución porcentual del tamaño de los materiales que componen el suelo mediante la norma INV E -123-13. Partículas con tamaños superiores a $75\ \mu\text{m}$, es decir, retenidas en el tamiz No. 200 se establece mediante tamizado; aquellas partículas menores a $75\ \mu\text{m}$ se determina al utilizar un hidrómetro (Invias, 2012 p. 123-1), se procede a realizar el lavado del material, se seca en el horno y al día siguiente, registra el peso seco y ejecute el proceso de tamizado desde el tamiz No. 3 al tamiz No. 200. Finalmente, determine el peso de retención de cada tamiz.
3. Límites de Atterberg (INV-E-123) (INV-E-126): Son los diferentes ensayos que se realizaron en la fracción fina de los suelos y tienen como fin conocer las características de la resistencia y consistencia y sus valores son necesarios para la clasificación de suelos finos.
4. Peso específico (INV-E-128): con base a la norma INVIA INV-E-128-13 la cual se utiliza para determinar el peso específico, se utiliza las muestras que pasan el tamiz No. 4 dando empleo a un picnómetro. Se utiliza el método A para el ensayo de muestras húmedas.

Con base en los resultados de las pruebas, el suelo se clasificó de acuerdo con el sistema de clasificación unificado SUCS. En este sistema se determinó la familia de suelo predominante y se obtuvieron valores de resistencia para determinar su comportamiento. Con base a esto, definir el tipo y la profundidad de la cimentación.

9.4. Estratigrafía y condiciones geotécnicas del suelo

- Nivel freático: NO se encontró nivel freático en los sondeos realizado, es importante saber que el nivel freático fluctúa según la estación del año en la que se realiza el estudio de suelo.
- Perfiles estratigráficos: Basado en los trabajos de campo y resultados en el laboratorio desarrollados, se establece el perfil estratigráfico promedio del subsuelo:

9.5. Características sísmicas del sector

Los valores registrados se basan en los requerimientos propuestos y exigidos en el título a de NSR-10.

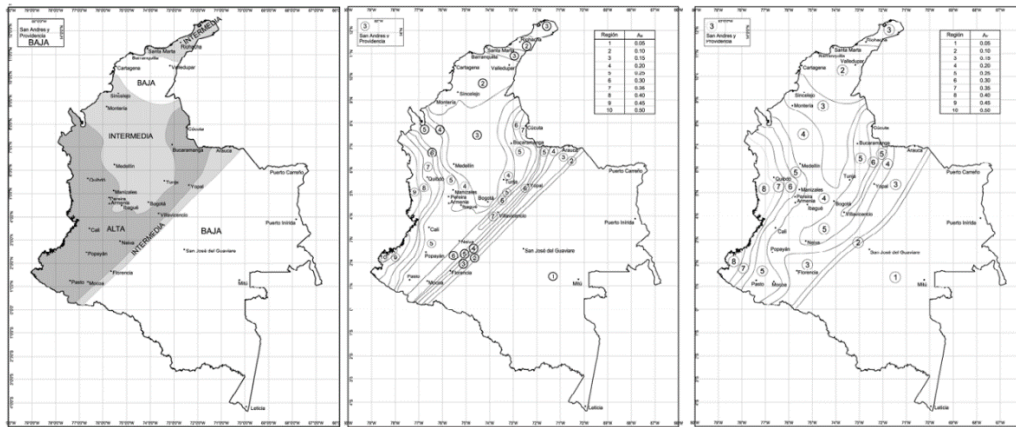
9.5.1. Definición de zona de amenaza sísmica de Aa y Av

Tabla 5. Definición zona sísmica

DEPARTAMENTO DEL META					
Municipio	Zona de amenaza sísmica	Aa	Av	Ae	Ad
Villavicencio	Alta	0.25	0.3	0.2	0.07

Nota: (NSR-10, 2010)

Figura 6. Zona sísmica Colombia



Nota: Villavicencio se encuentra en una zona sísmica alta (NSR-10, 2010)

La ciudad de Villavicencio se encuentra ubicada dentro de un ambiente sísmico tectónico de reconocida actividad histórica. Según la NSR-10 se encuentra en una zona de actividad sísmica alta. (Gelvis, 2019).

De acuerdo con investigaciones recientes realizados en la zona de estudio, en la comuna 2 de Villavicencio, el incremento de la pendiente topográfica en donde se asientan los barrios que la conforman (Barzal alto, Buque, La Azotea, Mesetas Altas, Balcones de Toledo, San José entre otros), el tipo de suelo definido en la ciudad, como depósitos fluviotorrenciales y que la mayoría de las edificaciones fueron construidas antes de que se implementara el código de sísmica resistencia (decreto 1400 de 1984) en Colombia, la amenaza en la que se encuentra es considerada

alta. Adicionalmente, los espectros indicativos de respuesta sísmica del Casco Urbano de Villavicencio de suelo según la NRS-10 tendrán una máxima aceleración espectral de 0.8 (g) para un periodo de 0.55 segundos, esto representa que la zona de estudio sobre pasa lo recomendado por la norma y en consecuencia más vulnerable (Sánchez et. al, 2019, p. 15, 86) A demás que el piedemonte llanero es la evidencia de la amenaza sísmica con respecto a los cambios en la conducta de los drenajes de los principales ríos y corrientes fluviales en términos a corto plazo, junto a constantes corrimientos de masa a los escarpes de las fallas. Aquellos procesos geológicos periódicamente han afecto a los habitantes de la ciudad de Villavicencio como así a la región del piedemonte llanero (Ramos & Alfaro, 2000).

Así mismo, otros antecedentes revisados, confirman la vulnerabilidad sísmica en Villavicencio, es decir, la ocurrencia de un sismo es inevitable, por lo que es necesario tener en cuenta ciertas recomendaciones, para disminuir los efectos letales de este sobre la población.

