



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
SEDE VILLAVICENCIO

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES 1704

**ACREDITACIÓN
INSTITUCIONAL
DE ALTA CALIDAD
MULTICAMPUS**

Res. MEN No. 01456 del 29 de enero de 2016
Vigencia por seis años

Estudio Geotécnico, planimétrico y altimétrico



**Proyecto: DISEÑO ESTRUCTURAL E HIDROSANITARIO
DE UN SALÓN POLIFUNCIONAL PARA EL BARRIO
NUEVA JERUSALEN**

PRESENTADO A

Ing. Oscar Felipe Sáenz Pardo.

AUTORES:

Johann Leonardo Franco Vargas
Welman Andrés Díaz Ríos



TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1. Generalidades	7
1.1. introduccion	7
1.2. ESTUDIO GEOTECNICO	7
1.3. obligatoriedad de los estudios	7
1.3.1. Firma de los estudios	7
1.3.2. Cumplimiento y responsabilidad	8
1.4. normatividad	8
1.5. objetivos	8
1.6. alcance	9
Capítulo 2. características físicas	10
2.1. LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS DEL PROYECTO	10
2.1.1. Macro localización.	10
2.1.2. Micro localización	10
2.1.3. Descripción del lote	11
2.1.4. Construcciones y áreas vecinas	13
2.1.5. Características físicas y ambientales	14
2.1.6. Nivel freático	15
2.1.7. Descripción del proyecto.	15
capítulo 3. Geología	17
3.1. localizacion geografica y astronomica	17
3.2. hidrografia	18
3.3. geologia y estratigrafia	19
capitulo 4. investigaciones planimetricas, altimetricas y geotecnicas	22
4.1. criterios utilizados	22
4.2. tecnicas utilizadas	22
4.3. descripcion	22
4.3.1. planimetría y altimetría	22
4.3.2. geotecnia	28
capitulo 5. sismicidad	31
5.1. antecedentes	31
5.2. registro sismologico	32
5.3. AMENAZA SISMICA según LA NORMA SISMO RESISTENTE COLOMBIANA (NSR-10)	33



5.3.1. movimientos sísmicos de diseño	33
5.3.2. clasificación del perfil del suelo	36
5.3.3. coeficiente del suelo para periodos cortos del espectro	37
5.3.4. Coeficiente del suelo para periodos medios del espectro	37
5.3.5. Coeficiente de importancia	38
5.3.6. Espectro de diseño	39
capítulo 6. parametros del diseño	42
6.1. planimetria y altimetria	42
6.2 Perfil del terreno	45
6.3. granulometria	47
6.3.1. Sondeo 1	47
6.3.2. Sondeo 2	49
6.3.3. Sondeo 3	51
6.4. limite liquido	53
6.4.1. Sondeo 1.	54
6.4.2. Sondeo 2.	55
6.4.3. Sondeo 3	57
6.5 limite plastico	58
6.5.1. Sondeo 1	58
6.5.2. Sondeo 2	59
6.5.3. Sondeo 3	59
6.6. resumen de datos	60
6.7. peso unitario del suelo	61
6.5. angulo de friccion interna	62
6.6 cohesion	62
capítulo 7. analisis geotecnico	63
7.1. cimentaciones	63
7.1.1. parametros del suelo	63
7.1.2. Cálculos	67
Referencias	71



TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Macro localización.....</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 2. Micro localización.....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 3. Dimensiones y forma del lote de estudio</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 4. resumen del clima.....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 5. Temperatura máxima y mínima promedio.....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 6. probabilidad diaria de precipitación.....</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 7. posición geográfica y localización astronómica del Meta.....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 8. Hidrografía del Meta.....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 9. sistema de fallas de Villavicencio.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 10. Mapa geológico local de la región en la cual se asienta el área urbana de Villavicencio</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 11. estación topcon gts 250.....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 12. Clasificación de las unidades de construcción por categorías.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 15. equipo de limite liquido con muestra de suelo dividida</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 16. Ubicación de Villavicencio y sus principales fallas.....</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 17. Sismicidad Histórica.....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 18. Mapa del registro sismológico instrumental del lapso de 1997-2007 del Piedemonte Llanero</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 19. Valor de Aa y Av para las ciudades capitales de departamento</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 20. Mapa de valores de Aa</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 21. Mapa de valores de Av</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 22. Clasificación de los perfiles del suelo.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 23. Coeficiente Fa para zonas de periodos cortos del espectro</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 24. Coeficiente Fv para zonas de periodos intermedios del espectro</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 25. valores del coeficiente de importancia según el uso.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 26. Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 28. cazuela de Casagrande</i>	<i>53</i>



Tabla 1. Puntos tomados en el estudio planimétrico	24
Tabla 2. sondeos realizados.....	28
Tabla 3. parámetros de diseño del espectro de aceleración	40
Tabla 4. coordenadas de los puntos de localización de la estación	42
Tabla 5. coordenadas del pozo de recolección de aguas	43
Tabla 6. coordenadas de la vía	43
Tabla 7. localización de los bordes peatonales del lote	43
Tabla 8. localización de los linderos del lote	43
Tabla 9. localización de los bordes del lote	44
Tabla 10 coordenadas de los puntos internos del lote	44
Tabla 11. Granulometría muestra 1 - sondeo 1.....	47
Tabla 12. Granulometría muestra 2 - sondeo 1.....	48
Tabla 13. Granulometría muestra 1 - sondeo 2.....	49
Tabla 14. Granulometría muestra 2 - sondeo 2.....	50
Tabla 15. Granulometría muestra 1 - sondeo 3.....	51
Tabla 16. Granulometría muestra 2 - sondeo 3.....	52
Tabla 17. Datos para el límite líquido Muestra 1 – sondeo 1.....	54
Tabla 18. Datos para el límite líquido Muestra 1 – sondeo 2.....	55
Tabla 19 Datos para el límite líquido Muestra 1 – sondeo 2.....	56
Tabla 20. Datos para el límite líquido Muestra 1 – sondeo 2.....	57
Tabla 21. Datos para el límite líquido sondeo 1 muestra 1.....	58
Tabla 22. Datos para el límite líquido sondeo 2 muestra 1.....	59
Tabla 23. Datos para el límite líquido sondeo 2 muestra 1.....	59
Tabla 24. Datos para el límite líquido sondeo 3 muestra 1.....	59
Tabla 25. Resultados del sondeo 1	60
Tabla 26. Resultados del sondeo 2	60
Tabla 27. Resultados del sondeo 3	61
Tabla 28. Resultados del sondeo 3	62
Tabla 29. resultados correlaciones fricción según el tipo de suelo ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 30. resultados correlaciones cohesión según el tipo de suelo..... ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 31. parametros de diseño.....	63
Tabla 32. Factores de capacidad de carga	64
Tabla 20. Carga ejercida por el suelo..... ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 21. Factores de capacidad de carga	67
Tabla 22. Factores de forma	67
Tabla 23. Factores de inclinación.....	67



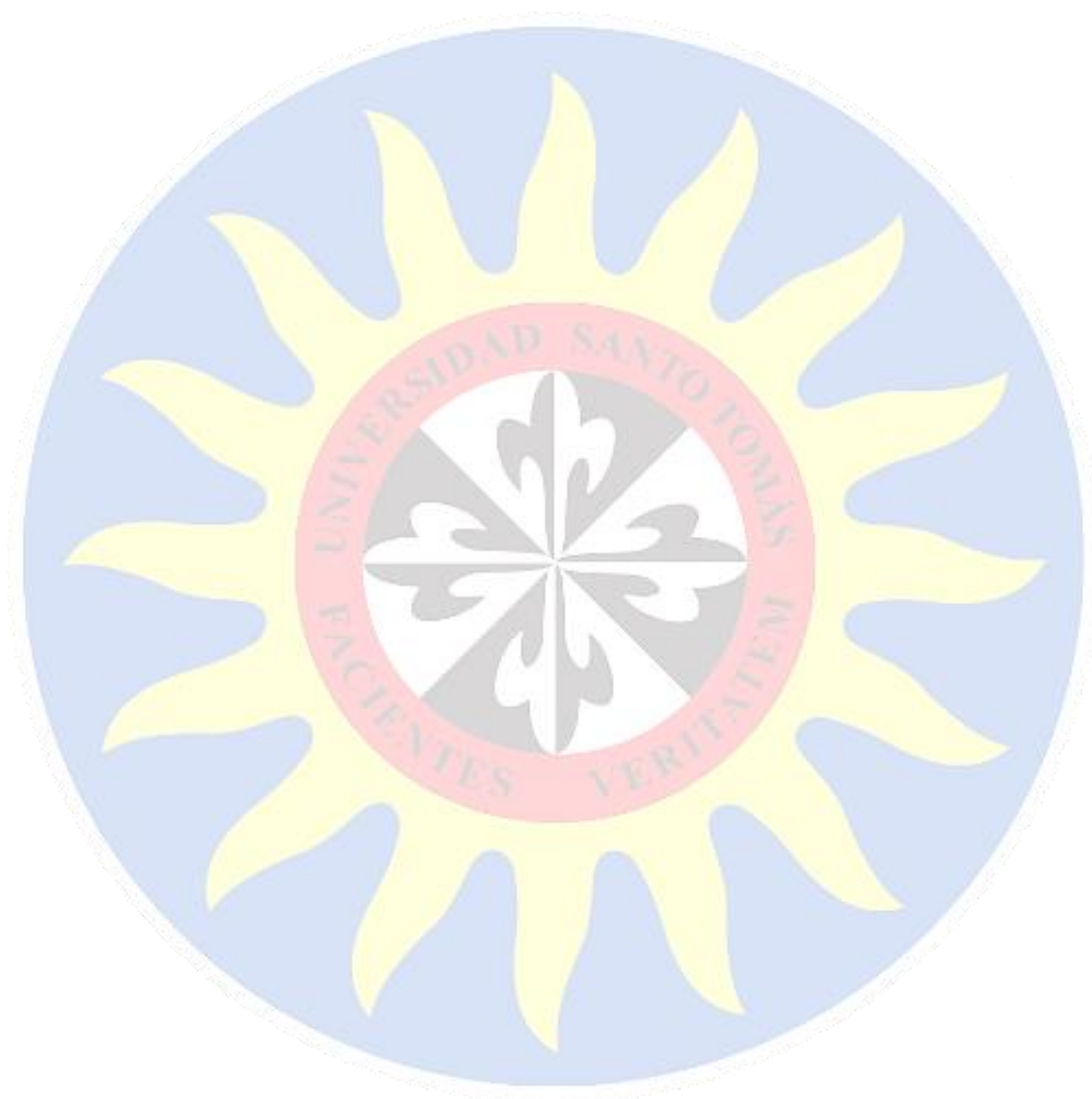
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
SEDE VILLAVICENCIO

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES 1704

**ACREDITACIÓN
INSTITUCIONAL
DE ALTA CALIDAD
MULTICAMPUS**

Res. MEN No. 01456 del 29 de enero de 2016

Vigencia por seis años





CAPITULO 1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCION

El estudio geotécnico presentado a continuación enuncia las características físicas, mecánicas y el comportamiento del suelo en donde se realizará el “Salón polifuncional” localizado en la calle 27 sur en el barrio Nueva Jerusalén en la ciudad de Villavicencio.

1.2. ESTUDIO GEOTECNICO

Se conoce como el conjunto de actividades conformadas por el reconocimiento en campo, la investigación del subsuelo, el análisis y recomendaciones necesarios para el diseño y construcción de todo tipo de estructura en contacto con el suelo, con la finalidad de garantizar que la edificación se comporte de manera adecuada para proteger la integridad de las personas, las vías y las construcciones vecinas. [1]

Para desarrollar el estudio geotécnico se realiza una investigación al subsuelo para conocer su origen geológico, mediante la exploración con perforación o apiques, junto con sus posteriores ensayos, pruebas en campo y de laboratorio, necesarios para identificar y clasificar el suelo que se estudia. [1]

1.3. OBLIGATORIEDAD DE LOS ESTUDIOS

Los estudios geotécnicos son obligatorios para todas las edificaciones urbanas y suburbanas de cualquier grupo de uso y para aquellas estructuras que se consideran no aptas para el uso urbano de los grupos de uso II, III y IV los cuales se encuentran determinados en el título A del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) [1]

1.3.1. Firma de los estudios

Basado en los artículos 26 y 27 de Ley 400 de 1997, modificada y adicionada por la Ley 1229 de 2008, los estudios geotécnicos realizados para definir las cimentaciones de las estructuras deben ser avalados por Ingenieros Civiles titulados, con matrícula en el COPNIA y tarjeta profesional vigente.

Para el acatamiento de este requerimiento los informes de los estudios geotécnicos y los planos de diseño y construcción relacionados con estos estudios, deben contar con el consentimiento del ingeniero director del estudio. Los profesionales que realicen estos estudios geotécnicos deben poseer una experiencia mayor de cinco (5) años en diseño geotécnico de cimentaciones, contados a partir de la expedición de la tarjeta profesional,



bajo la dirección de un profesional facultado para tal fin, o acreditar estudios de posgrado en geotecnia. [1]

1.3.2. Cumplimiento y responsabilidad

El cumplimiento de estas Normas no exime al ingeniero responsable de la ejecución del estudio geotécnico de realizar todas las investigaciones y análisis necesarios para la identificación de las amenazas geotécnicas, la adecuada caracterización del subsuelo, y los análisis de estabilidad de la edificación, construcciones vecinas e infraestructura existente. [1]

1.4. NORMATIVIDAD

La normatividad sobre la cual se rigen los estudios geotécnicos realizados en Colombia es la NSR-10 entre los cuales se consideran los títulos A (requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente) y el título H (estudios geotécnicos) en los cuales se definen los parámetros correspondientes al tipo de estructura, tipo de uso, el procedimiento y los ensayos correspondientes para precisar el suelo de estudio y sus propiedades.

La Norma Técnica Colombiana (NTC) y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM internacional) en la cual se definen los tipos de ensayos para suelos y su respectivo proceso, para uso del estudio se basan en las siguientes normas específicas:

- **NTC 1493-** Ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad.
- **NTC 1494** – Ensayo para determinar el límite líquido.
- **NTC 1495** – Ensayo para determinar el contenido de agua
- **NTC 1504** – Clasificación para propósitos de ingeniería
- **NTC 1522** – Ensayo para determinar la granulometría por tamizado
- **NTC 1667** - Determinación de la masa unitaria del terreno por el método del cono de arena.
- **NTC 1917** – Determinación de la resistencia al corte. Método de corte directo.

1.5. OBJETIVOS

- Definir el estado del lote en el cual se construirá en proyecto planteado
- Determinar los parámetros sísmicos, el perfil del suelo y los efectos locales para diseñar la estructura y su cimentación
- Identificar la problemática causada por la formación geológica, los materiales del suelo y la topografía
- Analizar la profundidad y el sistema de cimentación adecuado para las características de la estructura.



- Calcular la capacidad última de carga que soporta el suelo de cimentación.
- Obtener los parámetros requeridos para diseñar las cimentaciones y las estructuras de contención o reparación en caso de ser necesario.
- Recomendar las obras geotécnicas que se requieren para mitigar los efectos de los problemas geotécnicos identificados.
- Presentar recomendaciones geotécnicas para la construcción del proyecto y para la supervisión del mismo.

1.6. ALCANCE

Para realizar el estudio geotécnico se realizó una visita al sitio de estudio, donde se obtuvieron los aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrológicos y geotécnicos, además de otros sitios cercanos al área de influencia, obteniendo parámetros que son de utilidad para el diseño de la cimentación de la estructura y analizar la estabilidad general del lote. La eficacia de estos estudios puede verse reflejada en la etapa de construcción del lote, ya que allí podrían variar algunas condiciones, de aquí parte la tarea del geotecnista al revisar que lo planteado en el estudio corresponda a lo real en campo.

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 exige la supervisión técnica de un Ingeniero Geotecnista durante las etapas de construcción de las excavaciones, cimentaciones y estructuras de contención.



CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

2.1. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

2.1.1. Macro localización.

El lote donde se desarrollará el proyecto se encuentra localizado en el barrio Nueva Jerusalén del municipio de Villavicencio en el departamento del Meta.



Ilustración 1. Macro localización
Fuente: agencia de turismo Toda Colombia

2.1.2. Micro localización

El área en estudio se encuentra localizada en el Noroeste del Club Campestre del Llano en el barrio Nueva Jerusalén, en la calle 27 Sur. El lote está sin construir y actualmente está cubierto por pastos cortos y vegetación silvestre.

