ConstruTerra S.A.S
GEOTECNIA E INGENIERÍA

ESTUDIO DE SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE AERÓDROMO JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA – SANTANDER, PARA DAR CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONÁUTICA CIVIL PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN



Realizado por:

CONSTRUTERRA S.A.S.
Geotecnia e Ingeniería

Junio de 2025
Municipio de Malaga, Santander

TABLA DE CONTENIDO

1. GENERALIDADES 6
1.1. OBJETIVO GENERAL 6
1.2. LOCALIZACIÓN 6
1.2.1. Ubicación geográfica 6
1.2.2. Caracterización física del sitio 6
1.3. PROYECTO PLANTEADO 10
2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS 11
2.1. GEOLOGÍA REGIONAL 11
2.1.1. Estratigrafía 11
2.2. FORMACIÓN TIBU – MERCEDES (KITM) 12
2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 12
2.3.1. Fallas 12
2.3.2. Pliegues 13
2.4. GEOLOGÍA LOCAL 14
2.4.1. Unidades Geológicas 14
2.5. GEOMORFOLOGÍA 15
2.5.1. Área de estudio 15
2.5.2. Clasificación y Jerarquización Geomorfológica 16
3. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA, PRUEBAS DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO 18
3.1. ENSAYOS DE LABORATORIO 25
3.1.1. Ensayos de clasificación 26
3.1.2. Ensayo Corte Directo 26
3.2. NIVEL FREEATICO 26
4. ESTUDIOS Y PARÁMETROS GEOTÉCNICOS 27
4.1. CORRECCIÓN DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT) 27
4.2. PERFIL ESTRATIGRÁFICO TÍPICO 28
4.3. PROPIEDADES DE LOS SUELOS 30
5. PARÁMETROS SÍSMICOS 36
5.1. ZONIFICACIÓN SÍSMICA. 36
5.2. DEFINICIÓN DEL TIPO DE PERFIL DEL SUELO. 36
5.3. EFECTOS LOCALES 39
5.4. PARÁMETROS PARA ANÁLISIS SEUDO ESTÁTICO DE TALUDES 41
6. ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE LOS SUELOS 42
6.1. SUELOS EXPANSIVOS 42
6.2. SUELOS COLAPSABLES 43
6.3. SUELOS LICUABLES 43
7. ANÁLISIS GEOTÉCNICO 46
7.1. CRITERIOS GEOTÉCNICOS 46
7.2. CÁLCULOS Y RESULTADOS 46
7.2.1. Estados límites de falla 46
7.2.2. Estados límites de servicio 48
7.3. CAPACIDAD ADMISIBLE DEL SUELO 53
7.3.1. Coeficiente de reacción del suelo o Modulo de Balasto 54
8. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES 56

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

8.1. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EXCAVACIÓN VERTICAL, CONDICIÓN ESTÁTICA:..... 57
8.2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EXCAVACIÓN VERTICAL, CONDICIÓN DINÁMICA:..... 58
8.3. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD TALUD 1.50H:1.0V, CONDICIÓN ESTÁTICA:..... 59
8.4. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD TALUD 1.50H:1.0V, CONDICIÓN DINÁMICA:..... 60
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 61
9.1. RECOMENDACIONES PARA LA CIMENTACIÓN..... 61
9.1.1. Tipo de cimentación..... 61
9.1.2. Capacidad de soporte admisible..... 61
9.1.3. Parámetros de diseño..... 62
9.2. MANEJO DE EXCAVACIONES PARA CIMENTACIÓN..... 62
9.2.1. Coeficiente de presión de tierras..... 62
9.3. RECOMENDACIONES PARA PROTECCIÓN DE EDIFICACIONES VECINAS Y COLINDANTES 62
9.4. RECOMENDACIONES GENERALES..... 63
9.5. LIMITACIONES..... 64
10. BIBLIOGRAFÍA.....65
11. ANEXOS.....66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del municipio en el departamento..... 7
Figura 2. Localización regional del área en estudio. 8
Figura 3. Localización local del área en estudio. 9
Figura 4. Geología Regional del área de estudio..... 11
Figura 5. Mapa geológico detallado del área de estudio. 14
Figura 6. Esquema de jerarquización geomorfológica, donde se relacionan las diferentes subdivisiones con su respectiva escala de trabajo..... 16
Figura 7. Mapa de elementos geomorfológicos para el área de estudio..... 17
Figura 8. Localización de los sondeos..... 19
Figura 9. Caracterización geotécnica típica..... 30
Figura 10. Factores de seguridad a la licuación..... 45
Figura 11. Valores de A1 y A2 para el cálculo del asentamiento elástico (según Christian y Carrier, 1978). [Christian, J.T. y Carrier, W.D. (1978)..... 49
Figura 12. Capacidad de soporte a 5.5 metros de profundidad, factor de seguridad de 3.0, asentamiento inmediato máximo de 2.54 cm y relación de L/B igual a 3.0. 54
Figura 13. Módulo de Balasto para cimientos relación de L/B igual a 30. 55
Figura 14. Análisis de estabilidad excavación vertical, condición estática. 57
Figura 15. Análisis de estabilidad excavación vertical, condición dinámica. 58
Figura 16. Análisis de estabilidad talud 1.50H:1.0V, condición estática. 59
Figura 17. Análisis de estabilidad talud 1.50H:1.0V, condición dinámica..... 60
Figura 17. Esquema de la cimentación del Box Culvert 61