10. Análisis geotécnico para el diseño de las cimentaciones

En la evaluación del parámetro de la resistencia al corte y a la compresión uniaxial, se utilizó el valor de N del ensayo SPT según las correlaciones presentadas en la tabla de ángulo de fricción. Teniendo en cuenta la información obtenida con respecto a los datos, aspectos técnicos y observaciones de campo realizadas por el especialista, se realizó un análisis para estimar valores de capacidad de soporte admisible y asentamientos.

Tabla 6. Valores de N obtenidos en el sondeo

SONDEO	
Profundidad (m)	VALORES de N
1	8/13/17
2	18/20/21
2.5	11/16/RCH

Nota: (INCONTECH, 2020)

Las siguientes tablas se utilizaron para determinar los valores de los factores de carga N_c , N_q y N_y . Teniendo en cuenta las características geotécnicas obtenidas, perfiles registrados y la presencia de GRAVA ARENOSA BIEN GRADUADA DE MATRIZ ARCILLOSA COLOR CAFÉ OSCURO de compacidad compacta. (INCONTECH, 2020)

Tabla 7. Factores de carga de acuerdo a MAYERHOF, HANSEN y VESINC

ϕ	N_c	N_q	$N_y(H)$	$N_y(M)$	$N_y(V)$	N_q/N_c	$2\tan\phi(1-\sin\phi)$
0.00	5.14	1.00	0.00	0.00	0.00	0.195	0.000
5.00	6.49	1.60	0.10	0.10	0.40	0.247	0.146
10.00	8.34	2.50	0.40	0.40	1.20	0.300	0.241
15.00	10.97	3.90	1.20	1.10	2.60	0.356	0.294
20.00	14.83	6.40	2.90	2.90	5.40	0.432	0.315
25.00	20.71	10.70	6.80	6.80	10.90	0.517	0.311
26.00	22.25	11.80	7.90	8.00	12.50	0.530	0.308
28.00	25.79	14.70	10.90	11.20	16.70	0.570	0.299
30.00	30.13	18.40	15.10	15.70	22.40	0.611	0.289
32.00	35.47	23.20	20.80	22.00	30.20	0.654	0.276
34.00	42.14	29.40	28.70	31.10	41.00	0.698	0.262
36.00	50.55	37.70	40.00	44.40	56.20	0.746	0.247
38.00	61.31	48.90	56.01	64.00	77.90	0.798	0.231
40.00	75.25	64.10	79.40	93.60	109.30	0.852	0.214
45.00	133.73	134.70	200.50	262.30	271.30	1.007	1.172
50.00	266.50	318.50	567.40	871.70	761.30	1.195	0.131

Nota: (INCONTECH, 2020)

10.1. Análisis de la capacidad portante

En el cálculo de la capacidad portante se tuvo en cuenta el suelo GRAVA ARENOSA BIEN GRADUADA DE MATRIZ ARCILLOSA COLOR CAFÉ OSCURO compacta compacta (INCONTECH, 2020) en los estratos y con las recomendaciones del capítulo H de la norma NSR-10. La ecuación utilizada en el cálculo fue la siguiente:

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma$$

Donde:

q_u = Máxima capacidad de carga, kN/m²

c' = Cohesión del suelo, kPa

γ = Peso unitario del suelo, kN/m³

$q = \gamma D_f$, profundidad de la cimentación, m

N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga adimensionales y sólo son funciones del ángulo de fricción del suelo, ϕ' .

B = Ancho de la cimentación, m

De acuerdo con la información obtenida, los aspectos técnicos y las observaciones de campo realizadas por el especialista, los resultados de los ensayos de laboratorio, de campo e información con referencia a las características del suelo, se realizó un análisis donde se estima los valores de capacidad de soporte admisible y asentamientos.

La capacidad de carga admisible calculado considerando un factor de seguridad de tres que según es el recomendado por normativa para evitar la falla por capacidad portante obteniendo:

δ_p : Capacidad de carga admisible

δ_{ult} : Capacidad de carga

F.S: Factor de seguridad

Se presenta la hoja de cálculo realizado por INCONTECH SAS basado en la teoría de Terzaghi y Peck, en los cuales se presenta como información de campo en ensayo SPT realizado en a zona.

Tabla 8. Cálculo de la capacidad portante

Datos iniciales tipo de suelo

SONDEO 1

PARAMETROS

qu (inconfina)(T/m ²)	0.00	Angulo de fricción interna (°)	36.00
Peso Volumetrico suelo (T/m ³)	17.40	Nc (según Terzaghi)	30.13
Factor de seguridad	3.00	Nq (según Terzaghi)	18.40
N (Número golpes/pie)	30.00	Cu (T/m ²)	0.00
		Ny (según Terzaghi)	15.70

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Ton/m²) PARA B<1.00 m

Profundidad cimentación	Profundidad cimentación	Zapatas s/Terzaghi ancho cimiento (m)			Cimiento continuo s/Terzaghi ancho cimiento (m)		
(m)	(pie)	1.00	1.20	1.40	1.00	1.20	1.40
1.00	3.28	11.40	13.70	15.90	9.90	11.90	13.90
1.30	4.26	14.80	17.80	20.70	12.90	15.40	18.00
1.60	6.23	18.20	21.90	25.50	15.80	19.00	22.20
1.90	6.23	21.60	26.00	30.30	18.80	22.60	26.30
2.20	7.22	25.00	30.00	35.10	21.80	26.10	30.50
2.50	8.20	28.50	34.10	39.80	24.70	29.70	34.60

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Ton/m²) PARA B>1.00 m

Profundidad cimentación	Profundidad cimentación	Zapatas s/Terzaghi ancho cimiento (m)			Cimiento continuo s/Terzaghi ancho cimiento (m)		
(m)	(pie)	1.60	1.80	2.00	1.60	1.80	2.00
1.00	3.28	18.20	20.50	22.80	15.80	17.80	19.80
1.30	4.26	23.70	26.60	29.60	20.60	23.20	25.70
1.60	6.23	29.10	32.80	36.40	25.30	28.50	31.70
1.90	6.23	34.60	38.90	43.30	30.10	33.90	37.60
2.20	7.22	40.10	45.10	50.10	34.80	39.20	43.60
2.50	8.20	45.50	51.20	56.90	39.60	44.50	49.50

Nota: (INCONTECH, 2020)

Cuando se trata de los asentamientos de los suelos arcillosos el tiempo de respuesta es más lento en comparación de suelos arenosos. Las cimentaciones puestas sobre arcillas deben tener factores de carga adecuados para prever una falla por capacidad de carga.