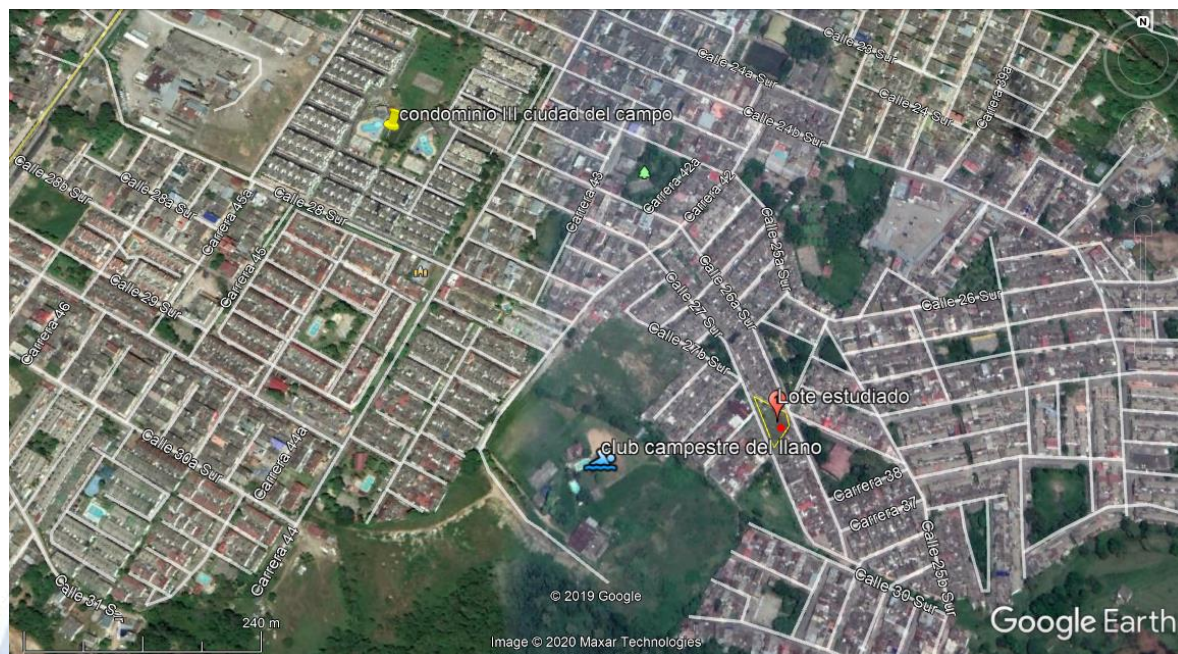


Ilustración 2. Micro localización
Fuente: Google Earth

2.1.3. Descripción del lote

- ❖ Forma del lote: Trapezoidal
- ❖ Dimensiones del lote: el respectivo amojonamiento del lote, como se evidencia en la ilustración 3 (plano topográfico del lote), es el siguiente: Parte del mojón 50 (M50) al mojón 51 (M51) con una longitud de **24,68 metros lineales**; del mojón 51 (M51) al mojón 52 (M52) en longitud de **16,87 metros lineales**; del mojón 52 (M52) al mojón 53 (M53) en una longitud de **19,69 metros lineales**; del mojón 53 (M53) al mojón 50 (M50) con una longitud de **51 metros lineales** y cierra.

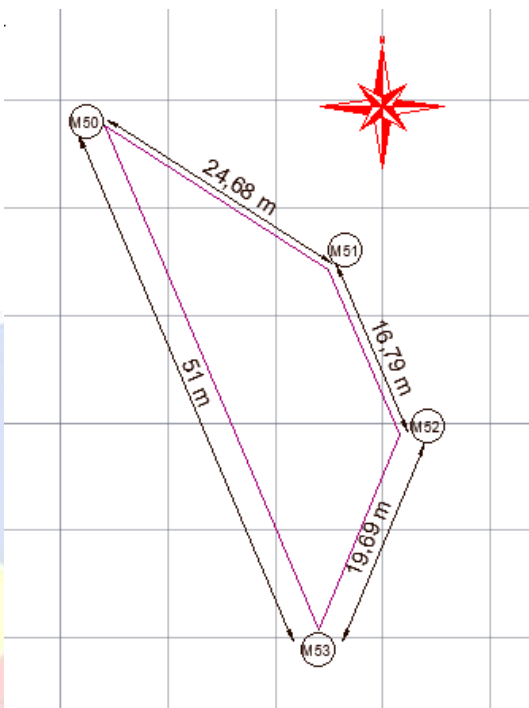
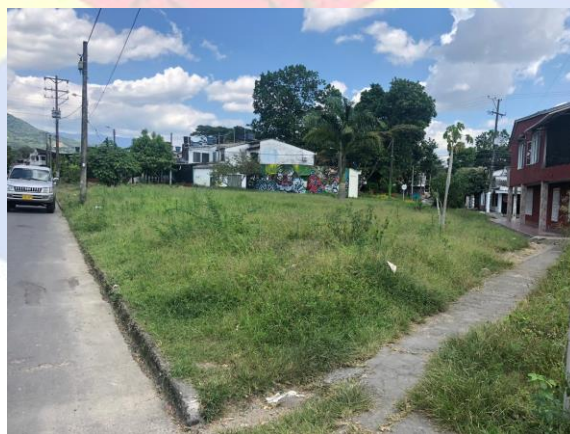


Ilustración 3. Dimensiones y forma del lote de estudio
Fuente: Autores

- ❖ Diferencia del nivel del lote:
- ❖ Área aproximada del lote de estudio: el lote tiene un área total aproximada de 475,75 m²



Fotografía 1. Vista Sur del lote de estudio
Fuente: Autores



Fotografía 2. vista Norte del lote de estudio
Fuente: Autores



Fotografía 3. vista lateral del lote de estudio
Fuente: Autores

2.1.4. Construcciones y áreas vecinas

Las áreas vecinas son las siguientes:

- ❖ Al norte: Vivienda familiar de un nivel
- ❖ Al sur: Vía proyectada que comunica el barrio Nueva Jerusalén con el barrio Guatapé; vivienda de 2 niveles, zona verde
- ❖ Al oriente: viviendas familiares de un nivel
- ❖ Al occidente: Vía Calle 27- sur



2.1.5. Características físicas y ambientales

❖ Clima

En Villavicencio se encuentran veranos cortos, muy calientes y parcialmente nublados y los inviernos son de corta duración, húmedos e intermitentes durante el año. La temperatura generalmente varía de 20° C a 32° C y muy pocas veces disminuye a menos de 16° C o aumenta más de 34° C. [2]

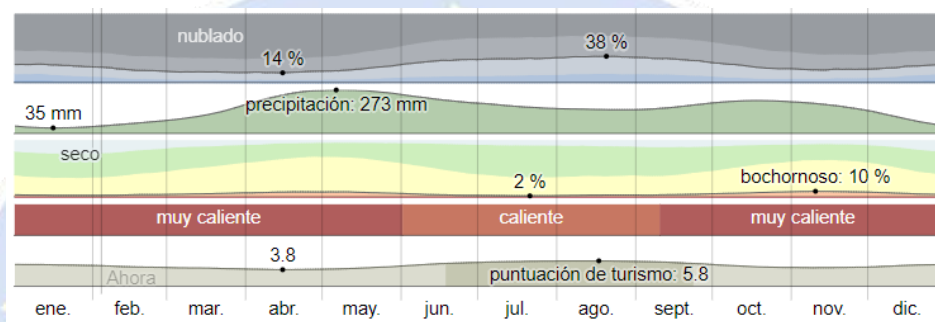


Ilustración 4. resumen del clima

Fuente: Weather Spark

❖ Temperatura

La temporada calurosa dura aproximadamente 3 meses que comprenden a partir del 4 de Enero y culminan el 31 de Marzo, con una temperatura máxima promedio diaria de $\pm 31^{\circ}\text{C}$

La temporada fresca dura alrededor de 3 meses desde el 12 de Junio al 28 de Agosto cuya temperatura máxima promedio diaria es de $\pm 29^{\circ}\text{C}$ [2]

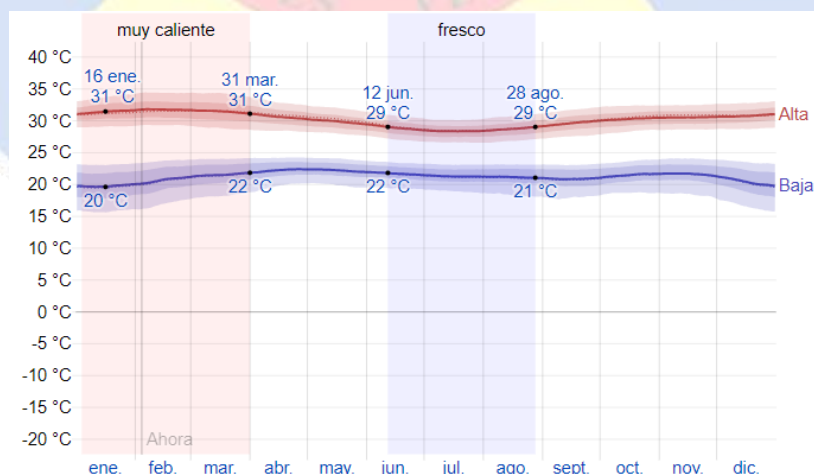


Ilustración 5. Temperatura máxima y mínima promedio

Fuente: Weather Spark



❖ Precipitación

La probabilidad de días mojados en Villavicencio presenta una variación considerable en el transcurso del año. Un día mojado es un día con mínimo 1 mm de precipitación. La temporada con más lluvia dura 8,6 meses desde el 18 de Marzo al 6 de Diciembre, en la cual existe una probabilidad de lluvia de más del 43%. La temporada seca dura 3,4 meses desde el 6 de Diciembre al 18 de Marzo cuya probabilidad de lluvia es del 15%. [2]

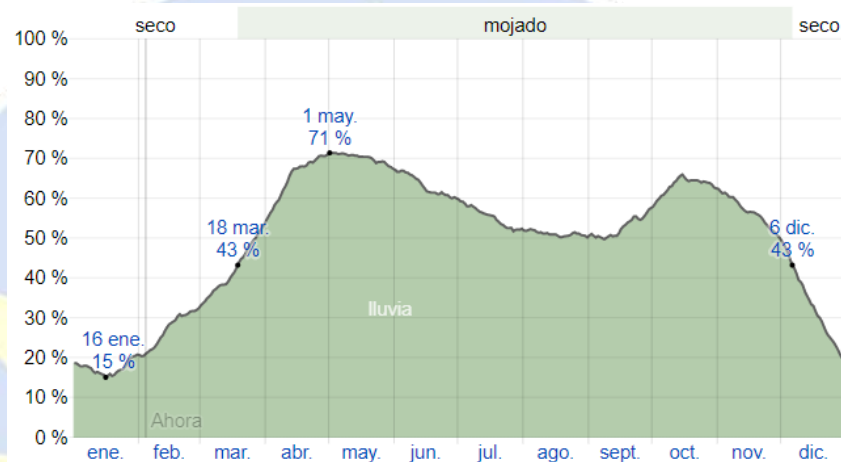


Ilustración 6. probabilidad diaria de precipitación
Fuente: Weather Spark

❖ Topografía

Para fines del informe las coordenadas geográficas de Villavicencio son Latitud: 4,142°, longitud: -73,627° y elevación promedio de 427 m

La topografía en un radio de 3 km de Villavicencio tiene variaciones muy grandes de altitud con cambios máximos de altitud 278 metros y una altitud promedio de 448 metros y el área está cubierta de superficies artificiales (52%), pradera (25%) y árboles (14%). [2]

2.1.6. Nivel freático

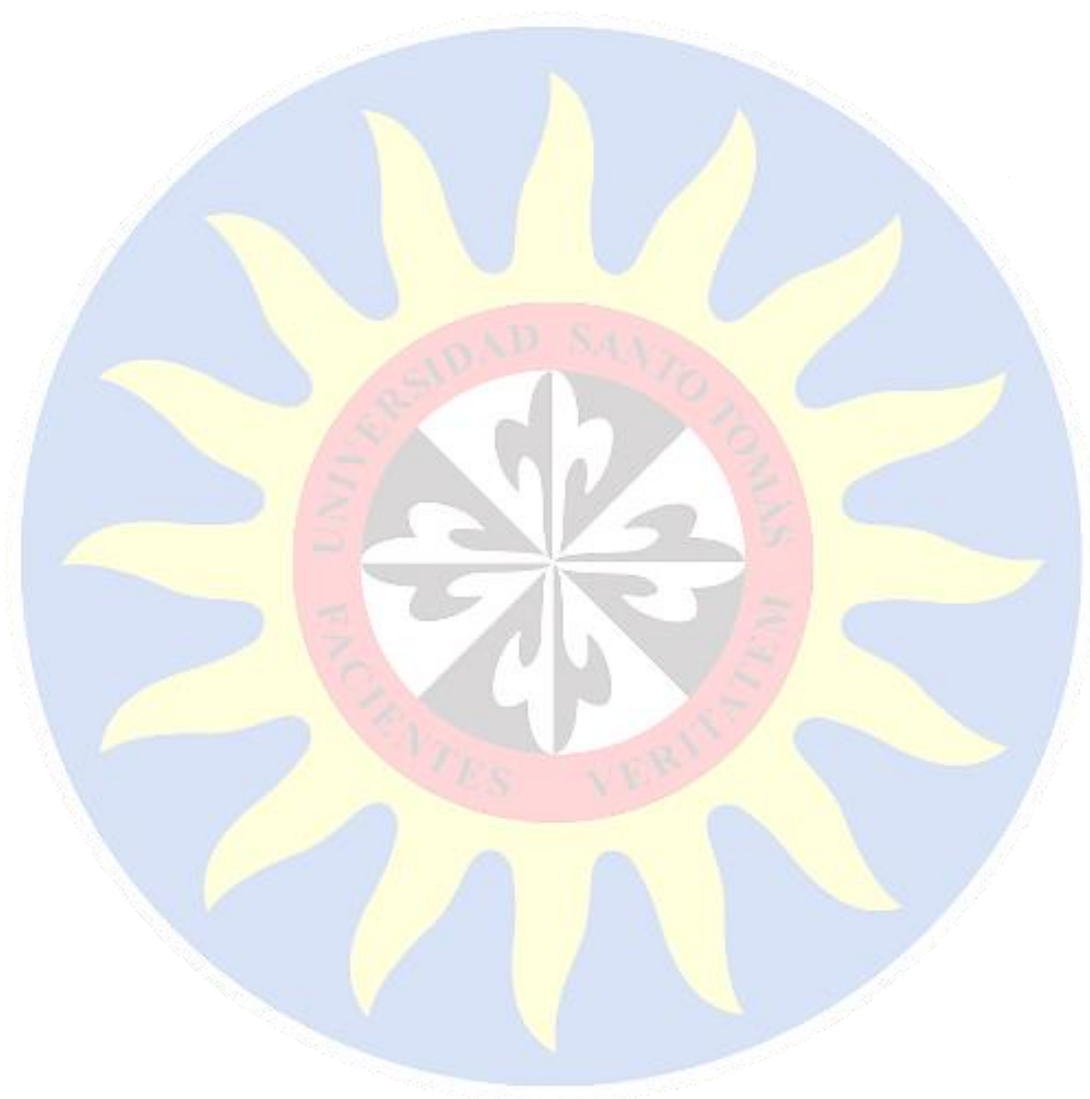
Al realizar los sondeos no se encuentra presencia de nivel freático

2.1.7. Descripción del proyecto.

Las características del proyecto suministradas por la comunidad son las siguientes:



- ❖ Número de unidades de construcción: 1
- ❖ Altura en niveles: 1
- ❖ Uso institucional como alojamiento para los niños de la comunidad abarcado por el Instituto de Bienestar Familiar y oficinas
- ❖ Altura entre pisos: 3,50 metros
- ❖ Categoría del proyecto según la NSR-10: baja





CAPITULO 3. GEOLOGIA

3.1. LOCALIZACION GEOGRAFICA Y ASTRONOMICA

El departamento del Meta se encuentra en la zona centro de Colombia, en la región de la Orinoquía. Comprende desde la divisoria de aguas de la cordillera oriental hasta las planicies de los Llanos Orientales, localizada en zona de baja latitud ecuatorial. Limita por el Norte con Cundinamarca y Casanare, por el sur con Guaviare y Caquetá, por el oriente con el Vichada y por el occidente con Huila y Cundinamarca. Se localiza geográficamente dentro de las coordenadas $1^{\circ} 39'$ a $4^{\circ} 53'$ de latitud al Norte del Ecuador y $71^{\circ} 05'$ a $74^{\circ} 58'$ de longitud al oeste del meridiano de Greenwich. El Meta dispone de una área de 85.635 km² que equivale a un 7,51% de la superficie del país. La conforman 28 municipios y su capital departamental el municipio de Villavicencio y centro económico, político y religioso más importante. Orográficamente se presentan dos grandes regiones las cuales son la región montañosa en el flanco oriental de la cordillera oriental y su piedemonte aledaño como la serranía de la Macarena. [3]

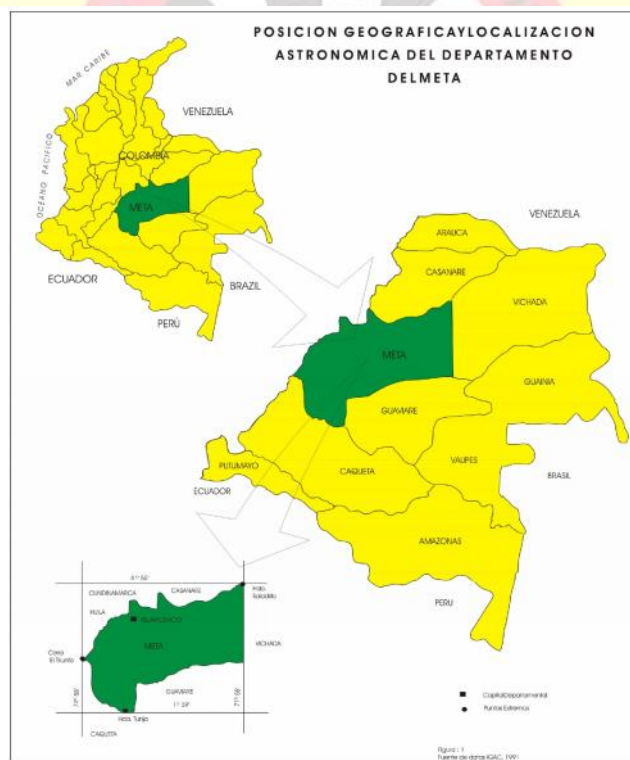


Ilustración 7. posición geográfica y localización astronómica del Meta
Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi



3.2. HIDROGRAFIA

En el norte del Meta convergen los ríos Blanco, Negro, Guatiquia, Humea y Metica, formando la subcuenca del Rio Meta ya que allí desembocan, en la subcuenca más importante de la zona, la cual capta el 60 % de las aguas superficiales. Hacia el Sur están las subcuencas del Ariari, Duda y Güejar, los cuales drenan la sierra de la Macarena la cual más adelante converge con el Ariari convirtiéndose en el Rio Guaviare, el cual atraviesa importantes áreas de bosques y zonas de alta colonización. Hacia el oriente se encuentran las subcuencas del Manacacias, Guarrojo, Muco y Plana.