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Sondeo 1. 20
Fotografía 2. Sondeo 2. 20
Fotografía 3. Sondeo 3. 21
Fotografía 4. Recuperación de muestras. 21

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas de los sondeos. 18
Tabla 2 Registro de ensayos de campo y exploración sondeo 1. 24
Tabla 3 Registro de ensayos de campo y exploración sondeo 2. 24
Tabla 4 Registro de ensayos de campo y exploración sondeo 3. 25
Tabla 5 Ensayos de laboratorio realizados. 25
Tabla 6. Resultados ensayo de clasificación. 26
Tabla 7 Resultado ensayo de corte directo. 26
Tabla 8. Factores de corrección del ensayo SPT. 27
Tabla 9. Corrección del ensayo SPT, Sondeo 1. 28
Tabla 10. Corrección del ensayo SPT, Sondeo 2. 29
Tabla 11. Corrección del ensayo SPT, Sondeo 3. 29
Tabla 12. Correlaciones entre N1 obtenido de SPT y ϕeq 31
Tabla 13. Correlaciones entre N45 (caso Colombia) obtenido de SPT y ϕeq 31
Tabla 14. Relación entre el valor de N del ensayo de penetración estándar (SPT) y la consistencia del suelo 31
Tabla 15. Correlación entre valoración de la compacidad relativa y el número de golpes del ensayo de penetración estándar 32
Tabla 16. Módulo de elasticidad a partir de correlaciones con el número de golpes (N) del SPT. 32
Tabla 17. Propiedades geotécnicas tenida en cuenta. 33
Tabla 18. Parámetros geotécnicos 35
Tabla 19. Ecuaciones de correlación velocidades de onda de corte VS con el número de golpes (N) de la prueba de SPT, publicadas en el mundo. 36
Tabla 20. Perfil de suelo sondeo 1. 37
Tabla 21. Perfil de suelo sondeo 2. 38
Tabla 22. Perfil de suelo sondeo 3. 38
Tabla 23. Clasificación de los perfiles de suelo. 39
Tabla 24. Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro. 40
Tabla 25. Valores del coeficiente Fv, para la zona de períodos intermedios del espectro. 40
Tabla 26. Valores del coeficiente Fv, para la zona de períodos intermedios del espectro. 41
Tabla 27. Clasificación de suelos expansivos. 42
Tabla 28. Análisis cualitativo del potencial de expansión. 42
Tabla 29. Factor de escala de magnitud. 44
Tabla 30. Capacidad de soporte por método de falla de rotura para una profundidad de cimentación de 5.5 m, factor de seguridad de 3.0 y relación de L/B igual a 3.0. 48
Tabla 31. Asentamientos inmediatos para diferentes anchos de cimentación y profundidad de desplante de 5.5 m y L/B igual a 3.0. 50