Cada uno de los asentamientos fue calculado por carga rígida y por carga flexible, la teoría desarrollada y los cálculos realizados teniendo en cuenta módulo de Young, coeficiente de Poisson y carga admisible calculara anteriormente. Referenciando a Terzaghi y Peck el valor tomado de s se estableció en 2,5 cm con la creencia de que si el asentamiento alcanza su nivel máximo se limitará a esta magnitud, el asentamiento diferencial entre las zapatas de cualquier estructura estará dentro de los límites tolerables, además teniendo en cuenta los valores puestos en la tabla

H.4.9.1 de la NSR-10, expresados en función de l , distancia entre los apoyos o columnas teniendo en cuenta el tipo de construcción claramente. (INCONTECH, 2020)

Para el cálculo de los asentamientos como se muestra en la tabla 15 Asentamientos sondeo N°1, Pagina 31 en ver (Anexo 10 - informe geotécnico).

10.2. clasificación del suelo

Tabla 9. Perfil estratigráfico, sondeo No. 1

SONDEO No. 1			Indice de plasticidad				Pasa 200	Clasificación		Pesos específicos	
Profundidad	Estrato	Descripción	L.L %	L.P %	I.P %	W nat %	%	A.A.S.T.H.O	U.S.C	γ_s (gr/cm3)	γ_d (gr/cm3)
0.00		GRAVA ARENOSA DE CONSISTENCIA MEDIA CON POCA PRESENCIA DE ARCILLA COLOR CAFÉ OSCURO	NL	NP	NL-NP	5.07	11.21	A-1-b	GW	1.83	1.742
0.10											
0.20											
0.30											
0.40											
0.50											
0.60											
0.70											
0.80											
0.90											
1.00											
1.10											
1.20											
1.30											
1.40		ARENA ARCILLOSA DE BAJA PLASTICIDAD CAFÉ OSCURA CON VETAS NARANJAS OSCURO	38.22	21.56	16.66	20.46	43.72	A-6	SC	2.175	1.806
1.50											
1.60											
1.70											
1.80		GRAVA ARENOSA COLOR GRIS DE CONSISTENCIA MEDIA DE MATRIZ ARCILLOSA CAFÉ	NL	NP	NL-NP	13.86	14.19	A-1-b	GP	1.975	1.735
1.90											
2.00											
2.10											
2.20		GRAVA ARENOSA DE CONSISTENCIA MEDIA CAFÉ OSCURO CON VETAS	NL	NP	NL-NP	11.35	12.55	A-1-b	GP	1.924	1.728
2.30											
2.40											
2.50											

Nota: (INCONTECH, 2020)

Tabla 10. Perfil estratigráfico, sondeo No. 2

SONDEO No. 2			Indice de plasticidad				Pasa 200	Clasificación		Pesos especificos	
Profundidad	Estrato	Descripción	L.L %	L.P %	I.P %	W nat %	%	A.A.S.T.H.O	U.S.C	$\gamma_s(\text{gr/cm}^3)$	$\gamma_d(\text{gr/cm}^3)$
0.00		GRAVA ARENOSA DE CONSISTENCIA MEDIA CON POCA PRESENCIA DE ARCILLA COLOR CAFÉ OSCURO	NL	NP	NL-NP	5.07	11.21	A-1-b	GW	1.83	1.742
0.10											
0.20											
0.30											
0.40											
0.50											
0.60											
0.70											
0.80											
0.90											
1.00											
1.10											
1.20											
1.30											
1.40		ARENA ARCILLOSA DE BAJA PLASTICIDAD CAFÉ OSCURA CON VETAS NARANJAS OSCURO	38.22	21.56	16.66	20.46	43.72	A-6	SC	2.175	1.806
1.50											
1.60											
1.70											
1.80		GRAVA ARENOSA COLOR GRIS DE CONSISTENCIA MEDIA DE MATRIZ ARCILLOSA CAFÉ	NL	NP	NL-NP	13.86	14.19	A-1-b	GP	1.975	1.735
1.90											
2.00											
2.10											
2.20		GRAVA ARENOSA DE CONSISTENCIA MEDIA CAFÉ OSCURO CON VETAS	NL	NP	NL-NP	11.35	12.55	A-1-b	GP	1.924	1.728
2.30											
2.40											
2.50											

Nota: (INCONTECH, 2020)

11. Modelamiento de software

En el desarrollo de la modelación estructural se utilizó el software CYPECAD en versión 2018.m, para lo siguiente se tomaron en cuenta dos opciones

1. En estudios anteriores realizados bajo el marco FODEIN se desarrolló el modelo matemático del edificio PARQUE SANTANDER.
2. Teniendo en cuenta el alcance de esta investigación, solo se tendrá en cuenta el análisis y diseño de la cimentación que compete al modelo del edificio PARQUE SANTANDER.