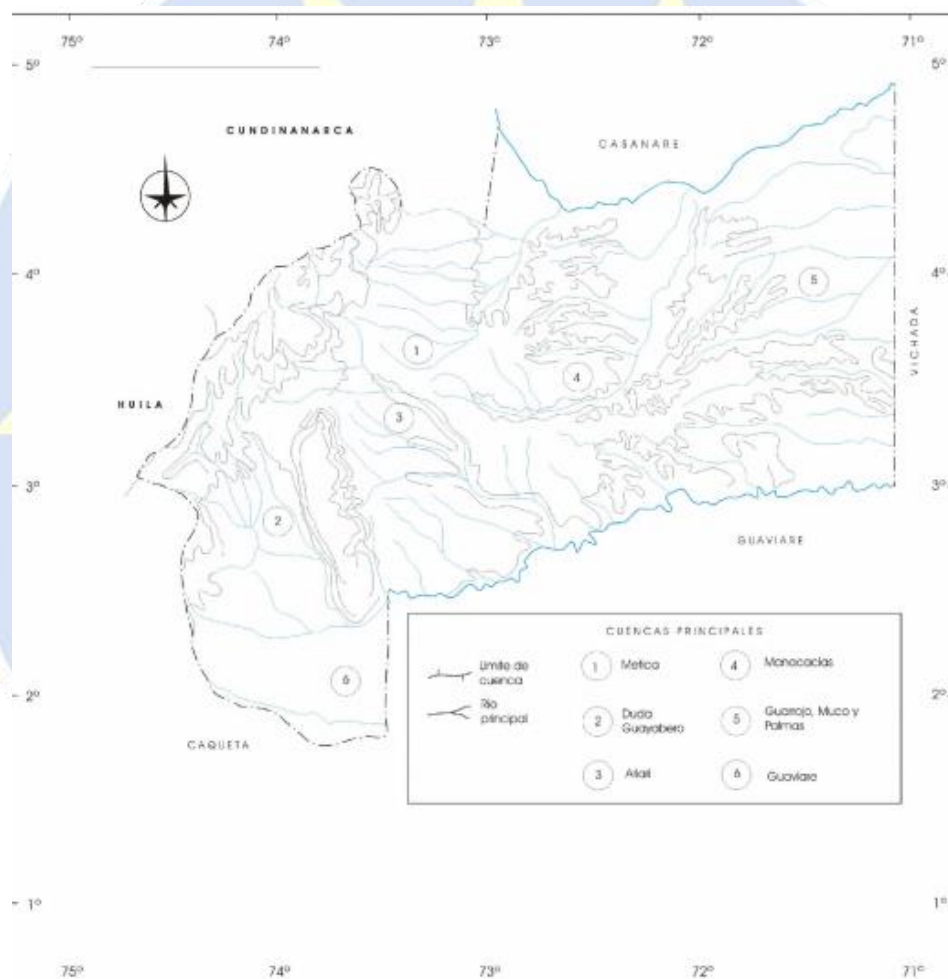


Ilustración 8. Hidrografía del Meta
Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi



3.3. GEOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

El departamento del Meta, más específicamente su capital, Villavicencio, se encuentra en la vertiente este de la cordillera oriental, la cual se encuentra constituida por esquistos metamórficos en forma de inclusiones entre lutitas y areniscas cretácicas. En la zona inferior se localizan depósitos terciarios y los aluviones de los ríos. Las rocas sedimentarias se encuentran plegadas y falladas a partir del levantamiento de la cordillera oriental durante el Mio-plioceno. Las colinas cercanas localizadas en la zona media y alta de las microcuencas de los caños Parrado, Gramalote, Maizaro y Buque, se encuentran fracturadas debido a dos fallas principales el piedemonte llanero, las cuales son la falla de Servitá-Restrepo y la falla Mirador-Restrepo con actividad neotectónica.

Dentro de las principales fallas se encuentran:

Falla de Servitá: Dirección de falla Norte-Oriente, tiene una zona de falla de 200 m con inclinación hacia el oriente. Continúa su trazo hacia el norte en el departamento de Boyacá. La zona de falla produce continuos deslizamientos de rocas hacia el cauce del río Upín lo que ha causado una amenaza de alto riesgo de inundaciones hacia las comunidades asentadas en sus riberas, e incluso para la zona urbana del municipio. [3]

Falla El Tabor: Dirección de falla Noreste-Sureste que corta de manera transversal los materiales metamórficos localizados en el macizo de Quetame y se adentra en los depósitos cuaternarios de los Llanos. [3]

Falla del Río Blanco: Dirección de falla suroeste-noreste lo cual funciona como control estructural al río blanco; se conforma de rocas del Cretácico, Lutitas de Pipiral y Capas Rojas del Guatiquía. [3]

Falla Río Grande: Dirección de falla Norte-Oeste, en la zona norte se encuentran rocas del Cretácico Inferior con metalimolitas del Quetame, y en la parte sur pone en contacto el Precámbrico del Grupo Farallones con las metamórficas del Grupo Quetame. [3]

Falla de Guaicáramo: Es considerada una de las mayores estructuras de cabalgamiento del borde llanero. Conocida como falla de Algeciras y contacta las unidades lito estratigráficas del macizo de Garzón con las del macizo de Quetame. Su mayor importancia anexo a su continuidad semi continental es la presencia de rasgos de actividad neotectónica en varias partes de su trazo y es considerada una falla de basamento con un componente vertical de movimiento de gran importancia. [3]



Falla de Villavicencio – Colepato: Es un sistema de fallas de poca longitud que van desde el Sur de la capital al Este, contactan las rocas de la formación Une, del cretácico inferior junto con la formación La Corneta 40 del Neógeno superior. Se consideran parte del sistema de fallas del borde llanero y es complemento de la falla de Guaicáramo [3]

El área urbana de Villavicencio se asienta sobre un gran abanico aluvial desarrollado durante el Plioceno, bajo el cual se encuentran las fallas mencionadas anteriormente, se presentan rocas sedimentarias y metamórficas. Las rocas más antiguas de la región pertenecen al complejo Quetame [4]

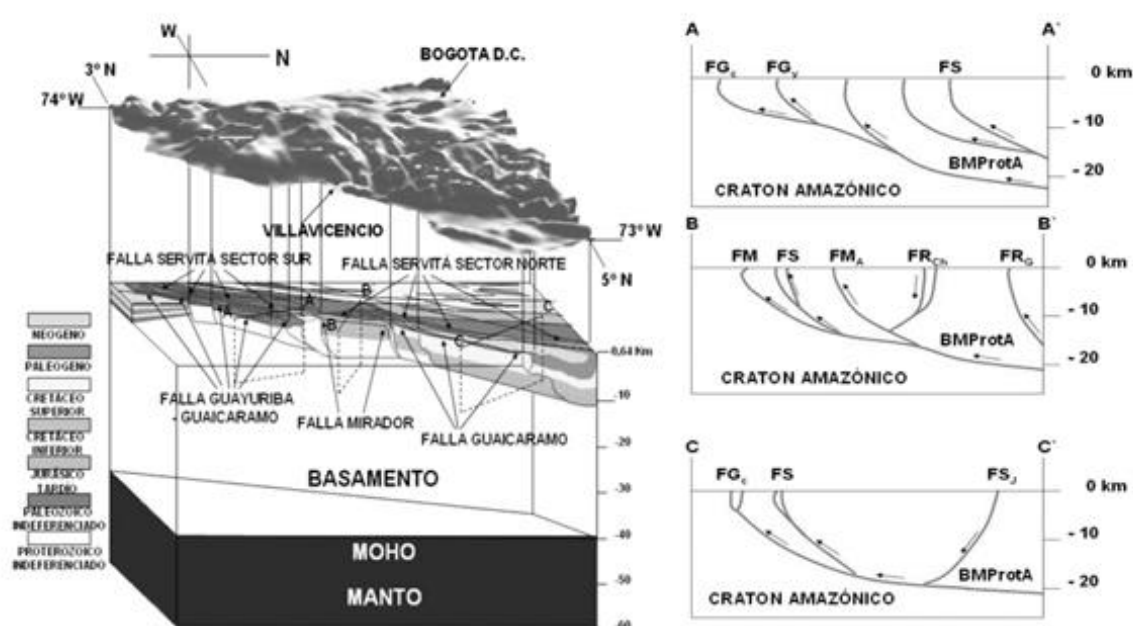
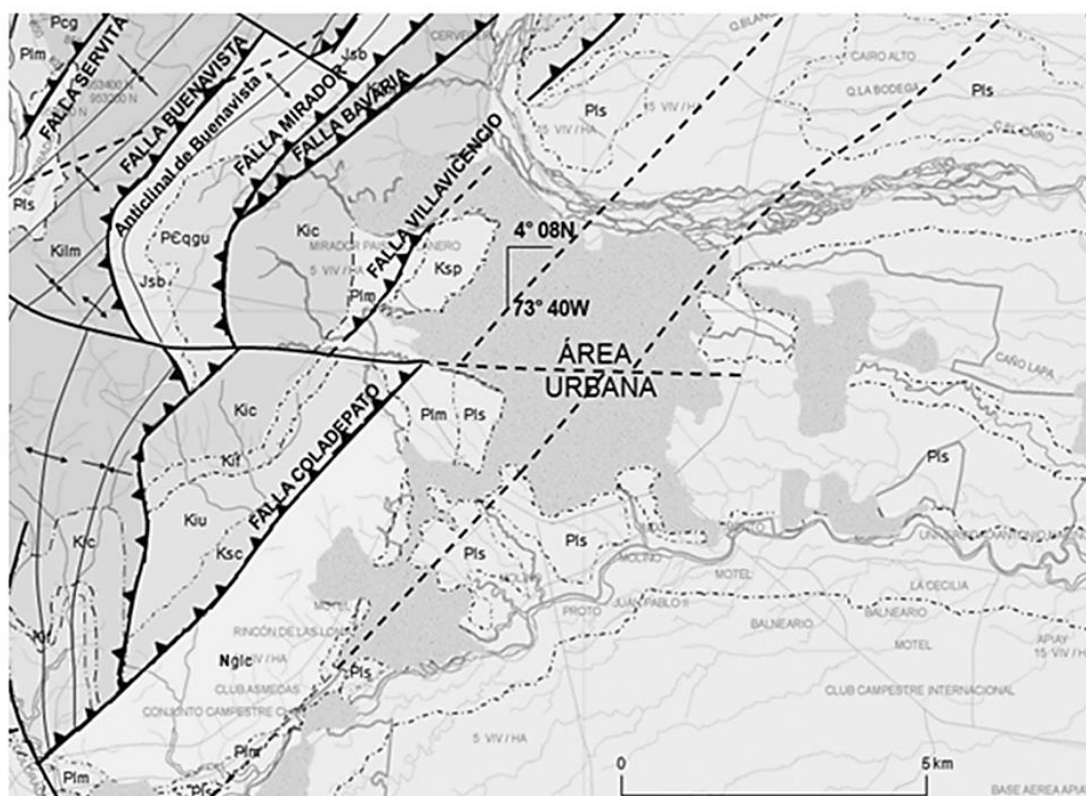


FIGURA 2. Izquierda, bosquejo general en 3D de la disposición tectono – estratigráfica con su escenario litosférico de la región de estudio. A la derecha, perfiles A – A', B – B', y C – C' dispuestos en sentido E – W, los cuales se ubican en la figura de la izquierda. FGC: Falla Guaicaramo; FGY: Falla Guayuriba; FM: Falla Mirador; FMA: Falla Manzanares; FRCh: Falla Río Chiquito; FRG: Falla Gallo; FS: Falla Servitá; FSJ: Falla San Juanito. BMProtA: Basamento Meso – Proterozoico Andino. Tomado de Chicangana et al. (2007).

Ilustración 9. sistema de fallas de Villavicencio
Fuente: Germán Chicangana



EDAD, UNIDAD LITOLÓGICA

Pcg	HOLOCENO, DEPÓSITOS ALUVIALES Y LLANURAS ALUVIALES.
Pts	PLEISTOCENO SUPERIOR, ABANICOS ALUVIALES, DEPOSITOS COLUVIALES Y TERRAZAS.
Pim	PLEISTOCENO MEDIO, DERRUBIOS Y DEPOSITOS COLUVIALES.
Ngic	PLIOCENO SUPERIOR, FORMACIÓN LA CORNETA.
Ksp	MAASTRICHTIANO, GRUPO PALMICHAL.
Ksc	TURONIANO, FORMACIÓN CHIPAQUE.
Kiu	ALBIANO, FORMACIÓN UNE.
Kif	APTIANO, FORMACIÓN FOMEQUE.
Kc	HAUTERIVIANO, FORMACIÓN ARENSICA DE CAQUEZA.
Klm	BERRIASIANO, FORMACIÓN LUTITAS DE MACANAL.
Jsb	TITONIANO, FORMACIÓN BRECHAS DE BUENAVISTA.
Pcg	CARBONIFERO SUPERIOR, FORMACIÓN CAPAS ROJAS DEL GUATUQUÁ.
PCqgu	NEOPROTEROZOICO SUPERIOR, FILITAS Y CUARCITAS DE GUAYABETAL.

ESTRUCTURAS

	CONTACTO LITOLÓGICO
	FALLA DE CABALGAMIENTO
	FALLA NORMAL
	FALLA O LINEAMIENTO INFERIDO
	FALLA O LINEAMIENTO FOTOGEOLOGICO
	ANTICLINAL
	SINCLINAL
	MONOCLINAL

Ilustración 10. Mapa geológico local de la región en la cual se asienta el área urbana de Villavicencio
Fuente: Germán Chicangana



CAPITULO 4. INVESTIGACIONES PLANIMETRICAS, ALTIMETRICAS Y GEOTECNICAS

4.1. CRITERIOS UTILIZADOS

Para el desarrollo de las investigaciones geotécnicas se usaron criterios de los conocimientos de las ciencias de geología y geotecnia. Y, además, se usaron los lineamientos específicos establecidos por las Normas técnicas para el control de erosión y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos CDMB (2009), y por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Para el desarrollo de las investigaciones planimétricas se usaron criterios de los conocimientos de topografía básicos, utilizando los lineamientos establecidos por el instituto geográfico Agustín Codazzi para el reconocimiento del terreno, su formación topográfica, sus límites y sus características planimétricas y altimétricas

4.2. TECNICAS UTILIZADAS

- ❖ Se realizó un levantamiento topográfico a través del uso de la estación total Topcon gts 250 para determinar el estado del lote de estudio
- ❖ Para el levantamiento topográfico se hizo a través de coordenadas geográficas por cada punto tomado
- ❖ Se tomaron muestras del suelo en diferentes puntos y ensayos de laboratorio para conocer el suelo sobre el cual se realizará el proyecto
- ❖ Se realizó la inspección de los niveles freáticos durante la elaboración del estudio.
- ❖ Se calcularon los parámetros solicitados para el diseño de cimentaciones.

4.3. DESCRIPCION

4.3.1. planimetría y altimetría

Para el estudio planimétrico se utilizó la estación Topcon gts 250 cuyas características serán enunciadas posteriormente, un trípode para soportar la estación y la mira láser para la medición más precisa.

❖ Estación Topcon gts 250

La serie GTS-250 combina precisión resistente y lista para el campo con un diseño económico y compacto; es una elección fiable para proyectos de posicionamiento de todos los días. Cuenta con una precisión de 5 cm (2") y Compensación de doble eje pesa aproximadamente 4,9 kg (10,8 lb), tiene una



temperatura de funcionamiento De -20 a 50 °C (de -4 a 122 °F). Contiene 2 pantallas, LCD gráfico de matriz de puntos, un tiempo de funcionamiento 9 horas aproximadamente incluida medición de distancia, solo medición de ángulo 40. [5]



Ilustración 11. estación topcon gts 250
Fuente: Empresa precisión topográfica

Para analizar la planimetría del terreno de estudio se tomaron diversos puntos alrededor y dentro del lote de estudio para analizar sus linderos, las coordenadas de localización, las vías aledañas, las edificaciones vecinas, vías peatonales, límites, del predio y la ubicación de las redes de acueducto y alcantarillado, junto con la ubicación de los postes para la luz y servicios públicos.