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Tabla 32. Asentamientos por consolidación para el máximo ancho de cimentación recomendado y a una profundidad de desplante de 5.5 m. 52
Tabla 33. Asentamientos por consolidación en el tiempo. 53
Tabla 34. Capacidad de soporte a 5.5 metros de profundidad, factor de seguridad de 3.0, asentamiento inmediato máximo de 2.54 cm y relación de L/B igual a 3.0. 53
Tabla 35. Módulo de Balasto para anchos entre 1.0 y 4.0 metros. 55
Tabla 36. Parámetros. 56

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

1. GENERALIDADES

1.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar el estudio geotécnico y de suelos que permita definir las propiedades y condiciones del subsuelo con el fin de conocer y recomendar la cimentación para el Mejoramiento de Aeródromo Jerónimo de Aguayo del Municipio de Málaga – Santander, para dar Cumplimiento al Requerimiento de la Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil para la Obtención de la Certificación de Operación.

1.2. LOCALIZACIÓN

El área en estudio se encuentra ubicada en el sector urbano del municipio de Málaga, departamento de Santander.

1.2.1. Ubicación geográfica

Málaga se encuentra ubicada a 120 kilómetros de Bucaramanga, capital del Departamento de Santander, y es la capital de la provincia García Rovira. Respecto al paralelo del Ecuador y Meridiano de Greenwich, la cabecera municipal está localizada a 6º 41' de latitud norte y a 72º 43' de longitud occidental.

Málaga tiene un área de 58 kilómetros cuadrados; sus límites intermunicipales son: al norte con el municipio de Concepción; al sur con el Municipio de San José de Miranda; al oriente con el municipio de Enciso; y por el occidente con los municipios de Molagavita y San Andrés.

1.2.2. Caracterización física del sitio

- Precipitación anual promedio: 2235 mm
- Temperatura Mínima Promedio: 11.0 ºC
- Temperatura Máxima Promedio: 19.0 ºC

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Figura 1. Localización del municipio en el departamento.



Fuente: Tomado de Google Maps

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Figura 2. Localización regional del área en estudio.