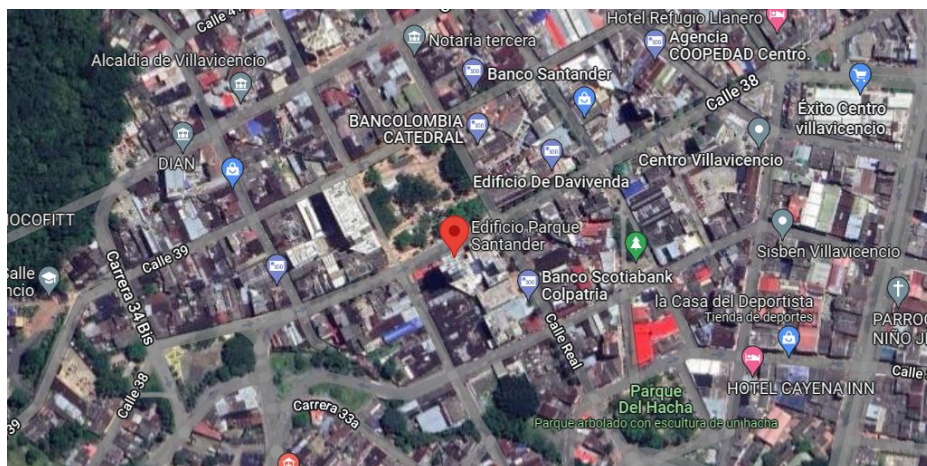
Consideraciones básicas utilizadas en el modelo matemático

- Característica de los materiales aplicados (resistencia, capacidad, ductilidad)
- Características del suelo (capacidad portante, profundidad, estructura)

11.1. Descripción general de la estructura

El edificio Parque Santander construido en el año 1975, localizado en la calle 38 # 32-41, ubicado en la comuna 2 en el centro de la ciudad de Villavicencio, Meta. El cual es objeto de estudio contando con 17 niveles y una azotea.

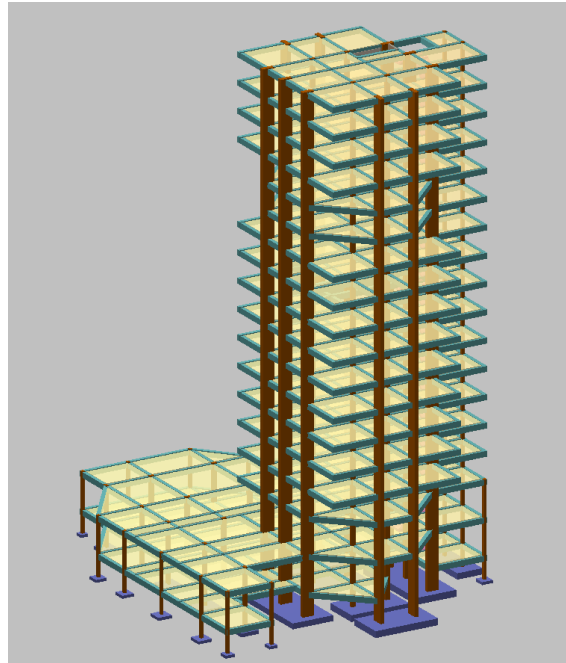
Figura 7. Imagen Satelital edificio Parque Santander



Nota: Adaptado de (Google Maps, 2022)

La estructura está diseñada para resistir cargas verticales y horizontales (sísmicas, vientos y cargas muertas) siendo un sistema de tipo pórtico; en la siguiente ilustración se comprueba el sistema de vigas y columnas diseñadas para zonas de amenaza sísmica alta.

Figura 8. Modelo edificio PARQUE SANTANDER



Nota: (Linares, 2022)

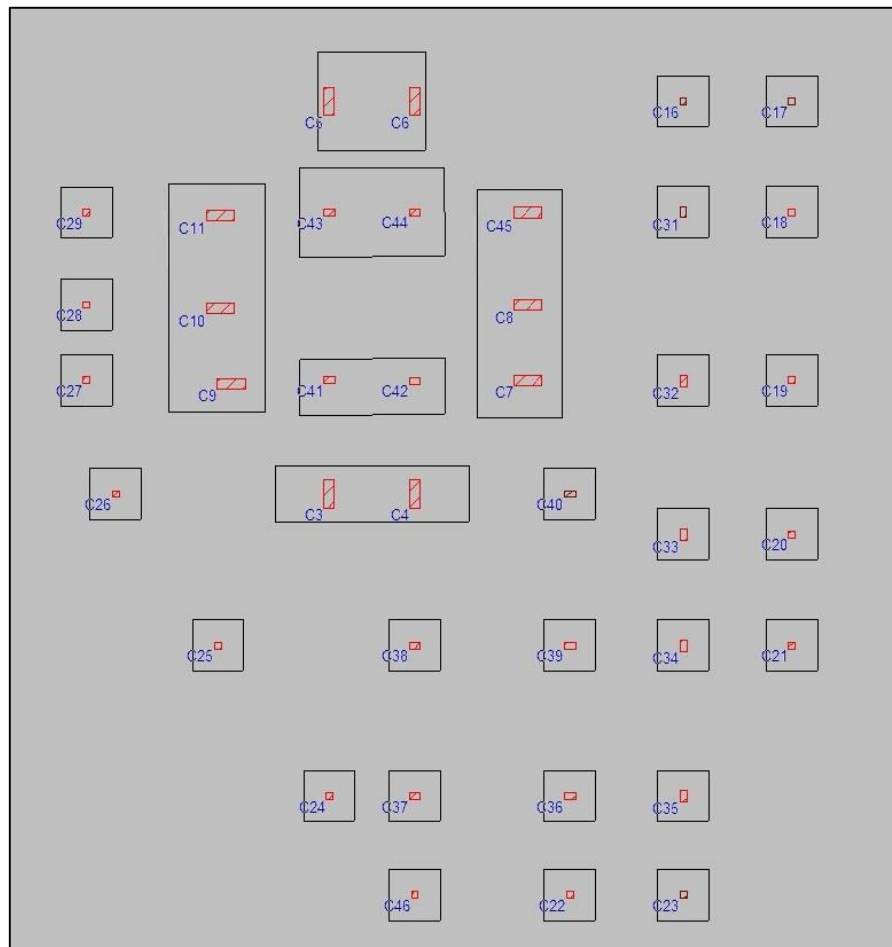
11.2. Solicitud de planos arquitectónicos

Se solicitaron los planos a la curaduría urbana segunda de la ciudad de Villavicencio, se envió la solicitud (Anexo 1) con la finalidad de que tuvieran los planos arquitectónicos del edificio, y se recibió respuesta desfavorable (Anexo 2). Por lo tanto, se tomaron unos planos existentes digitales los cuales que por medio del marco FODEIN fueron solicitados ante la administración del edificio.