En total se tomaron 54 puntos de referencia para el lote de estudio, entre ellos 16 puntos en el interior del área del lote, 17 que rodean la forma del lote y 21 puntos que definen los linderos, redes y el trazado vial aledaño. En la tabla 1 se evidencian las características de los puntos tomados y la localización principal de la estación.



Tabla 1. Puntos tomados en el estudio planimétrico

Punto	ID	Punto	ID
1	D1	28	LOTE B5
2	D2	29	LOTE B6
3	Batea	30	LOTE B7
4	PZ	31	LOTE B8
5	BORDE 1	32	LOTE B9
6	BORDE 2	33	LOTE B10
7	BORDE 3	34	LOTE B11
8	POSTE 1	35	LOTE B12
9	POSTE 2	36	LOTE B13
10	POSTE 2.1	37	LOTE B14
11	POSTE 3	38	LOTE B15
12	POSTE 4	39	PINTER 1
13	CERCA 1	40	PINTER 2
14	CERCA 2	41	PINTER 3
15	CERCA 2	42	PINTER 4
16	CASA S1	43	PINTER 5
17	POSTE VER	44	PINTER 6
18	CASA TIGRE	45	PINTER 7
19	CASA BLANCA	46	PINTER 8
20	CASA CHATA	47	PINTER 9
21	VENTANA NE	48	PINTER 10
22	ANDEN ROJO	49	PINTER 11
23	ESLO 1	50	PINTER 12
24	LOTE B1	51	PINTER 13
25	LOTE B2	52	PINTER 14
26	LOTE B3	53	PINTER 15
27	LOTE B4	54	GUAYABO

Fuente: Autores

En la tabla 1 se evidencian los puntos tomados por la estación y el ID que es el nombre que se le da arbitrariamente al punto tomado, este ID sirve como un sistema de ubicación para el operador de la estación o del que está realizando el estudio. Los puntos 1 y 2 cuyo ID son D1 Y D2 respectivamente, son conocidos como los Deltas o puntos centrales en los cuales fue ubicada y alineada la estación y de los cuales se parte para realizar la medición de los demás puntos.



Fotografía 1. Localización principal de la estación

El punto 3 (Batea) y punto 4 (PZ) son los puntos correspondientes a la red de alcantarillado que circula por allí



Fotografía 2. localización red de alcantarillado



Del punto 5 al punto 7 corresponde a los trazados viales que son aledaños al lote de estudio.



Fotografía 3; Fotografía 4 y Fotografía 5. Localización de los bordes del trazado vial aledaño



Del punto 8 al 11 se localizan los postes de luz, estos se encuentran cercanos a la vía principal y al lote.



Los puntos restantes pertenecen a los linderos del lote, como las viviendas que se encuentran al noreste y al sur del lote, la vía del barrio Guatapé y la vía principal del barrio Nueva Jerusalén. En el anexo del plano topográfico se evidencia la localización de los puntos.



4.3.2. geotecnia

❖ TECNICAS UTILIZADAS

- Se analizaron los estudios geológicos y geotécnicos previos históricamente elaborados, con objeto de obtener información básica en el área de estudio.
- Se elaboraron sondeos tomando muestras del suelo para ser analizadas posteriormente en el laboratorio
- Se calcularon los parámetros solicitados para el diseño de cimentaciones
- Se definió el perfil de suelo de la Norma Sismorresistente Colombiana NSR-10

❖ NUMERO Y PROFUNDIDAD DE SONDEOS

Según el título H de la norma de diseño sismorresistente Colombiana (NSR-10) el número y cantidad de sondeos depende de la clasificación de las unidades de construcción las cuales son: baja, media, alta y especial como se evidencia en la ilustración 12

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

Ilustración 12. Clasificación de las unidades de construcción por categorías

Fuente: NSR-10

Según los niveles de construcción, el proyecto se clasifica en categoría baja, ya que este proyecto consta de dos niveles y se considera hacer 3 sondeos como mínimo a una profundidad mínima de 6 mts para la exploración del subsuelo.

❖ SONDEOS Y ENSAYOS DE CAMPO

Los lugares en los cuales se realizaron los sondeos y la extracción de las muestras son los siguientes:

Tabla 2. sondeos realizados

No. Sondeo	Localización	Profundidad Total (m)
S-1	Sector Sur-oriental del lote	2,40
S-2	Sector central del lote	2,20
S-3	Sector Nor-oriental del lote	2,70



❖ ENSAYOS A REALIZAR

Norma Invias I.N.V. E-102-07

Norma en la cual se describe el procedimiento para identificar el suelo, basada en el sistema de clasificación unificada (S.U.C.S) a través de un examen visual y mediante ensayos manuales

Norma Invias I.N.V. E-123: Análisis granulométrico de suelos por tamizado

Esta norma describe el método para determinar los porcentajes del suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo hasta 75 micrómetros. Los tamices a utilizar son los siguientes: 75 mm (3"), 50 mm (2"), 37.5 mm (1-1/2"), 25 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4), 2.00 mm (No.10) 850 μ m (No.20), 425 μ m (No.40), 250 μ m (No.60), 106 μ m (No.140) y 75 μ m (No.200)

Norma Invias I.N.V. E-125-07: Determinación del límite líquido de los suelos.

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico. Para realizar este ensayo se toma una porción de la muestra que pasa por el tamiz N° 40 y se prepara una pasta con agua destilada, se coloca una cantidad adecuada de esta mezcla en la cazuela encima del punto donde ésta descansa en la base y se comprime y extiende con la espátula para nivelarla y a la vez, dejarla con una profundidad de 10 mm en el punto de su máximo espesor. Se debe usar el menor número posible de pasadas con la espátula. El suelo excedente se debe devolver al recipiente mezclador y se debe tapar con el fin de que se retenga la humedad de la muestra. Se divide el suelo en la cazuela de bronce con una firme pasada del ranurador a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la masa del suelo, de modo que se forme una ranura limpia y de dimensiones apropiadas como se ve en la ilustración 15. Para evitar rasgar los lados de la ranura y el desmoronamiento de la pasta del suelo en la cazuela de bronce, se permite hacer hasta 6 pasadas, de adelante hacia atrás o de atrás hacia adelante, contando cada recorrido como una pasada; con cada pasada el ranurador debe penetrar un poco más profundo, hasta que la última pasada de atrás hacia adelante limpie el fondo de la cazuela. La ranura se deberá hacer con el menor número posible de pasadas

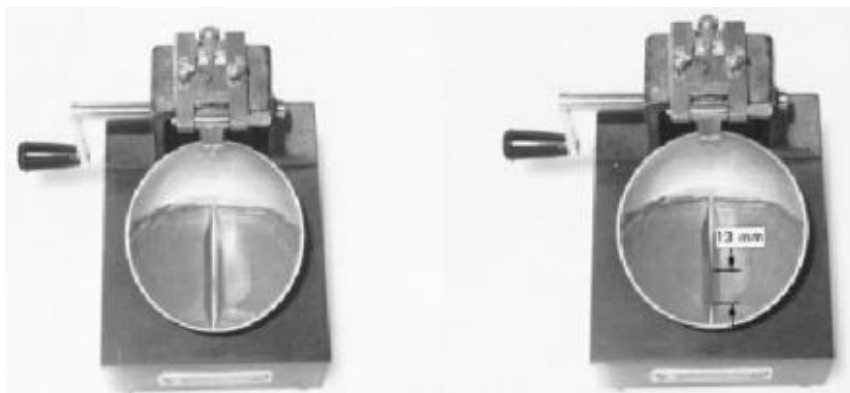


Ilustración 13. equipo de límite líquido con muestra de suelo dividida
Fuente: INVIAS

Norma Invias I.N.V. E-126-07: Límite plástico e índice de plasticidad de suelos

El límite plástico de un suelo es el contenido más bajo de agua, determinado por este procedimiento, en el cual el suelo permanece en estado plástico. El índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

Si se quiere determinar sólo el límite plástico, se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 425 μm (No.40) y se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de unos 6 g de dicha esfera como muestra para el ensayo, posteriormente se rueda la masa de suelo entre la palma de la mano o los dedos y el plato de vidrio esmerilado (o un pedazo de papel que esté sobre la superficie horizontal y lisa) con solo la presión necesaria para formar un rollo de diámetro uniforme en toda su longitud. El rollo se debe adelgazar más con cada rotación, hasta que su diámetro alcance 3 mm, tomándose para ello no más de dos minutos. La presión requerida de la mano o de los dedos, variará en gran medida, dependiendo del tipo de suelo. Suelos frágiles de baja plasticidad se enrollan mejor bajo el lado exterior de la palma de la mano o la base exterior del pulgar.



CAPITULO 5. SISMICIDAD

Un aspecto de gran importancia a ser considerado es el elevado riesgo que representan los eventos sísmicos, lo que conlleva a generar políticas de desarrollo por parte las autoridades competentes. Villavicencio, capital del departamento del Meta con aproximadamente 400 mil habitantes se localiza en el piedemonte Llanero lo que la convierte en un lugar de alta amenaza sísmica ya que geológicamente está en contacto con el sistema de fallas del piedemonte técnicamente llamado Sistema de Fallas de la Falla Frontal de la Cordillera Oriental (SFFFCO) ya que su marco tectónico es muy representativo en el país, con sismos importantes en las últimas décadas como los de Popayán en 1983 y el del Quindío en 1999. [4]

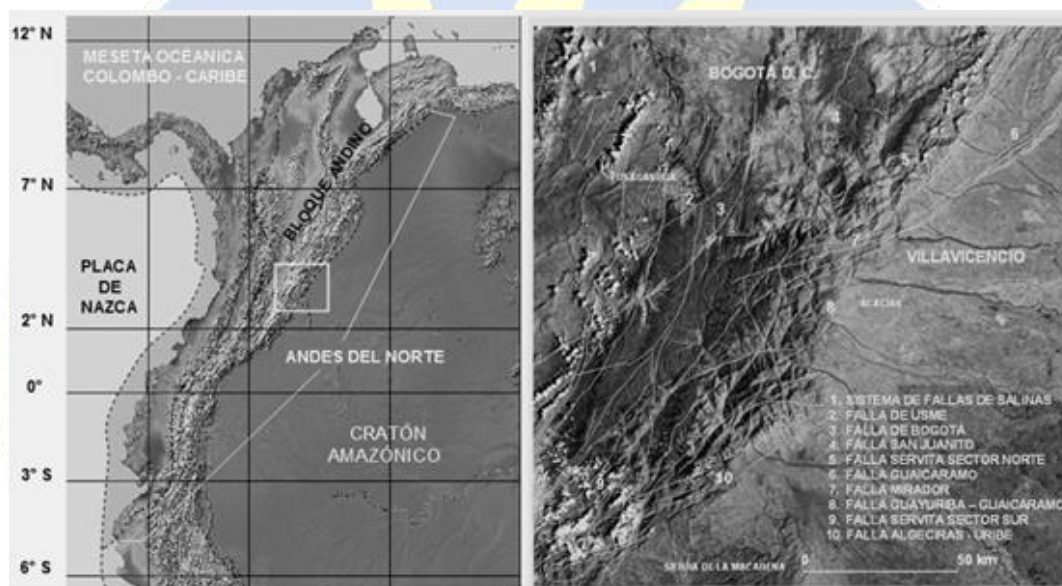


Ilustración 14. Ubicación de Villavicencio y sus principales fallas
Fuente: Universidad Industrial de Santander (UIS)

5.1. ANTECEDENTES

Históricamente Villavicencio ha sufrido sismos de enorme magnitud como el ocurrido en 1917 y el de 1995 que afectó el departamento del Meta y al sur de Casanare. Debido a estos sucesos se dio inicio a los estudios de prevención de amenaza sísmica en el año de 1998. En el año 2003 la entidad INGEOMINAS transmite la primer fase de la microzonificación sísmica en Villavicencio en el cual se determinó que esta región del país presenta susceptibilidad a repetir los sismos ocurridos en 1995 o mayores lo que generaría consecuencias desastrosas a toda la región del piedemonte Llanero, produciendo considerables pérdidas para el país que podrían sobrepasar hasta 30 puntos el PIB.



Como prueba de esto, en el año de 2008 se presentó un sismo con magnitud de 5.7, según INGEOMINAS, que causó grandes daños materiales y sociales no solo en el departamento del Meta sino también en el departamento de Cundinamarca. Desde el punto de vista de la vulnerabilidad ante un sismo, debido a que la comunidad desconoce la existencia de una amenaza sísmica de gran tamaño para la ciudad genera un alcance bastante alto. Según investigaciones el subsuelo y la ubicación geográfica se encuentra en desventaja en comparación a otras ciudades del centro del país que han sufrido sismos de magnitud similar, lo que lleva a impulsar estudios y medidas con el fin de mitigar el riesgo de ocurrencia de un gran sismo en la región que afectaría en términos económicos y sociales al centro de Colombia en donde se localiza más de la cuarta parte de la población del país. [4]

5.2. REGISTRO SISMOLOGICO

Se ha realizado una revisión a la sismicidad histórica e instrumental registrado en la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) en el periodo de 1993 al 2001 para constatar el contexto estructural de las fallas de la región que han generado un modelo sismo-tectónico preliminar mostrado en la ilustración 12. Las fallas del SFFCO del Piedemonte Llanero, e excepción del sismo del 24 de Mayo del 2009, no han presentado un sismo regional superficial mayor a 5,0. Cercano a la región, en el municipio de Tauramena, Casanare, se presentó un sismo de Magnitud 6,5 y al sur en la Serranía de la Macarena se presenta una periodicidad sísmica superficial menor a 4,0. Hacia el sur de Villavicencio, la microsismicidad reportada por la RSCN en 10 años y la sismicidad histórica reflejan que se presenta una mayor movilidad hacia el norte de la ciudad, esto significa que las fallas Guaicáramo y sur Servitá son las candidatas a generar un sismo con más frecuencia.

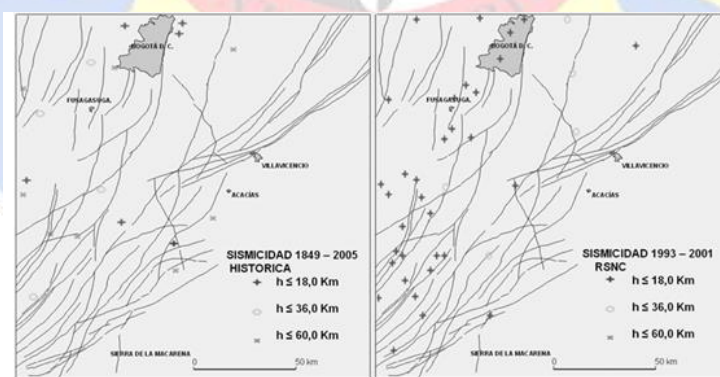


FIGURA 6. Mapas sismotectónicos generales para $h \leq 60$ km con $MS \geq 4,0$ a partir de la información macrosísmica y del NEIC para el lapso 1849 – 2005 a la izquierda, y del registro instrumental de la RSNC periodo 1993 - 2001 con $ML \geq 2,5$ a la derecha. Tomados de Chicangana et al. (2007).

Ilustración 15. Sismicidad Histórica
Fuente: Universidad Industrial de Santander (UIS)

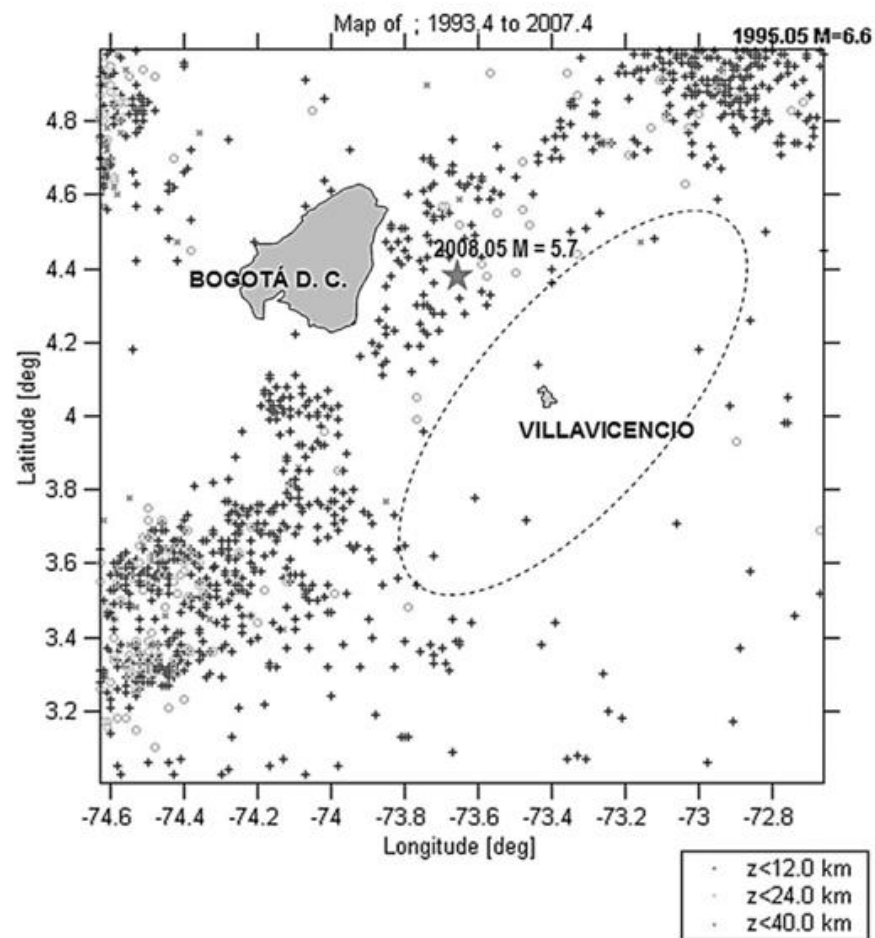


Ilustración 16. Mapa del registro sísmológico instrumental del lapso de 1997-2007 del Piedemonte Llanero
Fuente: RSNC, INGEOMINAS

5.3. AMENAZA SISMICA SEGÚN LA NORMA SISMO RESISTENTE COLOMBIANA (NSR-10)

5.3.1. movimientos sísmicos de diseño

Se definen en función de la aceleración picoefectiva (A_a) y la velocidad picoefectiva (A_v) para una probabilidad de 10% en un lapso de cincuenta años y varían dependiendo la ciudad como se evidencia en la ilustración 14 [1]



Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincelejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

Ilustración 17. Valor de A_a y A_v para las ciudades capitales de departamento
Fuente: NSR-10 título A

Para Villavicencio se evidencian los valores $A_a=0,35$ y $A_v=0,30$ que corresponden a los identificados en la ilustración 14. A continuación se muestra el mapa de las regiones y su coeficiente.