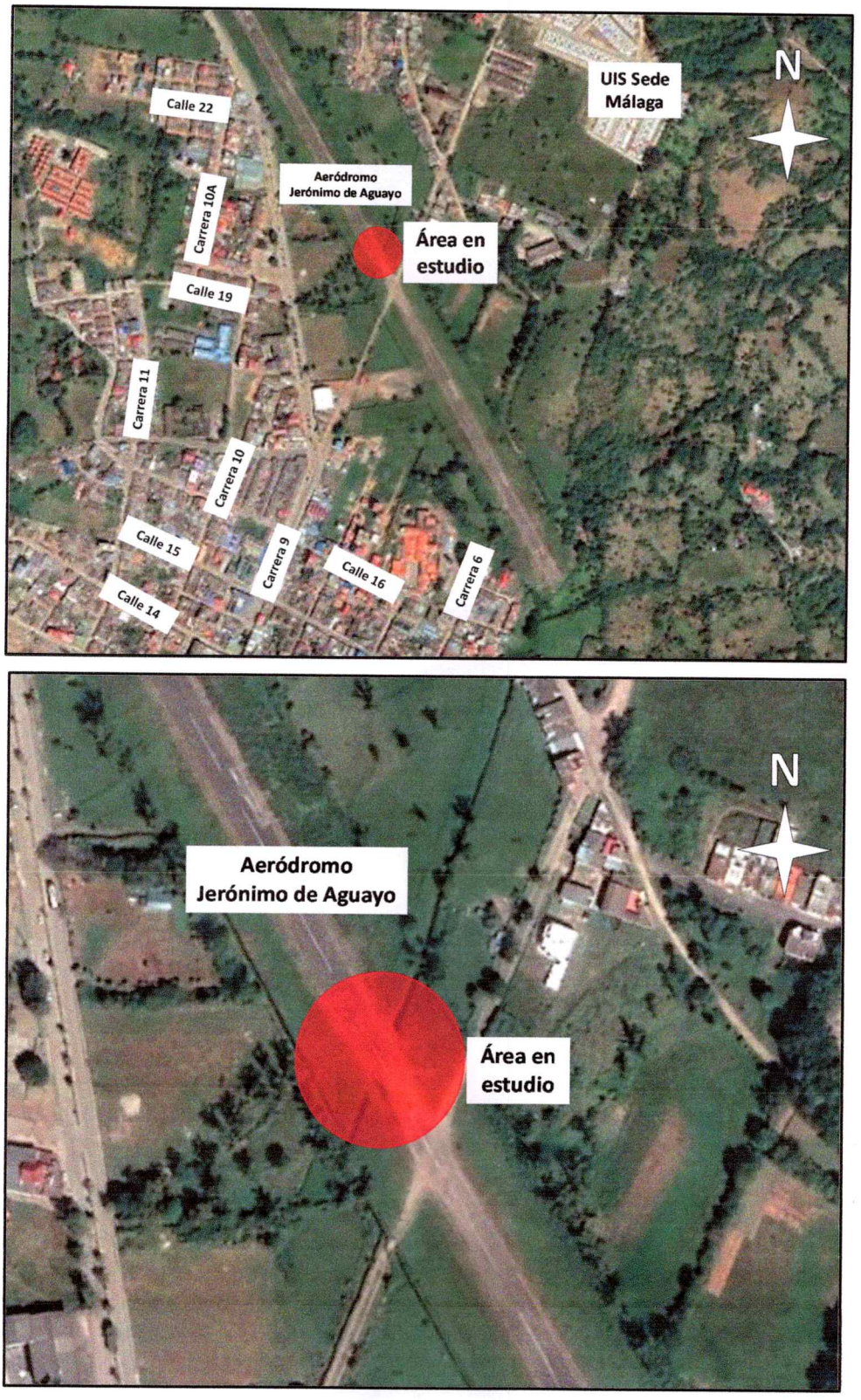


Fuente: Editado de Google Earth

El proyecto se localiza en el Aeródromo Jerónimo de Aguayo, al norte del sector urbano del municipio de Málaga.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Figura 3. Localización local del área en estudio.



Fuente: Editado de Google Earth

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

1.3. PROYECTO PLANTEADO

El proyecto consiste en la construcción de un (1) box culvert, en el Aeródromo Jerónimo de Aguayo, al norte del sector urbano del municipio de Málaga.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

El territorio del Municipio de Málaga se localiza sobre la cordillera oriental, geológicamente se sitúa en extremo meridional (borde oriental) del Macizo de Santander, en la parte sur del páramo del Almorzadero.

2.1.1. Estratigrafía

El área Municipal presenta Unidades Litológicas sedimentarias correspondientes al periodo Jurásico (Formación Girón), periodo cretáceo inferior y superior, siendo formaciones con nomenclatura de la cuenca de Maracaibo, como son Formación Rionegro, Tibú-Mercedes, Aguardiente, Capacho y La Luna; una unidad litológica del periodo Terciario (Formación Carbonera) y depósitos cuaternarios de origen aluvial y de Derrubio.

Figura 4. Geología Regional del área de estudio.



Fuente Geología de la plancha 136 Málaga INGEOMINAS.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

2.2. FORMACIÓN Tibu – Mercedes (Kitm)

La Unidad aflora en la mayor parte del municipio, en territorio de las Veredas San Luis, Buenavista, Pescaderito, Pescadero, Guásimo, Barzal, Calichal, pequeño sector de Tierra Blanca y todo el casco urbano, conformado un relieve quebrado a ondulado; cubre un área de 3.292,38 Hectáreas que representan un 56,50% del área del municipio.

La Unidad es la unión de dos formaciones, Tibú y Mercedes, la Formación Tibú consta en la base de areniscas negras de grano grueso y el techo son grandes bancos de calizas grises fosilíferas intercaladas con delgados niveles de lutitas negras y areniscas de grano fino, micáceas y ferruginosas; un espeso paquete de lutitas negras físiles es el contacto neto conformable entre la Formación Tibú y la Formación Mercedes. La Formación Mercedes es una intercalación de calizas grises fosilíferas, a veces arenosas, con lutitas oscuras a negras, micáceas y carbonosas, con areniscas grises a blancas de grano fino a medio, cuarcíticas localmente calcáreas. El espesor promedio de la unidad en la zona de Málaga es de 350 metros.