11.3. Modelo matemático del edificio Parque Santander

Para el modelo matemático para la cimentación se usó el programa llamado CYPECAD 2018.m a partir del modelo desarrollado para la edificación ubicando cada zapata de la siguiente forma.

Figura 9. Vista en planta de la cimentación



Nota: (CYPECAD, 2018)

11.3.1. Datos de entrada

Para desarrollar el modelo matemático se ingresaron los datos requeridos con la información existente en el software CYPECAD, como lo son las características del concreto, los perfiles de acero requeridos por norma, las acciones de carga y sobre carga de uso asignando la normativa sismorresistente colombiana NSR-10 además de los coeficientes de pandeo.

Figura 10. Datos de ingreso 1

Datos generales

Clave: **Modelo Edificio Parque Santander Cype JR**

Descripción: **Modelo Edificio Parque Santander Cype JR**

Normas: **ACI 318M-08, AISI S100-2007 (LRFD), ANSI/AISC 360-05 (LRFD), CTE DB SE-M, Eurocódigo 9 y Cimenta...**

Hormigón armado

Hormigón

Forjados: **f_c=210**

Cimentación: **f_c=210**

Pilares: **f_c=210**

Muros: **f_c=210**

Características del árido: **15 mm**

Acero

Barras: **Grade 60**

Pernos: **A-307**

Perfiles

Acero

Laminados y armados: **A36**

Conformados: **ASTM A 36 36 ksi**

Madera

Vigas: **C24** - Viguetas: **C24** - Estructuras 3D: **C24**

Aluminio extruido

EN AW-5083 - F

Acciones

☒ Carga permanente y sobrecarga de uso

☐ Con acción de viento

☒ Con acción sísmica **NSR-10 (Colombia)**

Criterio de armado por ductilidad: **Especial (DES)**

Elementos constructivos: **No se consideran**

☐ Comprobar resistencia al fuego

Estados límite (combinaciones):

Hipótesis adicionales (cargas especiales):

Coefficientes de pandeo

Pilares de hormigón y mixtos

bx **1.000** **by** **1.000**

Pilares de acero

bx **1.000** **by** **1.000**

Aceptar

Nota: Autor, modelado en (CYPECAD, 2018)

El modelo evalúa situaciones sísmicas y situaciones persistentes según las capacidades y vibraciones de la estructura las cuales pueden afectar al suelo. Teniendo en cuenta el estudio geotécnico realizado anteriormente se ingresaron los datos de las características mecánicas del suelo además del material con el cual está conformado el estrato donde descansara la cimentación en el área en donde se encuentra la estructura objetivo de estudio.

Figura 11. Valores de las capacidades del suelo

Elementos de cimentación con vinculación exterior

Terreno de cimentación

☐ Verificar deslizamiento de zapatas

Adherencia (a'): **0.000** kp/cm²

Ángulo de rozamiento terreno-zapata (d'): **36.00** grados

Situaciones persistentes: **3.00** kp/cm²

Situaciones sísmicas y accidentales: **4.50** kp/cm²

☐ Considerar combinaciones con viento

☐ Considerar combinaciones con sismo

Aceptar **Cancelar**

Nota: Autor, modelado en (CYPECAD, 2018)

Figura 12. Material ingresado

Importar valores usuales de proyecto		
Tipo de terreno	S1 (kp/cm ²)	S2 (kp/cm ²)
Grava	3.00	4.50
Arena densa	2.50	3.75
Arena semidensa	2.00	3.00
Arena suelta	1.00	1.50
Limo	1.20	1.80
Arcilla dura	2.50	3.75
Arcilla semidura	1.50	2.25
Arcilla blanda	1.00	1.50

Nota: Autor, modelado en (CYPECAD, 2018)

Para el desarrollo normativo del modelo matemático se tuvo en cuenta que se aplicó la norma sismorresistente colombiana NSR-10, así mismo el software ingreso los valores por normativa además de haber ingresado manualmente la altura de la estructura, el tipo de edificación.

Figura 13. Normativa utilizada en el modelo

Normativa para el cálculo de la acción sísmica

☒ NSR-10 ☐ NSR98

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (2010)

☒ Acción sísmica según X ☒ Acción sísmica según Y

Método de análisis

☐ Dinámico (modal espectral) ☒ Estático (fuerza lateral equivalente)

Definición del espectro

☒ Según norma

☐ Especificado por el usuario

Parámetros de cálculo	Sistema estructural
Fracción de sobrecarga de uso	Coefficiente de disipación de energía básico (X) 5.00
Fracción de sobrecarga de nieve	Coefficiente de disipación de energía básico (Y) 5.00
Factor multiplicador del espectro	Coefficiente de irregularidad en altura 0.90
	Coefficiente de irregularidad en planta 0.90
	Coefficiente por ausencia de redundancia (X) 0.75
	Coefficiente por ausencia de redundancia (Y) 0.75

Estimación del periodo fundamental de la estructura

☒ Según norma

☐ Especificado por el usuario

Altura del edificio 51.30 m

Tipología estructural (X) ☒ I ☐ II ☐ III ☐ IV

Tipología estructural (Y) ☒ I ☐ II ☐ III ☐ IV

Zona sísmica

☐ Bogotá, D.C.