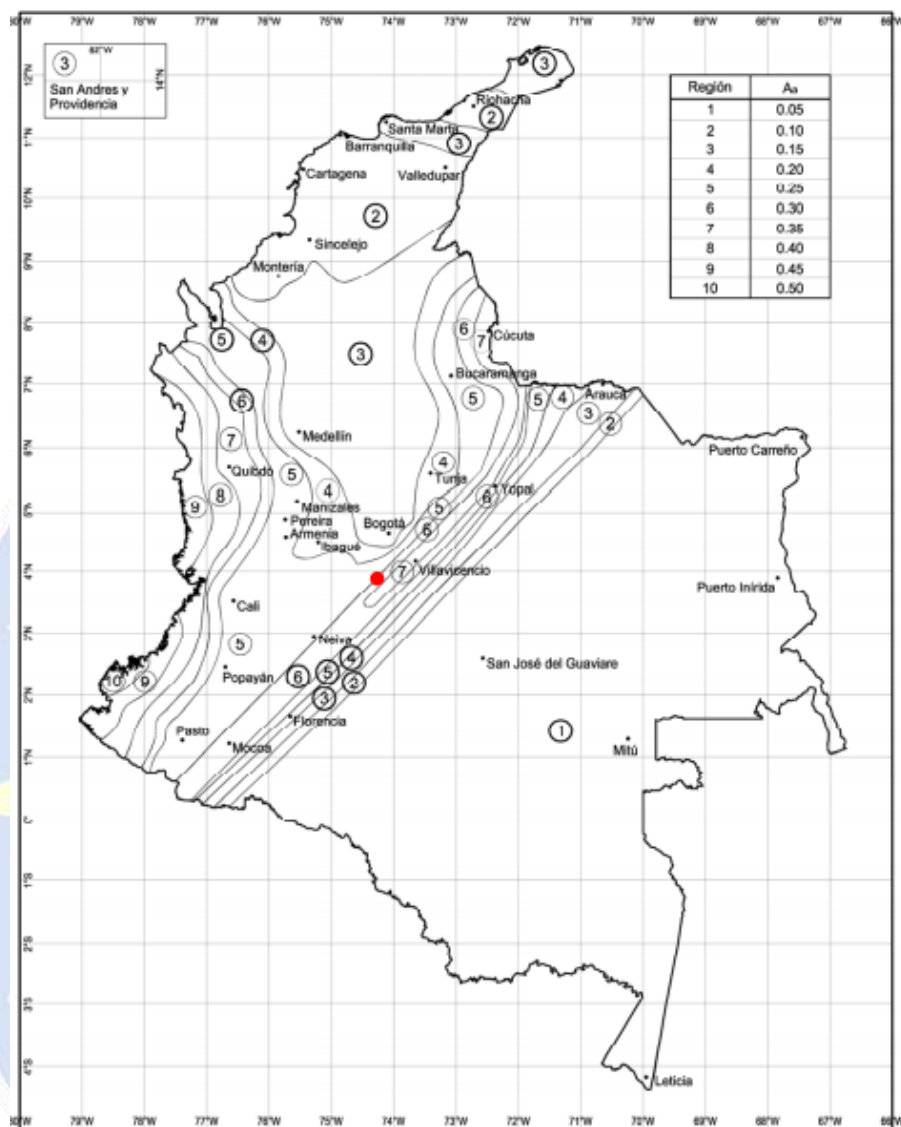


Ilustración 18. Mapa de valores de Aa

Fuente: NSR-10 título A

Villavicencio se encuentra en la región 7 considerada por la NSR-10 como una región de sismicidad alta, aunque parte de su ubicación pertenezca a la zona de sismicidad intermedia por lo que se define el coeficiente de aceleración pico efectiva Aa de 0,35

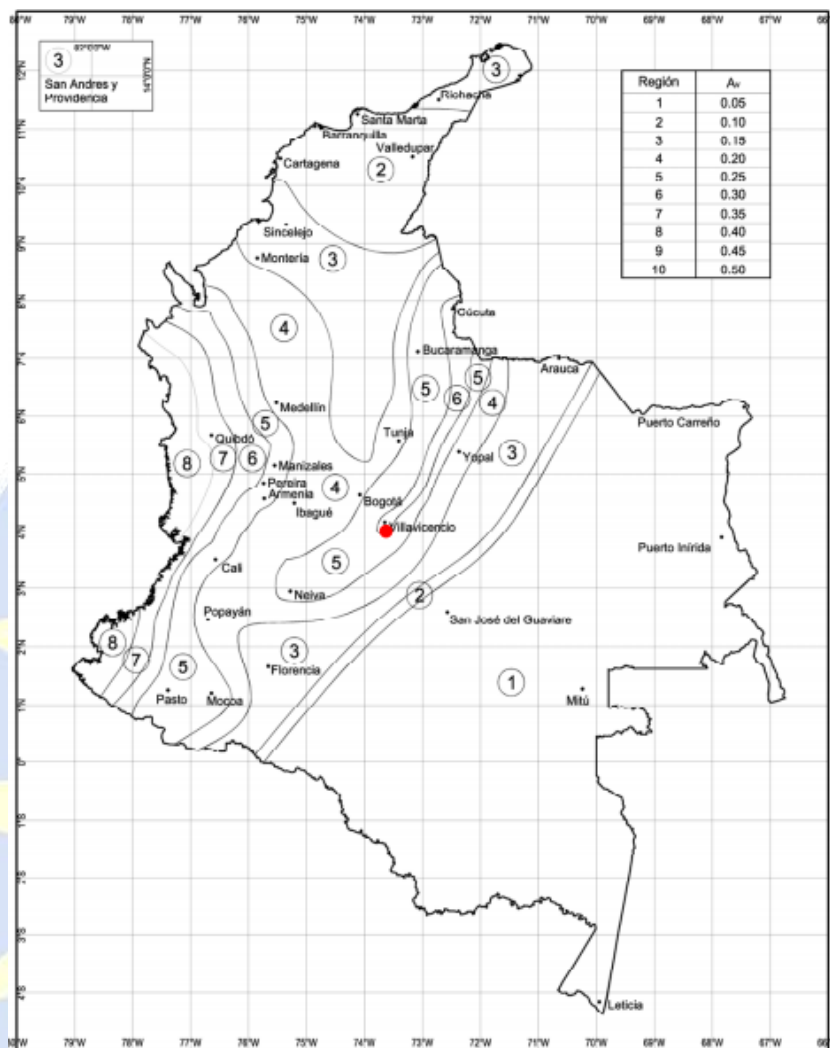


Ilustración 19. Mapa de valores de Av
Fuente: NSR-10 título A

Para el coeficiente de velocidad picoefectiva Villavicencio se localiza en la zona 6 de amenaza intermedia por lo que su coeficiente Av se determina con el valor de 0,30.

5.3.2. clasificación del perfil del suelo

Se definen seis tipos de perfil del suelo que se presentan en la ilustración 17. Los parámetros utilizados son la velocidad media de la onda cortante, el número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en golpes/pie a lo largo del perfil de suelo de 30 m y tomados como mínimo cada 1,50 mts del espesor.



Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{V}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> \bar{V}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> \bar{V}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{s}_u \geq 100$ kPa (≈ 1 kgf/cm ²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s $> \bar{V}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$, o 100 kPa (≈ 1 kgf/cm ²) $> \bar{s}_u \geq 50$ kPa (≈ 0.5 kgf/cm ²)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	180 m/s $> \bar{V}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ 50 kPa (≈ 0.50 kgf/cm ²) $> \bar{s}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F₁ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F₂ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ($H > 3$ m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F₃ — Arcillas de muy alta plasticidad ($H > 7.5$ m con Índice de Plasticidad $IP > 75$) F₄ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ($H > 36$ m)	

Ilustración 20. Clasificación de los perfiles del suelo

Fuente: NSR-10 título A

5.3.3. coeficiente del suelo para periodos cortos del espectro

El parámetro del coeficiente F_a para la zona de periodos cortos del espectro se dan los valores en la ilustración 18. Para cada tipo de perfil se muestra la aceleración pico afectiva A_a y el coeficiente correspondiente.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Ilustración 21. Coeficiente F_a para zonas de periodos cortos del espectro

Fuente: NSR-10 título A

5.3.4. Coeficiente del suelo para periodos medios del espectro

El parámetro del coeficiente F_v para la zona de periodos intermedios del espectro se dan los valores en la ilustración 19. Para cada tipo de perfil se muestra la velocidad pico afectiva A_v y el coeficiente F_a que lo relaciona



Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Ilustración 22. Coeficiente F_v para zonas de periodos intermedios del espectro
Fuente: NSR-10 título A

5.3.5. Coeficiente de importancia

El coeficiente de importancia I , modifica el espectro, y con ello las fuerzas de diseño, de acuerdo a su grupo de ocupación en la cual este asignada la edificación [1], existen cuatro grupos de uso los cuales se enunciarán a continuación:

- ❖ **Grupo I: Estructuras de ocupación normal-** todas las edificaciones cubiertas por el alcance de la NSR-10, pero que no se incluyan en los demás grupos
- ❖ **Grupo II: Estructuras de ocupación especial-**
 - a) Edificaciones donde se puedan reunir más de 200 personas en un mismo salón
 - b) Graderías al aire libre donde puedan haber más de 2000 personas a la vez
 - c) Almacenes y centros comerciales con más de 500 m² por piso
 - d) Edificaciones de hospitales, clínicas y centros de salud
 - e) Edificaciones donde trabajen o residan más de 3000 personas
 - f) Edificios gubernamentales
- ❖ **Grupo III: Edificaciones de atención a la comunidad-**
 - a) Estaciones de bomberos, defensa civil, policía, cuarteles de las fuerzas armadas, y sedes de las oficinas de prevención y atención de desastres
 - b) Garajes de vehículos de emergencia
 - c) Estructuras y equipos de centros de atención de emergencias
 - d) Guarderías, escuelas, colegios, universidades y otros centros de enseñanza
 - e) Aquellas del grupo II que se desee contar con seguridad adicional
 - f) Aquellas otras que la administración municipal, departamental o nacional designe como tales
- ❖ **Grupo IV: Edificaciones indispensables-**
 - a) Todas las edificaciones que componen hospitales, clínicas y centros de salud que dispongan de servicios de cirugía, salas de cuidados intensivos, salas de neonatos y/o atención a urgencias.



- b) Todas las edificaciones que componen aeropuertos, estaciones ferroviarias y sistemas masivos de transporte, centrales telefónicas, de telecomunicación y radiodifusión
- c) Edificaciones designadas como refugios para emergencias, centrales de aeronavegación, hangares de aeronaves de servicios de emergencia
- d) Edificaciones de centrales de operación y control de líneas vitales de energía eléctrica, agua, combustibles, información y transporte de personas y productos
- e) Edificaciones que contengan agentes explosivos, tóxicos y dañinos para el público

Grupo de Uso	Coefficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Ilustración 23. valores del coeficiente de importancia según el uso
Fuente: NSR-10 título A

5.3.6. Espectro de diseño

El espectro elástico de diseño de la Norma Sismo Resistente NSR-10, para el análisis de la sismicidad la norma recomienda tener cuenta un amortiguamiento crítico del 5% para el espectro de diseño. Dónde:

Sa: Valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado.

Aa: Aceleración horizontal pico efectivo en roca

Av: Velocidad horizontal pico efectivo

Fa: Coeficiente de amplificación Fa de periodos cortos del espectro.

Fv: Coeficiente de amplificación Fv de periodos intermedios del espectro.

I: Coeficiente de importancia

Grupo de uso: según la norma es un coeficiente de mayoración que varía según el uso de la estructura

To: Periodo de vibración al cual inicia la zona de aceleraciones constantes del espectro de aceleraciones.

Tc: Periodo de vibración correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño para periodos cortos y la parte descendente del mismo.

TL: Periodo de vibración correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño para periodos largos.

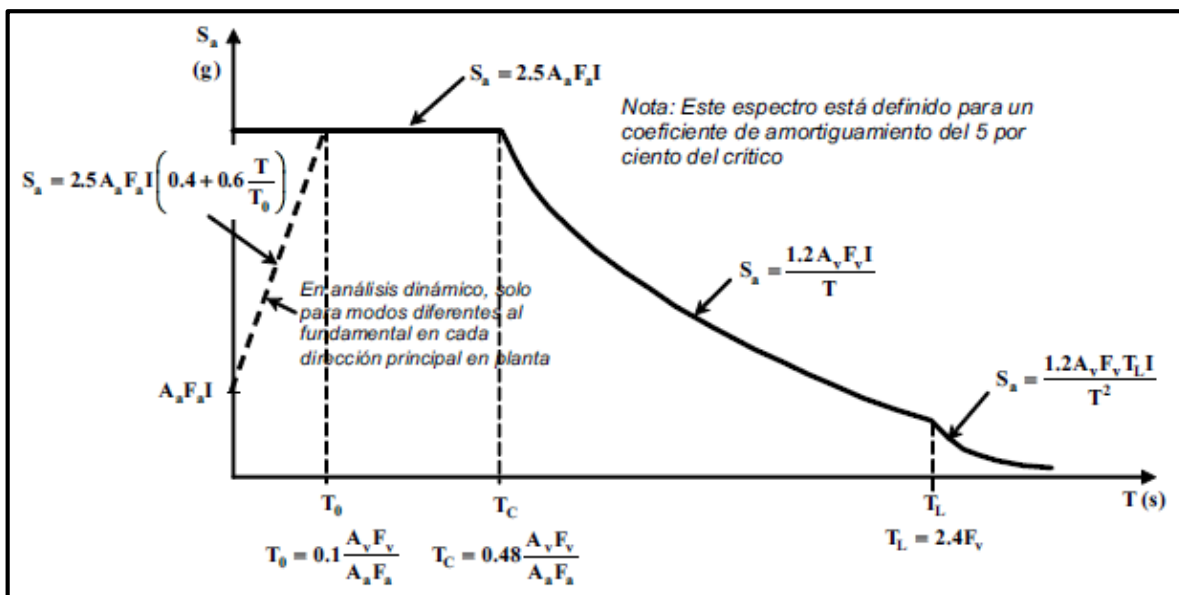
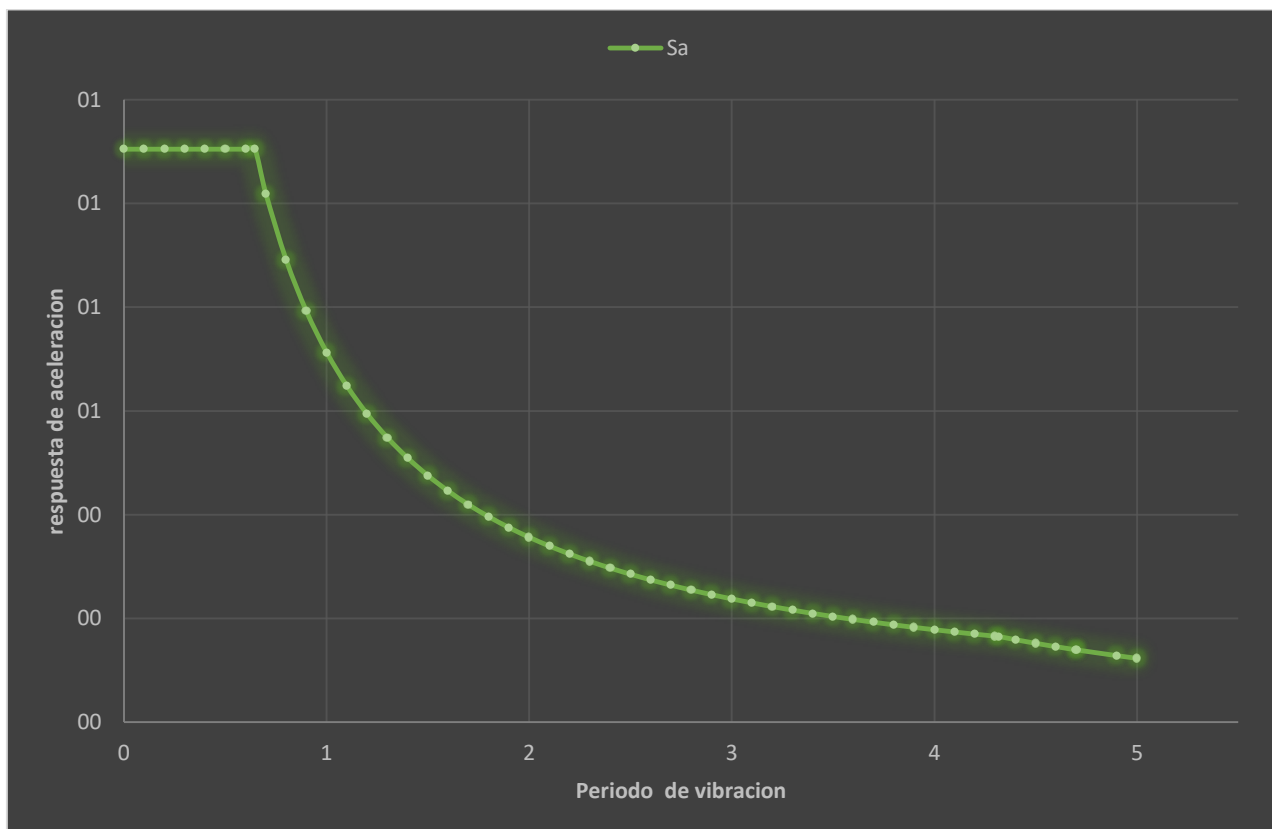