El límite superior con la suprayacente Formación Aguardiente es concordante y gradacional; el carácter discordante o concordante de su contacto con la infrayacente Formación Rionegro, no está bien definido.

Las Formaciones Tibú y Mercedes derivan su nombre del Río Tibú y Valle Mercedes en el área de la Concesión Barco (NOTESTEIN, et al., 1944). Estas Formaciones parecen ser el correspondiente litológico de las Formaciones Rosa Blanca, Paja y Tablazo en la cuenca del Valle Medio del Magdalena (WARD, et al., en imprenta).

La edad de la Formaciones Tibú y Mercedes ha sido considerada como Aptiano Superior a Albiano Inferior (NOTESTEIN, et al., 1944).

2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el territorio Municipal los eventos tectónicos se manifiestan principalmente en fracturamientos y plegamientos que estructuras sinclinales y anticlinales; la principal fractura la constituye la Falla del Río Servitá, en el límite oriental del municipio y dentro del territorio se presentan varias fallas paralelas y transversales a la del Servitá, como puede observarse en el Mapa Geológico.

2.3.1. Fallas

Se presentan cinco fracturas de tipo inverso, transversales a la Falla del río Servitá y tres paralelas a esta, de tipo normal. Sólo tres de las nueve fallas tienen nombre dado por el Ingeominas, las restantes se les ha asignado nombre según el sector que atraviesan.

- **Falla del Río Servitá:**

Esta fractura sigue el curso del río Servitá, constituye el límite entre el Macizo de Santander y la franja sedimentaria del borde oriental del macizo, la cual se abre en dos, la que pasa por el territorio del Municipio de Málaga tiene un trazo rectilíneo y sinuoso y se inclina hacia el oeste, pone en contacto rocas cretácicas con terciarias y causa inversiones en los sedimentos cretácicos y terciarios.

- **Falla El Término**

Es una falla inversa con dirección NE, se intercepta con la Falla del Río Servitá, levanta la base (bloque izquierdo), su plano de falla sigue el valle encajonado de la Quebrada El Término.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

- **Falla Calichal.**

Fractura con dirección E – W interceptada por las fallas del Río Servitá y la Falla de Málaga, vuelve a continuarse en la parte alta del municipio, al oeste. Es de tipo inverso de bajo ángulo donde el bloque derecho (territorio Veredas Calichal y Pescadero) está levantado.

- **Falla Buenavista**

Falla inversa de bajo ángulo con dirección E-W, donde el bloque izquierdo (territorio veredas San Luis y Buenavista) está levantado, es interceptada por las fallas El Alto y Málaga e intercepta la falla Alisal.

- **Falla Agua Blanca**

Fractura con dirección NE, su plano sigue el curso de la Quebrada Agua Blanca hasta encontrarse con la Falla del Río Servitá, es interceptada por la Falla Calichal.

- **Falla Guásimo**

Tiene dirección NE, el bloque izquierdo (territorio por encima de la cota 1800) se encuentra levantado, se intercepta con la falla del Río Servitá.

- **Falla de Málaga**

Fractura con dirección N-S paralela a la Falla del Servitá, es de tipo norma de débil salto, que separa el flanco abrupto del Sinclinal de Málaga de su núcleo, donde el flanco derecho (territorio del casco urbano) se encuentra hundido, es posterior a las fallas transversales de tipo inverso.

- **Falla El Alto**

Falla de tipo normal con dirección N-S paralela a la del Servitá, su plano de falla se traza por encima de los 3.000 m.s.n.m., el bloque oriental se encuentra hundido; al norte, al interceptarse con la prolongación de la falla Calichal, cambia levemente su dirección al noreste, donde, por encima de la cota 3.200, se divide en dos, resultado una falla paralela con dirección NS, La Falla Alisal, que hacia el sur se interfecta con la falla Buenavista y se pierde; al norte continua solo una sola fractura, que sigue siendo la Falla El Alto.