☐ Cali (2005)

☐ Cali (2014)

☐ Pereira

☒ Resto del territorio

Caracterización del emplazamiento

Velocidad media de onda de cortante (vs) = 180.00 m/s Edición de estratos

Aceleración horizontal pico efectiva (Ae) 0.350

Velocidad horizontal pico efectiva (Vp) 0.300

☐ Aplicar reducción a todos los modos excepto al modo fundamental

Tipo de edificación

☐ IV ☐ III ☒ II ☐ I

Estructuras de ocupación normal

Todas las edificaciones no incluidas en los Grupos II, III y IV.

Nota: Autor, modelado en (CYPECAD, 2018)

Según el estudio geotécnico indica que el perfil estudiado se refiere a un tipo de perfil de suelo D dentro del parámetro de diseño del programa, obteniendo una v_s (velocidad media de la onda de corte) de $360 > v_s \geq 180$ m/S

Figura 14. Cortante basal según el tipo de perfil del suelo

Caracterización del emplazamiento

El tipo de perfil del suelo se define en base a la velocidad media de la onda cortante (v_s) de los estratos que forman los 30 m superiores del terreno. La velocidad media se obtiene según el apartado A.2.4.3.1 del Reglamento. En función de dicho parámetro, los tipos de perfil de suelo considerados son los siguientes (véase tabla A.2.4-1):

Tipo de perfil de suelo	Descripción	Definición
A	Roca competente	$v_s \geq 1500$ m/s
B	Roca de rigidez media	$1500 > v_s \geq 760$ m/s
C	Suelos muy densos o roca blanda	$760 > v_s \geq 360$ m/s
D	Suelos rígidos	$360 > v_s \geq 180$ m/s
E	Suelos que cumplan con el criterio	$v_s < 180$ m/s

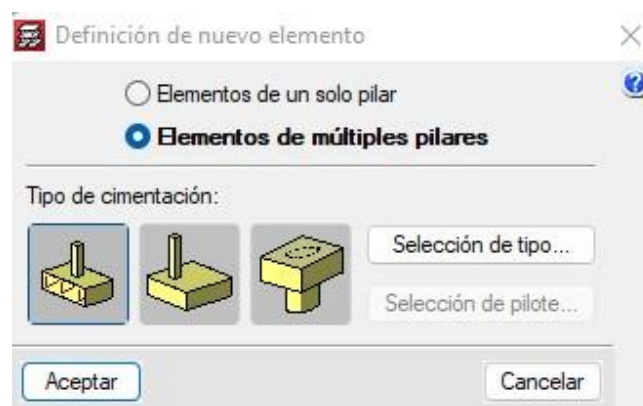
Nota: Autor, modelado en (CYPECAD, 2018)

12. Análisis y diseño de la cimentación

Para el diseño del modelo de la cimentación se tuvo en cuenta dos tipos de zapatas.

Para las zapatas de selección 1 a 6 se tuvo en cuenta el tipo de cimentación – zapatas rectangulares centradas con dos o tres columnas.

Figura 15. zapata centrada con dos o tres columnas



Nota: Autor, modelado en (CYPECAD, 2018)

Para las zapatas de selección 7 se tuvo en cuenta el tipo de cimentación – zapatas rectangulares centradas de una sola columna.

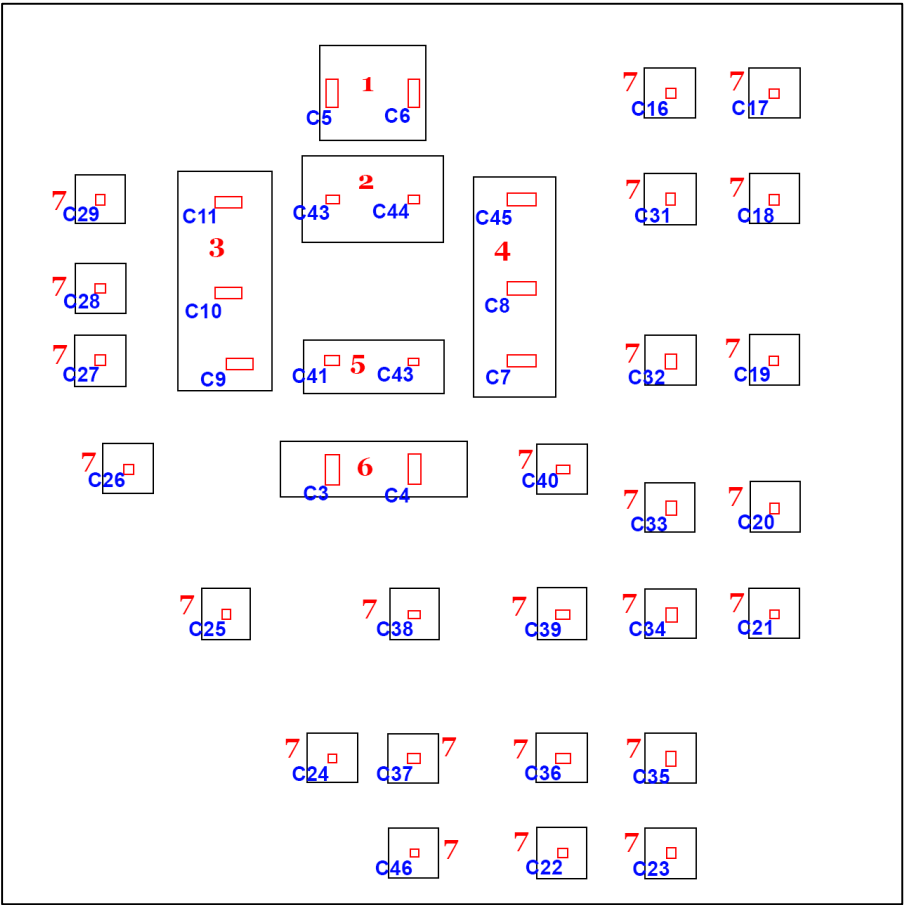
Figura 16. zapata centrada con una columna



Nota: Autor, modelado en (CYPECAD, 2018)

Para la selección en orden de las zapatas, vista en planta como lo indica en la siguiente ilustración y tabla.