Ilustración 24. Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g.
Fuente: NSR-10 título A

Tabla 3. parámetros de diseño del espectro de aceleración

MUNICIPIO	Villavicencio
Aceleración picoefectiva de diseño (Aa)	0,35
Velocidad picoefectiva de diseño (Av)	0,30
Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios (Fv)	1,8
Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos (Fa)	1,15
Coeficiente de importancia (I)	1,1
Perfil del suelo	D
Periodo inicial (To)	0,134
Valor del espectro de diseño para el periodo inicial To (Sa)	1,104
Periodo corto (Tc)	0,645
Valor del espectro de diseño en el intervalo el periodo corto y el periodo largo (Tc<Sa<Tl)	2,2 / T
Periodo largo (Tl)	4,32
Valor del espectro de diseño para los intervalos mayores al periodo largo (Sa>Tl)	3,079 / T ²

Fuente: Autores



Grafica 1. espectro de aceleración para las condiciones del proyecto
Fuente: Autores



CAPITULO 6. PARAMETROS DEL DISEÑO

6.1. PLANIMETRIA Y ALTIMETRIA

como resultado del análisis topográfico del terreno se definió la morfología del lote y sus límites, ya que dentro del lote sobre el cual se realizó el estudio se evidencia que existen algunos limitantes en el área, ya que el mismo lote se subdivide en 3 proyectos, los cuales son, el trazado vial urbano del barrio Nueva Jerusalén al barrio Guatapé localizado el futuro proyecto en el sur del lote, en la parte oriental del lote se subdivide para un proyecto de menor envergadura en el barrio de Guatapé ya que esta parte según catastro pertenece a este barrio.

El terreno presenta gran cantidad de cobertura vegetal en toda el área; la localización del lote cuenta con fácil acceso a la conexión con las redes de servicios públicos como luz, agua y alcantarillado; el terreno presenta una pendiente de la misma magnitud que la vía; la composición geotécnica del terreno presenta desniveles alrededor de todo el terreno de estudio; se presentan una cantidad considerable de vegetación como arbustos, palmas, árboles frutales entre otros; las estructuras colindantes con el lote son de uso residencial de un solo nivel, separadas por un camino peatonal que rodea al lote; el nivel del lote es superior al de la vía topográficamente.

A continuación, en las tablas 4 a la 8 Se evidencian la altura que contiene cada punto tomado con la estación y las coordenadas de localización. El sistema de coordenadas que se maneja según la estación total es el sistema Magna Sirgas Bogotá.

En la tabla 4 se muestran las coordenadas de localización de la estación, las cuales fueron inicialmente tomadas con un GPS garmin y posteriormente corregidos con la estación.

Tabla 4. coordenadas de los puntos de localización de la estación

Punto	ID	COORDENADA X	COORDENADA Y	COTA
1	D1	945037,276	1047336,363	439,994
2	D2	945040,334	1047373,401	439,156

Fuente: Autores

En la tabla 5 se muestran las coordenadas de localización del pozo de recolección de aguas allí se tomaron la cota batea de la tubería y la cota de la tapa del pozo, para así conocer la profundidad a la que se encuentra la tubería de recolección



Tabla 5. coordenadas del pozo de recolección de aguas

Punto	ID	COORDENADA X	COORDENADA Y	COTA
3	Batea	945032,741	1047339,626	438,503
4	PZ	945032,750	1047339,648	439,815

Fuente: Autores

En la tabla 6 se muestran las coordenadas de los bordes de la vía aledaña al lote para analizar su pendiente y la composición vial

Tabla 6. coordenadas de la vía

Punto	ID	COORDENADA X	COORDENADA Y	COTA
5	BORDE 1	945020,527	1047324,106	439,839
6	BORDE 2	945033,042	1047335,866	439,864
7	BORDE 3	945035,900	1047336,943	439,881

Fuente: Autores

En la tabla 7 se muestran las coordenadas de localización del borde del lote tomadas en la parte externa de la vía peatonal del lote, junto con los postes para la electricidad que se ubican cerca al lote

Tabla 7. localización de los bordes peatonales del lote

Punto	ID	COORDENADA X	COORDENADA Y	COTA
8	POSTE 1	945063,971	1047333,308	440,746
9	POSTE 2	945051,388	1047337,648	440,254
10	POSTE 2.1	945040,291	1047341,687	439,858
11	POSTE 3	945014,037	1047351,373	439,178
12	POSTE 4	944998,199	1047357,297	438,728
13	CERCA 1	944998,214	1047358,927	438,884
14	CERCA 2	945008,424	1047368,990	439,020
15	CERCA 2	945014,283	1047370,186	438,948

Fuente: Autores

En la tabla 8 se muestran las coordenadas de localización de los linderos del lote como las viviendas de un nivel

Tabla 8. localización de los linderos del lote

Punto	ID	COORDENADA X	COORDENADA Y	COTA
16	CASA S1	945018,524	1047372,192	438,905
17	POSTE VER	945040,838	1047368,222	439,870
18	CASA TIGRE	945048,635	1047359,819	440,071
19	CASA BLANCA	945050,873	1047356,389	440,090



20	CASA CHATA	945055,332	1047348,825	440,607
21	VENTANA NE	945057,351	1047345,766	440,642
22	ANDEN ROJO	945060,797	1047340,334	440,738

Fuente: Autores

En la tabla 9 se muestran las coordenadas de localización de los puntos que bordean la forma del lote tomadas entre el borde del lote y el final del sendero peatonal que limita al lote por el costado oriental, además de sus 4 esquinas y los demás bordes rodeándolo en su parte interna.

Tabla 9. localización de los bordes del lote

Punto	ID	COORDENADA X	COORDENADA Y	COTA
23	ESLO 1	945057,581	1047337,227	440,559
24	LOTE B1	945945,509	1047341,695	440,305
25	LOTE B2	945039,441	1047343,521	440,053
26	LOTE B3	945034,279	1047345,548	439,871
27	LOTE B4	945014,428	1047352,709	439,305
28	LOTE B5	944999,074	1047358,446	438,860
29	LOTE B6	945008,502	1047366,640	439,040
30	LOTE B7	945014,662	1047368,975	438,950
31	LOTE B8	945022,621	1047372,787	438,913
32	LOTE B9	945027,428	1047375,176	438,848
33	LOTE B10	945038,138	1047373,656	439,236
34	LOTE B11	945043,018	1047365,487	439,999
35	LOTE B12	945048,032	1047358,304	440,050
36	LOTE B13	945051,477	1047353,427	440,126
37	LOTE B14	945055,873	1047345,186	440,573
38	LOTE B15	945059,285	1047339,952	440,634

Fuente: Autores

En la tabla 10 se muestran las coordenadas de localización de los internos del lote en pequeños tramos de 5 metros de distancia para conocer su composición geotécnica y crear un pequeño perfil para definir la forma geológica del lote

Tabla 10 coordenadas de los puntos internos del lote

Punto	ID	COORDENADA X	COORDENADA Y	COTA
39	PINTER 1	945058,634	1047339,476	440,630
40	PINTER 2	945053,936	1047342,608	440,567
41	PINTER 3	945049,943	1047345,582	440,541
42	PINTER 4	945045,701	1047349,213	440,440



43	PINTER 5	945040,987	1047352,555	440,041
44	PINTER 6	945035,248	1047355,176	439,955
45	PINTER 7	945028,552	1047358,126	439,880
46	PINTER 8	945023,475	1047363,208	439,917
47	PINTER 9	945017,678	1047363,208	439,527
48	PINTER 10	945013,281	1047366,688	439,191
49	PINTER 11	945023,884	1047369,737	439,222
50	PINTER 12	945024,841	1047365,225	439,341
51	PINTER 13	945026,383	1047361,051	439,760
52	PINTER 14	945028,652	1047355,206	439,859
53	PINTER 15	945031,019	1047350,684	440,016
54	GUAYABO	945041,406	1047359,382	440,054

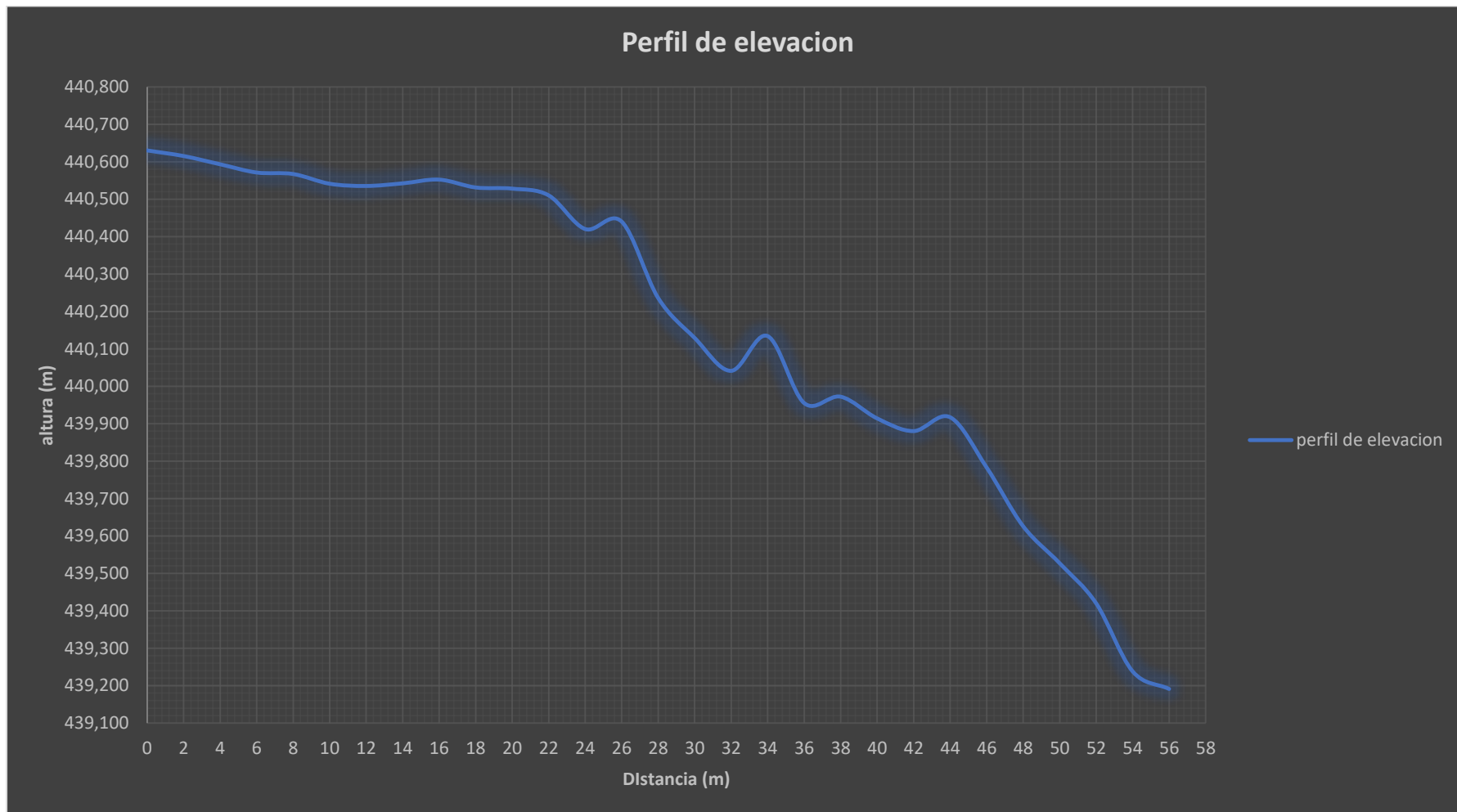
Fuente: Autores

6.2 PERFIL DEL TERRENO

En la gráfica 2 se muestra el perfil del terreno en el sentido norte-sur; en el eje x se ubica la distancia a la cual fue tomada el perfil, para el caso de estudio se tomó el perfil a una distancia de aproximadamente 56 metros.

Como se puede evidencia en la gráfica 2 el terreno presenta una pendiente negativa iniciando el primer punto en 440,630 metros y finalizando 439,191 metros lo cual genera una diferencia de nivel de 1,44 metros en una distancia de 56 metros representa una pendiente del 2,5% aproximadamente, esta pendiente es global del terreno ya que, dentro del mismo, como se evidencia en algunos puntos, el nivel del terreno aumenta.

Los primeros 24 metros del terreno presentan un desnivel de 20 cm aproximadamente, allí en este tramo se presenta el 70% de la vegetación del terreno y las estructuras residenciales. Los siguientes 10 metros desde el metro 24 al 44 en la gráfica presentan un desnivel mayor con un desnivel medio de 50 cm y a su vez se presentan cambios de pendiente, se evidenció en campo que este tramo del terreno presenta subducciones del suelo en ciertos puntos y menor cobertura vegetal. El último tramo que comprende los 14 metros restantes de la gráfica presenta una diferencia de altura de 73 cm, este tramo del terreno es el que más pendiente tiene y es por allí donde se prospecta el trazado vial urbano, en este último tramo se localiza una cuneta por la cual actualmente son transportadas las aguas lluvias provenientes de la precipitación del municipio y también las de la estructura instalada en la parte sur cuyo desagüe de aguas lluvias llega a dicha cuneta.