2.3.2. Pliegues

El territorio del Municipio de Málaga se ubica entre una amplia estructura anticlinal elevada, algo eyectiva, que forma la divisoria de aguas de los ríos Guaca y Servitá. El límite oeste de esta estructura lo constituye la Falla de Baraya y el límite Este, La Falla del Servitá. El flanco oriental de esta gran estructura presenta complicaciones estructurales (fallamientos y plegamientos) que han formado una zona de Anticlinal y sinclinal, que son las estructuras características del territorio de Málaga.

- **Anticlinal de Pantano Grande**

Este pliegue forma la verdadera estructura que separa las aguas del Río Servitá y del Río Guaca y permite el afloramiento de las areniscas y calizas basales del cretácico a alturas considerables (3.000 m en el Alto de Málaga) por desmantelamiento de su cresta (JULIVERT, 1960, p. 23). Este anticlinal es muy asimétrico, su flanco oriental es abrupto con buzamientos fuertes de las areniscas y las calizas, tal como se observa al oeste de Málaga; este flanco sirve a su vez de flanco oeste del Sinclinal de Málaga. El núcleo del anticlinal lo constituye las rocas jurásicas de la Formación Girón.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

- **Sinclinal de Málaga**

Estructura asimétrica que cierra al sur de San José de Miranda, cortada transversalmente por la Falla del Servitá. El núcleo lo constituye la Formación Tibú – Mercedes, el flanco oeste aparece fracturado por la Falla de Málaga, que es de débil salto y genera que este flanco sea abrupto y no presente límite tectónico neto con el flanco oriental del anticlinal.

2.4. GEOLOGÍA LOCAL

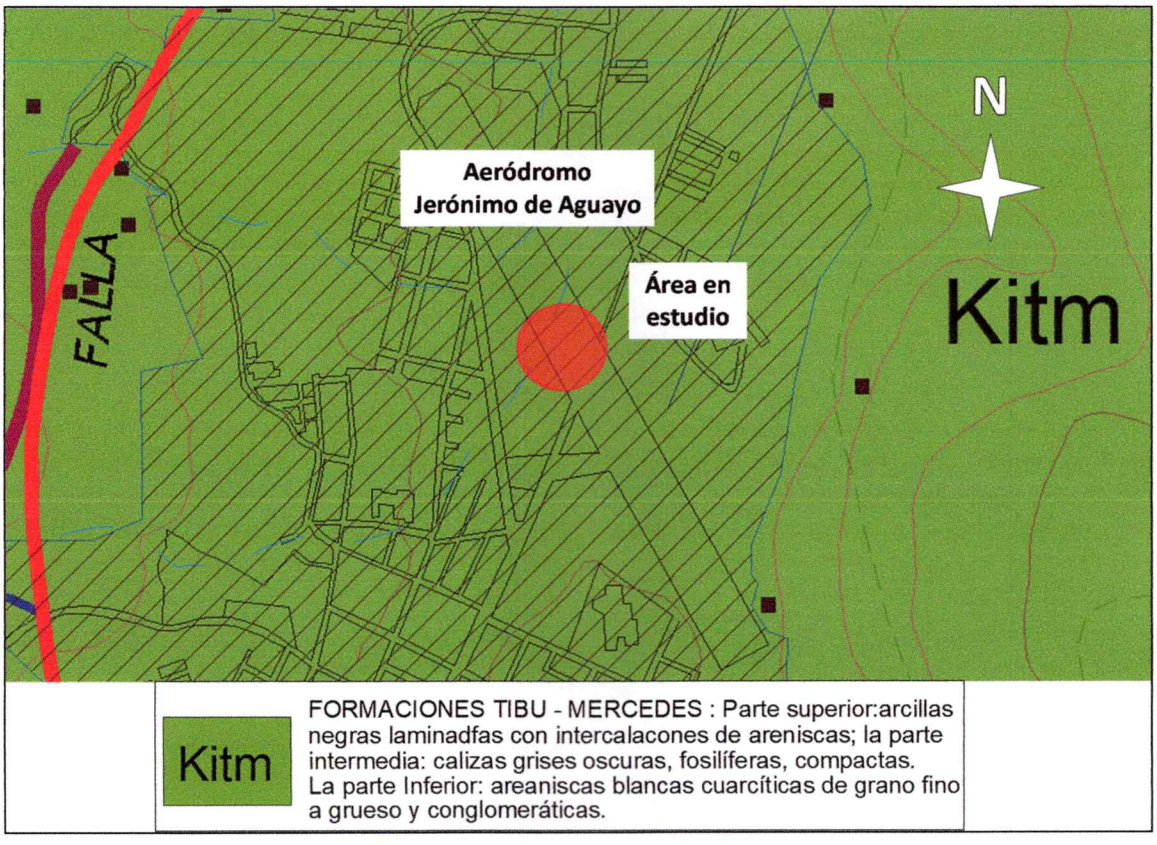
El área Municipal presenta Unidades Litológicas sedimentarias correspondientes al periodo Jurásico (Formación Girón), periodo cretáceo inferior y superior, siendo formaciones con nomenclatura de la cuenca de Maracaibo, como son Formación Ríonegro, Tibú-Mercedes, Aguardiente, Capacho y La Luna; una unidad litológica del periodo Terciario (Formación Carbonera) y depósitos cuaternarios de origen aluvial y de Derrubio.