Figura 17. Vista en planta de la cimentación con selección tipo de zapatas



Nota: (CYPECAD, 2018)

Tabla 11. Tablas unificadas Id zapatas respecto a su tipo

ID zapata	Tipo zapata
C5	1
C6	
C43	2
C44	
C9	3
C10	
C11	
C45	4
C8	
C7	
C41	5
C42	
C3	6
C4	

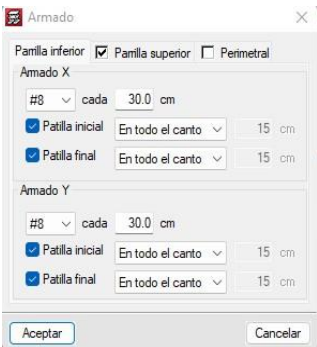
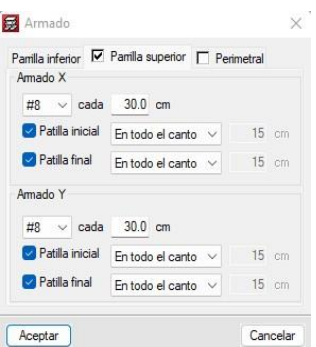
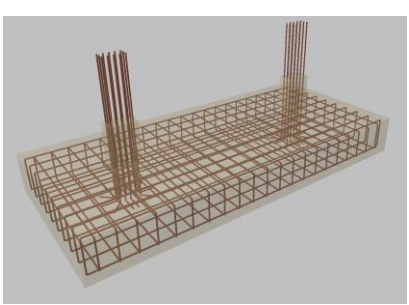
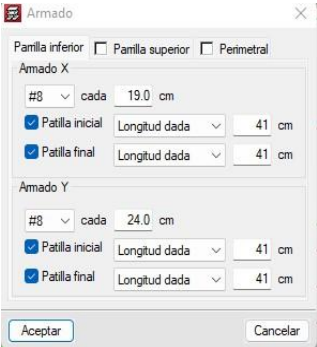
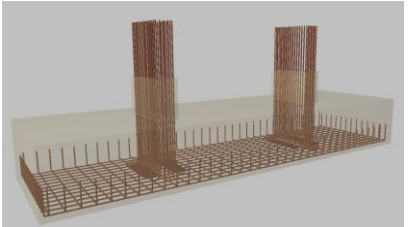
ID zapata	Tipo zapata
C46	7
C40	
C39	
C38	
C37	
C36	
C35	
C34	
C33	
C32	
C31	
C29	
C28	
C27	
C26	
C25	
C24	
C23	
C22	
C21	
C20	
C19	
C18	
C17	
C16	

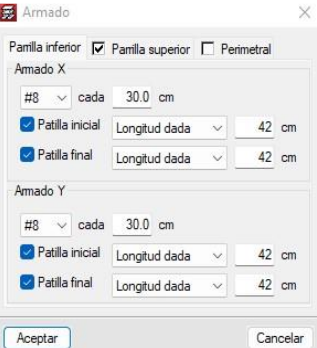
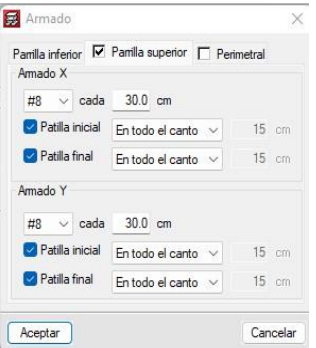
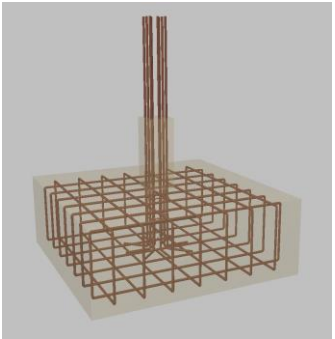
Nota: Autor, adaptado de (CYPECAD, 2018)

Tabla 12. Tipo zapata con su respectivo armado

TIPO ZAPATA	Armado inferior de acero para la zapata	Armado superior de acero para la zapata	Vista 3d zapata
1			
2			
3			
4			

Tabla 12. Continuación

TIPO ZAPATA	Armado inferior de acero para la zapata	Armado superior de acero para la zapata	Vista 3d zapata
5			
6		No requiere	

TIPO ZAPATA	Armado inferior de acero para la zapata	Armado superior de acero para la zapata	Vista 3d zapata
7			

Nota: Autor, adaptado de (CYPECAD, 2018)

Luego de haber obtenido los valores respectivos para el diseño supuesto de la cimentación, como lo son el armado de aceros superior e inferior, dimensiones de zapatas, aplicación y comprobación de diseños según NSR-10 ver Anexos (3 al 9). El software establece la compatibilidad de deformaciones en todos los nudos, considerando 6 grados de libertad, y se crea la hipótesis de informe del plano en cada planta, para así simular el comportamiento

rígido del forjado, impidiendo los desplazamientos relativos entre nudos del mismo diafragma rígido, como también Se implementaron la obtención de los esfuerzos sísmicos de acuerdo a la norma sismorresistente colombiana NSR98-NSR10.