Grafica 2. Perfil de elevación del terreno



6.3. GRANULOMETRIA

6.3.1. Sondeo 1

El sondeo 1 se realizó a una profundidad de 2,40 metros en el cual se localizaron 2 tipos de suelo diferente para lo cual se generaron 2 muestras para realizar la granulometría de este sondeo

MUESTRA 1

En la tabla 12. Se evidencia el peso de la muestra N°1 comprendida desde 0,25 m por debajo del nivel del suelo hasta 1,60 m de profundidad

Tabla 11. Granulometría muestra 1 - sondeo 1

Tamiz (pulg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Retenido	% Ret. Acum.	% Pasa
3	76,2				100
2 1/2	63,5		0	0	100
2	50,8		0	0	100
1 1/2	38,1		0	0	100
1	25,4		0	0	100
3/4	19,05		0	0	100
1/2	12,7		0	0	100
3/8	9,525		0	0	100
4	4,75		0	0	100
8	2,36		0	0	100
10	2	0,9	0,52	0,52	99,48
40	0,425	2,7	1,55	2,06	97,94
50	0,3	5,8	3,33	5,39	94,61
100	0,15	8,3	4,76	10,15	89,85
200	0,075	58,1	33,31	43,46	56,54
Pasa 200	Fondo	98,6	56,54	100,00	
Total		174,4			

Fuente: Autores



MUESTRA 2

La muestra N° 2 se encuentra a una profundidad desde 1,60 m a 2,40 m, a continuación, se muestran los datos obtenidos del ensayo

Tabla 12. Granulometría muestra 2 - sondeo 1

Tamiz (pulg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Retenido	% Ret. Acum.	% Pasa
3	76,2				100
2 1/2	63,5		0	0	100
2	50,8		0	0	100
1 1/2	38,1		0	0	100
1	25,4		0	0	100
3/4	19,05	33,7	11,55	11,55	88,45
1/2	12,7	15,2	5,21	16,75	83,25
3/8	9,525	17,9	6,13	22,88	77,12
4	4,75	22,9	7,85	30,73	69,27
10	2	27,3	9,35	40,08	59,92
40	0,425	90,4	30,97	71,05	28,95
200	0,075	60,6	20,76	91,81	8,19
Pasa 200	Fondo	23,9	8,19	100,00	
Total		291,9			

Fuente: Autores



6.3.2. Sondeo 2

El sondeo 2 se realizó a una profundidad de 2,20 metros en el cual se localizaron 2 tipos de suelo diferente para lo cual se generaron 2 muestras para realizar la granulometría de este sondeo

MUESTRA 1

La muestra N° 1 se encuentra a una profundidad desde 0,20 m a 0,90 m, a continuación, se muestran los datos obtenidos del ensayo

Tabla 13. Granulometría muestra 1 - sondeo 2

Tamiz (pulg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Retenido	% Ret. Acum.	% Pasa
3	76,2				100
2 1/2	63,5		0	0	100
2	50,8		0	0	100
1 1/2	38,1		0	0	100
1	25,4		0	0	100
3/4	19,05		0,00	0,00	100
1/2	12,7		0,00	0,00	100
3/8	9,525		0,00	0,00	100
4	4,75		0,00	0,00	100
10	2	0,5	0,28	0,28	99,72
40	0,425	3,8	2,16	2,44	97,56
200	0,075	60,1	34,15	36,59	63,41
Pasa 200	Fondo	111,6	63,41	100,00	
Total		176			

Fuente: Autores



MUESTRA 2

La muestra N° 2 se encuentra a una profundidad desde 0,90 m a 2,20 m, a continuación, se muestran los datos obtenidos del ensayo:

Tabla 14. Granulometría muestra 2 - sondeo 2

Tamiz (pulg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Retenido	% Ret. Acum.	% Pasa
3	76,2				100
2 1/2	63,5		0	0	100
2	50,8		0	0	100
1 1/2	38,1		0	0	100
1	25,4		0	0	100
3/4	19,05		0,00	0,00	100
1/2	12,7		0,00	0,00	100
3/8	9,525		0,00	0,00	100
4	4,75		0,00	0,00	100
10	2	0,3	0,30	0,30	99,70
40	0,425	6,1	6,10	6,40	93,60
200	0,075	45,9	45,90	52,30	47,70
Pasa 200	Fondo	47,7	47,70	100,00	
Total		100			

Fuente: Autores



6.3.3. Sondeo 3

El sondeo 2 se realizó a una profundidad de 2,70 metros en el cual se localizaron 2 tipos de suelo diferente para lo cual se generaron 2 muestras para realizar la granulometría de este sondeo

MUESTRA 1

La muestra N° 1 se encuentra a una profundidad desde 0,20 m a 1,90 m, a continuación, se muestran los datos obtenidos del ensayo:

Tabla 15. Granulometría muestra 1 - sondeo 3

Tamiz (pulg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Retenido	% Ret. Acum.	% Pasa
3	76,2				100
2 1/2	63,5		0	0	100
2	50,8		0	0	100
1 1/2	38,1		0	0	100
1	25,4		0	0	100
3/4	19,05		0,00	0,00	100
1/2	12,7		0,00	0,00	100
3/8	9,525		0,00	0,00	100
4	4,75		0,00	0,00	100
10	2	9,8	5,42	5,42	94,58
40	0,425	8,6	4,76	10,18	89,82
200	0,075	46,5	25,73	35,92	64,08
Pasa 200	Fondo	115,8	64,08	100,00	
Total		180,7			

Fuente: Autores



MUESTRA 2

La muestra N° 2 se encuentra a una profundidad desde 1,90 m a 2,70 m, a continuación, se muestran los datos obtenidos del ensayo:

Tabla 16. Granulometría muestra 2 - sondeo 3

Tamiz (pulg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Retenido	% Ret. Acum.	% Pasa
3	76,2				100
2 1/2	63,5		0	0	100
2	50,8		0	0	100
1 1/2	38,1		0	0	100
1	25,4		0	0	100
3/4	19,05	38,8	12,30	12,30	87,70
1/2	12,7	16,1	5,10	17,40	82,60
3/8	9,525	15,8	5,01	22,41	77,59
4	4,75	23,9	7,58	29,98	70,02
10	2	25,5	8,08	38,07	61,93
40	0,425	95,6	30,30	68,37	31,63
200	0,075	73,4	23,26	91,63	8,37
Pasa 200	Fondo	26,4	8,37	100,00	
Total		315,5			

Fuente: Autores



6.4. LIMITE LIQUIDO

El límite líquido es medido a través de un ensayo de laboratorio en el cual se mezcla una pequeña porción de la muestra de suelo y agua formando una pasta que posteriormente será depositada en la cuchara de Casagrande, para realizar el experimento se golpea consecutivamente la cuchara contra su base a través de una manivela hasta que la pasta se expanda en una longitud de 1/2" y se mira el número de golpes ejecutados para que suceda esta separación. Este experimento se debería realizar dos veces o más ajustando del contenido de agua lo que significa que se debe variar su humedad, el límite líquido es el valor de la humedad correspondiente al necesario para realizar 25 golpes, para este valor se debe realizar una interpolación lineal entre los datos hallados durante el ensayo.



Ilustración 25. cazuela de Casagrande

Para el contenido de humedad de cada muestra tomada en el ensayo se debe usar la fórmula 2 en la cual se necesita saber el peso de la muestra seca lo cual es el peso de los sólidos de un suelo y también se debe conocer el peso del agua en el suelo por cada muestra ya que esta se varia, en las ecuaciones 3 y 4 se enuncian los datos necesarios para hallar estos pesos.

Ecuación 1. contenido de humedad de un suelo

$$w = \frac{\text{Masa del agua } (W_w)}{\text{Masa de los solidos } (W_s)} \times 100$$

Ecuación 2. Masa del agua

$$W_w = (\text{Peso del recipiente} + \text{suelo humedo}) - (\text{Peso del recipiente} + \text{suelo seco})$$

Ecuación 3. Peso de la masa de suelo

$$W_s = (\text{Peso del recipiente} + \text{suelo seco}) - (\text{peso del recipiente})$$



6.4.1. Sondeo 1.

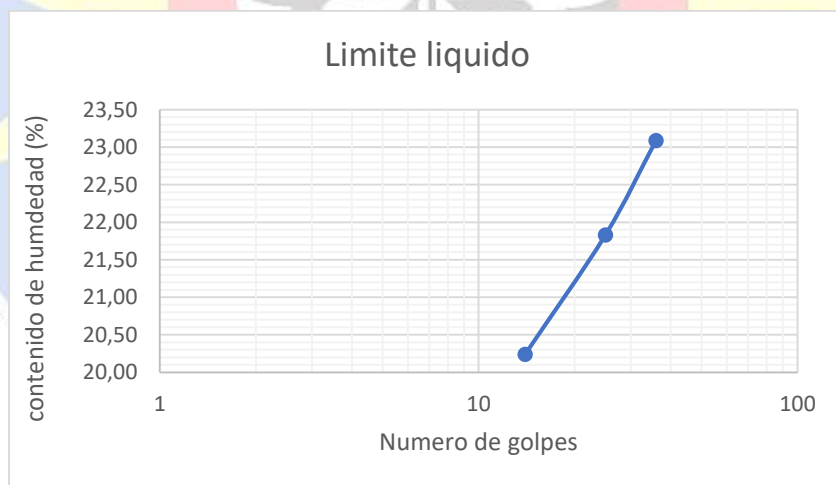
MUESTRA 1

Tabla 17. Datos para el límite líquido Muestra 1 – sondeo 1

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
No Golpes	14	25	36
Recipiente No	R1	R2	R3
Peso de recip. +S.H.	35,6	34,9	37,4
Peso de recip. +S.S.	30,5	29,6	31,4
Peso recipiente	5,3	5,32	5,41
Peso agua	5,1	5,3	6
Peso suelo seco	25,2	24,28	25,99
%Humedad	20,24	21,83	23,09

Fuente: autores

Una vez registrado los datos y hechos los cálculos correspondientes al contenido de humedad de la muestra, se procede a hacer la gráfica de dispersión de los datos en la cual se determina por regresión el valor correspondiente al límite líquido a los 25 golpes.



Grafica 3. limite liquido muestra 1 - sondeo 1

Fuente: autores.

Con la gráfica del límite líquido se realiza una regresión logarítmica para determinar el contenido de humedad correspondiente a los 25 golpes de la cuchara de Casagrande.



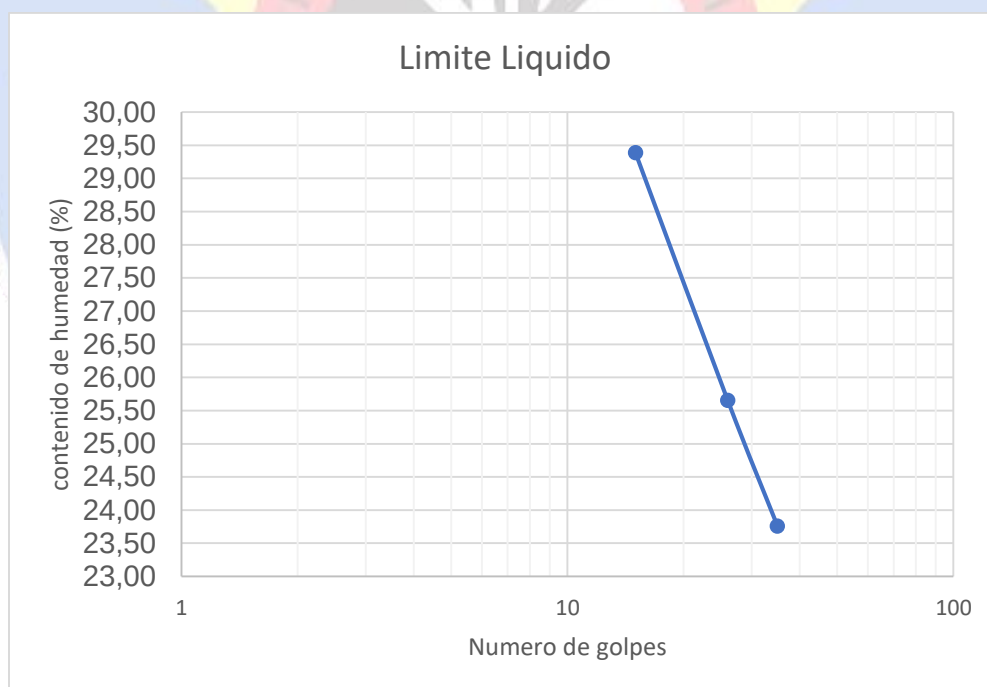
6.4.2. Sondeo 2.

MUESTRA 1

Tabla 18. Datos para el límite líquido Muestra 1 – sondeo 2.

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	4	5	6
No Golpes	35	26	15
Recipiente No	R12	R4	R6
Peso de recip. +S.H.	40,2	48,3	39,3
Peso de recip. +S.S.	33,5	39,5	31,6
Peso recipiente	5,3	5,2	5,4
Peso agua	6,7	8,8	7,7
Peso suelo seco	28,2	34,3	26,2
%Humedad	23,76	25,66	29,39

Fuente: autores.



Grafica 4. limite liquido muestra 1 - sondeo 2

Fuente: autores.

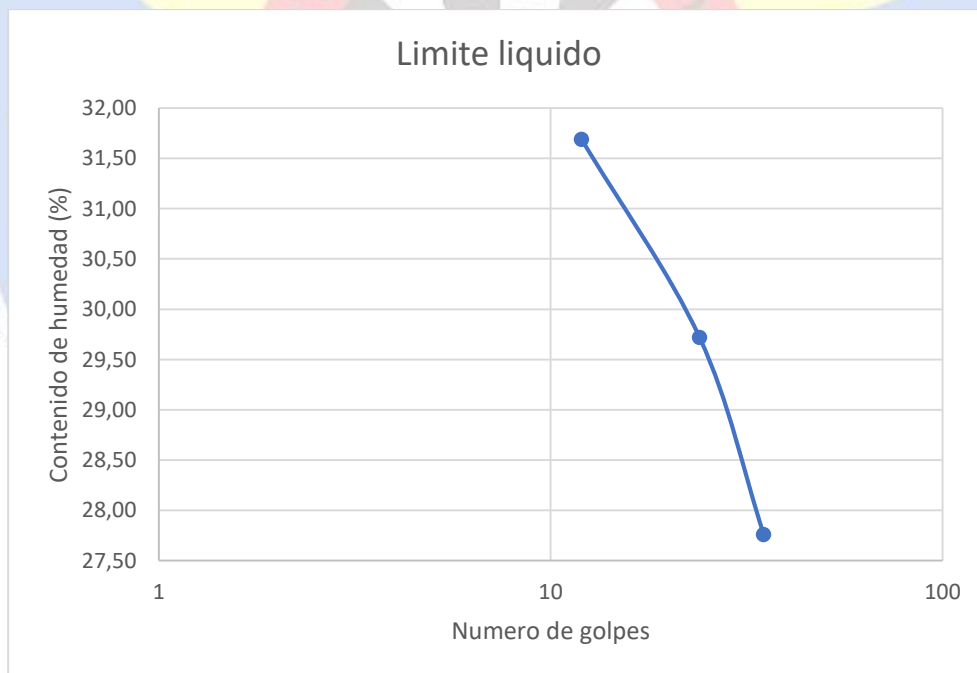


MUESTRA 2

Tabla 19 Datos para el límite líquido Muestra 1 – sondeo 2.

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	7	8	9
No Golpes	12	24	35
Recipiente No	R8	R41	R25
Peso de recip. +S.H.	37,4	37,6	27,63
Peso de recip. +S.S.	29,7	30,2	22,8
Peso recipiente	5,4	5,3	5,4
Peso agua	7,7	7,4	4,83
Peso suelo seco	24,3	24,9	17,4
%Humedad	31,69	29,72	27,76

Fuente: autores.



Grafica 5. limite liquido muestra 2 - sondeo 2

Fuente: autores.



6.4.3. Sondeo 3

MUESTRA 1

Tabla 20. Datos para el límite líquido Muestra 1 – sondeo 2.

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	13	14	15
No Golpes	15	22	31
Recipiente No	R7	R13	R24
Peso de recip. +S.H.	34,51	33,85	39,83
Peso de recip. +S.S.	29,4	28,4	30,7
Peso recipiente	5,1	5,2	5,2
Peso agua	5,11	5,45	9,13
Peso suelo seco	24,3	23,2	25,5
%Humedad	21,03	23,49	35,80

Fuente: autores.



Grafica 6 limite liquido muestra 1 - sondeo 3

Fuente: autores.



6.5 LIMITE PLASTICO

El límite plástico es considerado como la humedad más baja con la cual la masa del suelo puede formar cilindros de 3 milímetros de diametro, rodado entre los dedos de la mano y superficie totalmente lisa sin que los cilindros se rompan.

Para realizar este ensayo se toma una porción de la muestra que pasa por el tamiz N°40 y se humedece para formar la pasta que luego será moldeada en forma elipsoidal o formando pequeño cilindros, este procedimiento se realiza hasta que la presión ejercida para hacer los cilindros no genere fisuras o estos no se rompan. Para determinar el límite plástico para cada muestra se utiliza la ecuación 6, la cual es muy similar a la que se usa para el límite líquido en el cual se halla el contenido de humedad de la muestra. En la ecuación 7 se determina el valor final del límite plástico que corresponde al promedio entre los valores de cada muestra del ensayo.

Ecuación 4. limite plástico por cada muestra

$$LP = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{peso del suelo seco}} \times 100$$

Ecuación 5. Promedio del límite plástico

$$LP = \frac{\sum_1^n LP}{n}$$

6.5.1. Sondeo 1

MUESTRA 1

Tabla 21. Datos para el límite liquido sondeo 1 muestra 1

LÍMITE PLÁSTICO

Determinación No	1	2	3
Peso de recip. +S.H.	17,4	17,2	16,9
Peso de recip. +S.S.	15,7	15,5	15,1
Peso recipiente	4,6	4,5	4,51
Peso agua	1,7	1,7	1,8
Peso suelo seco	11	11	10,59
%Humedad	15,32	15,45	17,00

Fuente: autores



6.5.2. Sondeo 2

MUESTRA 1

Tabla 22. Datos para el límite líquido sondeo 2 muestra 1

LÍMITE PLÁSTICO

Determinación No	4	5	6
Peso de recip. +S.H.	18,4	18,26	18,6
Peso de recip. +S.S.	16,5	16,4	16,8
Peso recipiente	4,7	4,6	4,8
Peso agua	1,9	1,86	1,8
Peso suelo seco	12	11,8	12
%Humedad	16,10	15,76	15,00

Fuente: autores

MUESTRA 2

Tabla 23. Datos para el límite líquido sondeo 2 muestra 1

LÍMITE PLÁSTICO

Determinación No	10	11	12
Peso de recip. +S.H.	19	19,3	18,9
Peso de recip. +S.S.	16,29	16,58	16,7
Peso recipiente	4,29	4,6	4,5
Peso agua	2,71	2,72	2,2
Peso suelo seco	12	11,98	12,2
%Humedad	22,58	22,70	18,03

Fuente: autores

6.5.3. Sondeo 3

Tabla 24. Datos para el límite líquido sondeo 3 muestra 1

LÍMITE PLÁSTICO

Determinación No	16	17	18
Peso de recip. +S.H.	18,4	18,2	18,7
Peso de recip. +S.S.	16,46	16,2	16,58
Peso recipiente	4,8	4,7	4,7
Peso agua	1,94	2	2,12
Peso suelo seco	12	11,5	11,88
%Humedad	16,64	17,39	17,85

Fuente: autores



6.6. RESUMEN DE DATOS

Tabla 25. Resultados del sondeo 1

DESCRIPCION	SONDEO 1	
	M1	M2
PROFUNDIDAD (m)	0,25 - 1,60	1,60 - 2,40
GRAVAS (%)	0	30,73
ARENAS (%)	43,46	61,08
FINOS (%)	56,54	8,19
LIMITES DE CONSISTENCIA		
LIMITE LIQUIDO	21	0
LIMITE PLASTICO	15,9	0
INDICE DE PLASTICIDAD	5,1	0
CLASIFICACION		
S.U.C. S	CL	SP
AASHTO	A-4	A-1b
CARACTERISTICAS	arcilla de baja plasticidad	Arena pobremente gradada

Fuente: autores

Tabla 26. Resultados del sondeo 2

DESCRIPCION	SONDEO 2	
	M1	M2
PROFUNDIDAD (m)	0,20 - 0,90	0,90 - 2,20
GRAVAS (%)	0,00	0,00
ARENAS (%)	36,59	52,30
FINOS (%)	63,41	47,70
LIMITES DE CONSISTENCIA		
LIMITE LIQUIDO	25,7	28,7
LIMITE PLASTICO	15,6	21,1
INDICE DE PLASTICIDAD	10,1	7,6
CLASIFICACION		
S.U.C.S	CL	SC
AASHTO	A-4	A-4
CARACTERISTICAS	Arcilla de baja plasticidad	Arena arcillosa

Fuente: autores



Tabla 27. Resultados del sondeo 3

DESCRIPCION	SONDEO 3	
	M1	M2
PROFUNDIDAD (m)	0,20 - 1,90	1,90 - 2,70
GRAVAS (%)	0,00	29,98
ARENAS (%)	35,92	61,65
FINOS (%)	64,08	8,37
LIMITES DE CONSISTENCIA		
LIMITE LIQUIDO	25,7	0,0
LIMITE PLASTICO	17,3	0,0
INDICE DE PLASTICIDAD	8,4	0,0
CLASIFICACION		
S.U.C.S	CL	SP
AASHTO	A-4	A-1b
CARACTERISTICAS	Arcilla de baja plasticidad	Arena pobremente gradada

Fuente: autores

6.7. PESO UNITARIO DEL SUELO

Para el peso unitario del suelo se tomaron 3 muestras de suelo cilíndricas e inalteradas con diametro y altura definidas. Una vez tomadas las muestras se pesan para conocer su peso húmedo y posteriormente se secan en el horno por aproximadamente 12 horas para obtener la muestra seca. Luego de secar la muestra en el horno se determina el peso de esa muestra seca y se realizan los respectivos cálculos para determinar el contenido de humedad de las muestras, el peso de las partículas sólidas, el peso de las partículas de agua y el volumen de las muestras.

Una vez definidos los parámetros de volumen y peso de las muestras en estado de humedad y en estado seco, se procede a realizar los cálculos para hallar el peso unitario del suelo y el peso específico seco y peso específico húmedo, el cual es el parámetro más importante del suelo.

Las muestras fueron tomadas a una profundidad total de 2,50 metros alternándose entre esta profundidad



Tabla 28. Resultados del sondeo 3

PESO UNITARIO DEL SUELO			
Muestra	M1	M2	M3
Profundidad (m)	0,10 - 1,00	1,20 - 1,90	2,00 - 2,50
Diametro muestra (cm)	3,50	3,50	3,50
Altura de la muestra (cm)	4,80	4,11	3,43
Peso húmedo (gr)	84,50	78,50	73,50
Peso seco (gr)	72,20	68,40	66,60
Peso de la masa de agua (gr)	12,30	10,10	6,90
Humedad natural (%)	17,04	14,77	10,36
Área de la muestra (cm ²)	9,62	9,62	9,62
Volumen de la muestra (cm ³)	46,18	39,54	33,00
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,830	1,985	2,227
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,563	1,730	2,018
PESO ESPECIFICO DEL SUELO (KN/m³)	17,94	19,47	21,84

Fuente: autores

6.5. ANGULO DE FRICCION INTERNA

El ángulo de fricción es una propiedad de los materiales granulares el cual tiene una interpretación física sencilla, al estar relacionado con el ángulo de reposo o máximo ángulo posible para la pendiente de un conjunto de dicho material granular. En un material granuloso el ángulo de reposo está determinado por la fricción, la cohesión y la forma de las partículas; por ello, en un material sin cohesión y donde las partículas son muy pequeñas en relación al tamaño del conjunto, el ángulo de reposo coincide con el ángulo de rozamiento interno.

Según los ensayos realizados en el laboratorio y correlaciones según el autor Braja Das el ángulo de fricción interna definido para el suelo fue de 28°

6.6 COHESION

Es la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por lo tanto, la cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad. Según los ensayos realizados por el laboratorista, el valor de la cohesión arrojada fue de 1,10 Kn/m² a través del ensayo de compresión confinada.



CAPITULO 7. ANALISIS GEOTECNICO

7.1. CIMENTACIONES

Conforme a las características que posee el proyecto y al nivel de excavación proyectado, se calculará la capacidad portante a nivel de la cimentación, alrededor de 1.5 metros aproximadamente por debajo del nivel actual del terreno.

El análisis de la capacidad de soporte se realiza considerando los resultados de laboratorio y las correlaciones basados en las ecuaciones planteadas por Meyerhof, obteniendo la capacidad de soporte para definir la cimentación.

7.1.1. parámetros del suelo

Tabla 29. parámetros de diseño

PARAMETROS DEL SUELO	
COHESION (Kn/m ²)	1,10
ANGULO DE FRICCION	28
PESO ESPECIFICO (Kn/m ³)	19,47

Fuente: autores

Según Meyerhof, la capacidad de carga se demuestra de la siguiente manera:

Ecuación 6. capacidad de carga ultima

$$q_u = C' \cdot N_c \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot N_q \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i}$$

Donde:

C' = Cohesión

q = Tensión efectiva en el nivel de la parte inferior de la base

γ = Peso unitario del suelo

B = Ancho de la cimentación

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$ = Factores de forma

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ = Factores de profundidad

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ = Factores de inclinación de carga

N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga

En el cual se componen de los siguientes factores:



➤ **Factores de capacidad de carga**

N_c = Factor de capacidad de carga que depende de la cohesión del suelo de cimentación.

N_q = Factor de capacidad de carga que depende de la carga que ejerce el suelo a la profundidad de desplante definida.

N_γ = Factor de capacidad de carga relacionado al peso específico del suelo.

En la siguiente tabla se muestran los factores de capacidad de carga preexistentes establecida por Meyerhof, con los ángulos de fricción del suelo.

Tabla 30. Factores de capacidad de carga

Φ	N_c	N_q	N_γ	Φ	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1	0	26	22.25	11.85	12.54
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.2	14.47
2	5.63	1.2	0.15	28	25.8	14.72	16.72
3	5.9	1.31	0.24	29	27.86	16.44	19.34
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.4	22.4
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	25.99
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.22
7	7.16	1.88	0.71	33	38.64	26.09	35.19
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.3	48.03
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31
11	8.8	2.71	1.44	37	55.63	42.92	66.19
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	78.03
13	9.81	3.26	1.97	39	67.87	55.96	92.25
14	10.37	3.59	2.29	40	75.31	64.2	109.41
15	10.98	3.94	2.65	41	83.86	73.9	130.22
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	85.38	155.55
17	12.34	4.77	3.53	43	105.11	99.02	186.54
18	13.1	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.64
19	13.93	5.8	4.68	45	133.88	134.88	271.76
20	14.83	6.4	5.39	46	152.1	158.51	330.35
21	15.82	7.07	6.2	47	173.64	187.21	403.67
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	496.01
23	18.05	8.66	8.2	49	229.93	265.51	613.16
24	19.32	9.6	9.44	50	266.89	319.07	762.89
25	20.72	10.66	10.88				

Fuente: Braja M. Das.



➤ **Factores de forma**

$$F_{cs} = 1 - \frac{N_c}{N_q} * \frac{B}{L}$$

Donde:

F_{cs} = Factor de forma de la zapata relacionada con la cohesión.

N_c y N_q = son los factores de capacidad de carga.

B/L = Relación entre el ancho y el largo de la zapata a diseñar.

De acuerdo con la relación entre el ancho y el largo de la zapata a diseñar es cuadrada, por lo tanto, $B/L = 1$.

$$F_{qs} = 1 + \tan(\theta) \frac{B}{L}$$

Donde:

F_{qs} = Factor de forma de la zapata que se relaciona a la presión ejercida por el suelo en la profundidad de desplante.

Φ = Ángulo de fricción interna del suelo y B/L es la relación entre las dimensiones de la zapata.

$$F_{ys} = 1 - 0,4 \frac{B}{L}$$

Donde:

F_{ys} = Factor de forma que se relaciona con el peso específico del suelo donde se cimienta la estructura

➤ **Factores de inclinación**

Los factores de inclinación, al igual que los anteriores factores, dependen de la cohesión (f_{ci}) de la presión ejercida por el suelo (f_{qi}) y del peso específico del suelo (F_{yi}). Estos factores dependen a su vez del ángulo de inclinación con la que se diseñe la zapata.

Para este proyecto las zapatas no se diseñarán con inclinación alguna por lo tanto estos coeficientes serán iguales a 1 en todas sus condiciones.

➤ **Factores de profundidad**

Estos factores dependen de la profundidad de desplante a la cual se ubicará la cimentación.

Existen dos condiciones para estos factores, cuando la relación entre la profundidad de desplante y el ancho de la zapata es menor o igual a 1 ($D_f/B \leq 1$) y su caso contrario cuando esta relación es mayor a 1 ($D_f/B > 1$); las ecuaciones varían también ante la presencia de un suelo friccionante, lo que indica que el



ángulo de fricción interna es mayor a cero o caso contrario cuando el suelo no tiene fricción o su ángulo de fricción es igual a cero. A continuación, se muestran las ecuaciones utilizadas para los factores de profundidad del suelo en estudio.

Fcd= factor de profundidad que se relaciona con la cohesión del suelo, su fórmula es:

$$Fcd = Fqd - \frac{1 - Fqd}{Nc * \tan(\Phi)}$$

Fqd= factor de profundidad relacionado con la fuerza que ejerce el suelo en la profundidad de desplante

- **Df/B <=1**

$$Fqd = 1 + 2 \tan(\Phi) (1 - \sin(\Phi))^2 \frac{Df}{B}$$

- **Df/B >1**

$$Fqd = 1 + 2 \tan(\Phi) (1 - \sin(\Phi))^2 \tan^{-1} \left(\frac{Df}{B} \right)$$

Fγd= factor de profundidad relacionado directamente con el peso específico del suelo, para todos los casos mencionados anteriormente, este factor es 1.

➤ **Carga ejercida por el suelo**

Es el coeficiente de la fuerza que ejerce el suelo a una determinada profundidad, siendo esta la profundidad de desplante donde se cimentara la estructura, su ecuación es la siguiente:

$$q = Df * \gamma d$$

➤ **Ancho de la zapata**

Este ancho es un punto de partida para sus dimensiones y define el tipo de zapata que se utilizará, ya sea cuadrada o rectangular según la relación ancho-longitud (B/L). En el proyecto se realizará una zapata cuadrada de dimensiones desconocidas por lo que se realizará una gráfica donde se evidencie la capacidad ultima de carga del suelo, variando las dimensiones del ancho de la zapata, para así tener un punto de partida para definir la capacidad de cada zapata y las cargas que se ejercerán a cada una y así poder diseñar las dimensiones adecuadas.



7.1.2. Cálculos

Tabla 31. Factores de capacidad de carga

Factores de capacidad de carga	
Nq	14,72
Nc	25,80
NY	16,72

Fuente: Autores.

Tabla 32. Factores de forma

Factores de forma	
Fcs	2,753
Fqs	1,532
f _{ys}	0,6

Fuente: Autores.

Tabla 33. Factores de inclinación

Factores de inclinación	
Fci	1
Fqi	1
f _{yi}	1

Fuente: Autores.

Se diseñarán zapatas cuadradas cuya relación largo sobre ancho L/B es 1 y se varia la profundidad de desplante, definida por el diseño estructural, se varia las dimensiones de la zapata para obtener el rango de valores de la capacidad de soporte del suelo y así definir según las cargas generadas de la estructura sobre el suelo, la mejor alternativa de diseño para las dimensiones de las zapata a diseñar para la estructura. En las tablas 35 a la 43 se evidencia la capacidad de carga ultima y admisible del suelo en Kpa

En la tabla 34 se evidencia los valores de la carga ejercida por el suelo variando este valor con la profundidad de desplante

Tabla 34. valores de carga ejercida por el suelo

Df (m)	q (Kn/m3)	D (m)	q (Kn/m3)	Df (m)	q (Kn/m3)
1,5	29,21	1,8	35,05	2,1	40,89
1,6	31,15	1,9	36,99	2,2	42,83
1,7	33,10	2	38,94	2,3	44,78

Fuente: Autores.



Tabla 35. Capacidad de soporte para profundidad de 1,5 metros

B	Df= 1,5 m	
	Q ult	Q adm
1	828,578	276,19
1,1	838,860	279,62
1,2	849,057	283,02
1,3	859,187	286,40
1,4	869,266	289,76
1,5	665,918	221,97

Fuente: Autores.

Tabla 36. Capacidad de soporte para profundidad de 1,6 metros

B	Df= 1,6 m	
	Q ult	Q adm
1	871,731	290,58
1,1	882,081	294,03
1,2	892,334	297,44
1,3	902,512	300,84
1,4	912,632	304,21
1,5	924,512	308,17

Fuente: Autores.

Tabla 37. Capacidad de soporte para profundidad de 1,7 metros

B	Df= 1,7 m	
	Q ult	Q adm
1	914,838	304,95
1,1	925,260	308,42
1,2	935,573	311,86
1,3	945,802	315,27
1,4	955,965	318,65
1,5	968,270	322,76

Fuente: Autores.



Tabla 38. Capacidad de soporte para profundidad de 1,8 metros

B	Df= 1,8 m	
	Q ult	Q adm
1	957,899	319,30
1,1	968,398	322,80
1,2	978,774	326,26
1,3	989,057	329,69
1,4	999,265	333,09
1,5	1012,028	337,34

Fuente: Autores.

Tabla 39. Capacidad de soporte para profundidad de 1,9 metros

B	Df= 1,9 m	
	Q ult	Q adm
1	1000,915	333,64
1,1	1011,494	337,16
1,2	1021,937	340,65
1,3	1032,276	344,09
1,4	1042,533	347,51
1,5	1055,786	351,93

Fuente: Autores.

Tabla 40. Capacidad de soporte para profundidad de 2,0 metros

B	Df= 2,0 m	
	Q ult	Q adm
1	1043,885	347,96
1,1	1054,548	351,52
1,2	1065,062	355,02
1,3	1075,460	358,49
1,4	1085,768	361,92
1,5	1099,544	366,51

Fuente: Autores.



Tabla 41. Capacidad de soporte para profundidad de 2,1 metros

B	Df= 2,1 m	
	Q ult	Q adm
1	1086,810	362,27
1,1	1097,561	365,85
1,2	1108,148	369,38
1,3	1118,609	372,87
1,4	1128,971	376,32
1,5	1143,303	381,10

Fuente: Autores.

Tabla 42. Capacidad de soporte para profundidad de 2,2 metros

B	Df= 2,2 m	
	Q ult	Q adm
1	1129,688	376,56
1,1	1140,532	380,18
1,2	1151,196	383,73
1,3	1161,723	387,24
1,4	1172,140	390,71
1,5	1187,061	395,69

Fuente: Autores.

Tabla 43. Capacidad de soporte para profundidad de 2,2 metros

B	Df= 2,3 m	
	Q ult	Q adm
1	1172,521	390,84
1,1	1183,462	394,49
1,2	1194,207	398,07
1,3	1204,801	401,60
1,4	1215,277	405,09
1,5	1230,820	410,27

Fuente: Autores.



REFERENCIAS

- [1] asociación Colombiana de Ingenieria Sismica, *Reglamento Colombiano de Construccion Sismo Resistente*, Bogotá, Cundinamarca: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010.
- [2] J. Diebel, J. Norda y O. Kretchmer, «Weather Spark,» Cedar Lake Ventures, Inc, 2019. [En línea]. Available: <https://es.weatherspark.com/y/24273/Clima-promedio-en-Villavicencio-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Clouds>. [Último acceso: 4 Febrero 2020].
- [3] A. J. Rodriguez Parra, «Mapa geologico del departamento del Meta,» MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INFORMACIÓN GEOCIENTÍFICA, MINERO-AMBIENTAL Y NUCLEAR, Bogotá, 2001.
- [4] G. E. Chicangana Montón, C. A. Vargas Jimenez, A. Caneva Rincón , C. Mojica Sanchez, T. Hernandez Hernandez , J. Ardila Escobar y A. Bernal Jimenez , «la sociedad frente a la gestion del riesgo: caso sobre la amenaza sismica en la ciudad de Villavicencio,» *Revista Boletín de Ingenieria*, vol. 1, nº 1, 21 Junio 2010.
- [5] V. Guadalupe, «Precision topografica,» 2018. [En línea]. Available: <http://precisiontopografica.mx/nosotros/>. [Último acceso: 17 Febrero 2020].
- [6] INGEGAR INGENIERIA E.U., «Informe final estudio de suelos proyecto Urbanizacion La Madrid Villaviencio-Meta,» Curaduria Urbana de Villavicencio, Villavicencio, 2010.