Hay que tener claro el concepto de cimentación como lo es en este caso como una zapata aislada o encepado sobre pilotes, siendo un sólido rígido con un apoyo en el centro. (CYPE INGENIEROS SA, 2018)

13. Conclusiones

De acuerdo con los estudios desarrollados anteriormente en la zona objetivo y en el edificio PARQUE SANTANDER, claramente teniendo en cuenta los requisitos y parámetros solicitados en la normativa colombiana sismorresistente del año 2010 NSR-10, se concluye que:

- Se logró identificar el tipo de suelo existente en la zona de estudio (comuna 2, Villavicencio, Meta) siendo este de gran ayuda para la modelación de la cimentación supuesta para la edificación.
- Realizados los sondeos a 2,5 metros de profundidad en la zona objetivo de estudio, siendo determinada según la NSR-10 como una zona sísmica alta, se obtuvo un valor de asentamiento de 1,16 cm lo cual indica que se encuentra dentro de los asentamientos tolerables de construcción, ya que se encuentra inferior a <2.5 cm.
- No se encontró nivel freático en la zona donde se realizó el sondeo, se recalca que estas perforaciones se realizaron en el mes de Julio del año 2021, época seca en la ciudad.
- Teniendo en cuenta los antecedentes revisados de la zona de estudio, la amenaza sísmica en la que se encuentra es alta, puesto que los espectros indicativos de respuesta sísmica tendrán una máxima aceleración espectral de 0.8 (g) para un periodo de 0.55 segundos, lo que la hace más vulnerable.
- Para el desarrollo de la modelación, se solicitaron planos arquitectónicos, a pesar de la edad de construcción del edificio PARQUE SANTANDER, se logró conseguir información digital que contenía planos que sirvieron de insumo para realizar el modelo.
- El uso del software CYPECAD 2018, permite construir la estructura digitalmente con el objetivo de simular eventos sísmicos y así poder verificar los elementos estructurales si cumplen o no los requerimientos.

14. Referencias bibliográficas

- Alcaldia de Villavicencio. (2022). Informacion del municipio. Obtenido de <http://historico.villavicencio.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Chicangana Montón, G., & Vargas Jiménez, C. (2010). Obtenido de La sociedad frente a la gestión del riesgo: caso sobre la amenaza sísmica en la ciudad de Villavicencio: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=349632021008>
- Cype Ingenieros SA. (2018). Cype software para arquitectura, ingeniería y construcción. (version 2018.m) [Software]. CYPE Ingenieros, S.A. <http://www.cype.es/cypeingenieros/>
- Das, B. M. (2013). Fundamentos de ingeniería geotécnica. (4ta ed.) Cengage Learning.
- García Socha J.F., Rozo Ávila J.D. (2020). Obtenido de Aplicación de temas de ingeniería civil evaluación de vulnerabilidad sísmica y diagnóstico de patología estructural en el municipio de Villavicencio, caso de estudio: edificio la voz del llano. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/21864/2020jeffersongarcia?sequence=13&isAllowed=y>
- Gelvis, C. E. (2019). Microzonificación sísmica de la ciudad de Villavicencio. [Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/12297/1/2019_microzonificaci%C3%B3n_sismica_ciudad.pdf
- Google Maps. (Noviembre de 2022). Ubicación edificio Parque Santander. [Mapa]. <https://www.google.com/maps/place/Edificio+Parque+Santander/@4.1510693,-73.6402162,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1sox8e3e2de588375d17:oxfob9fb1447ec11bf!8m2!3d4.1510693!4d-73.6380275?hl=es>
- Incontech. (2020). estudio de suelos parqueadero bolivar. Villavicencio: incontech sas.
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. (2016). IDEAM. Obtenido de <https://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- Instituto de turismo de villavicencio. (2021). Nuestra ciudad. Obtenido de <https://turismovillavicencio.gov.co/web/nuestra-ciudad/>
- Linares, J. E. (2022). Propuesta de reforzamiento estructural con fibra de carbono edificio parque santander. Villavicencio. [Tesis no publicada]

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Norma sismoresistente Colombiana. (NSR-10)
https://www.andi.com.co/Uploads/Reglamento_colombiano_construccion_sismo_resistente_636536179523160220.pdf
- Otero, J. D. (2022). Estudio de patología y vulnerabilidad estructural. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/44027/2022juangutierrez.pdf?sequence=15&isAllowed=y>
- Perez Rodriguez J.F., Lopez Parrado C.A. (2021). Obtenido de Análisis de vulnerabilidad sísmica y valoración de patologías. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/42557/2021juanperez.pdf?sequence=13&isAllowed=y>
- Ramos, A., & Alfaro, A. (2000). Fuentes sismogénicas y deslizamientos en Villavicencio para la microzonificación sísmica. Revista Ingeniería y universidad, Pontificia Universidad Javeriana, 42-51.
<https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/iyu/article/view/34037/25775>
- Sánchez García K.V., Ospina Cárdenas S. (2019). Obtenido de Diagnóstico y evaluación de vulnerabilidad sísmica para construcción patrimonial en la ciudad de Villavicencio, caso de estudio: edificio nacional (Dian). [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás].
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/16705/2019sergioospina.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- TOPO3. (2018). TOPO 3 Software educativo. (version 3) [Software]. Namtrik Development. Obtenido de <https://www.topo3.com/>

15. Anexos

Anexo 1 – *Solicitud planos estructurales*

Anexo 2 – *Respuesta curaduría*

Anexo 3 – *Comprobación zapata tipo 1*

Anexo 4 – *Comprobación zapata tipo 2*

Anexo 5 – *Comprobación zapata tipo 3*

Anexo 6 – *Comprobación zapata tipo 4*

Anexo 7 – *Comprobación zapata tipo 5*

Anexo 8 – *Comprobación zapata tipo 6*

Anexo 9 – *Comprobación zapata tipo 7*

Anexo 10 – *Informe geotécnico*

Anexo 11 – *Despiece de las zapatas tipo 1-7*