En este numeral se presenta la información obtenida del trabajo de campo realizado para la elaboración del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT – 2015), en el área de estudio.

2.4.1. Unidades Geológicas

En el área de trabajo se presenta superficialmente suelos residuales de la Formación Tibu – Mercedes.

Figura 5. Mapa geológico detallado del área de estudio.



Fuente: EOT Málaga.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

- **Formación Tibú – Mercedes:**
  La Unidad aflora en la mayor parte del municipio, en territorio de las Veredas San Luis, Buenavista, Pescaderito, Pescadero, Guásimo, Barzal, Calichal, pequeño sector de Tierra Blanca y todo el casco urbano, conformado un relieve quebrado a ondulado; cubre un área de 3.292,38 Hectáreas que representan un 56,50% del área del municipio.

  La Unidad es la unión de dos formaciones, Tibú y Mercedes, la Formación Tibú consta en la base de areniscas negras de grano grueso y el techo son grandes bancos de calizas grises fosilíferas intercaladas con delgados niveles de lutitas negras y areniscas de grano fino, micáceas y ferruginosas; un espeso paquete de lutitas negras físiles es el contacto neto conformable entre la Formación Tibú y la Formación Mercedes. La Formación Mercedes es una intercalación de calizas grises fosilíferas, a veces arenosas, con lutitas oscuras a negras, micáceas y carbonosas, con areniscas grises a blancas de grano fino a medio, cuarcíticas localmente calcáreas. El espesor promedio de la unidad en la zona de Málaga es de 350 metros.

  El límite superior con la suprayacente Formación Aguardiente es concordante y gradacional; el carácter discordante o concordante de su contacto con la infrayacente Formación Rionegro, no está bien definido.

  Las Formaciones Tibú y Mercedes derivan su nombre del Río Tibú y Valle Mercedes en el área de la Concesión Barco (NOTESTEIN, et al., 1944). Estas Formaciones parecen ser el correspondiente litológico de las Formaciones Rosa Blanca, Paja y Tablazo en la cuenca del Valle Medio del Magdalena (WARD, et al., en imprenta).

  La edad de la Formaciones Tibú y Mercedes ha sido considerada como Aptiano Superior a Albiano Inferior (NOTESTEIN, et al., 1944)

2.5. GEOMORFOLOGÍA

Las geoformas actuales de terreno corresponden a una respuesta de la interacción dinámica de factores de tipo geológico, hidrológico, climático, cobertura vegetal y acción continua de procesos de denudación como la erosión y procesos de remoción, los cuales muchas veces son acelerados por actividades antrópicas., los cuales como resultado se tiene las diversas formas del paisaje.

2.5.1. Área de estudio

La descripción de los elementos geomorfológicos del área de estudio, se realizó con base en el análisis de la información recopilada en la fase de campo.

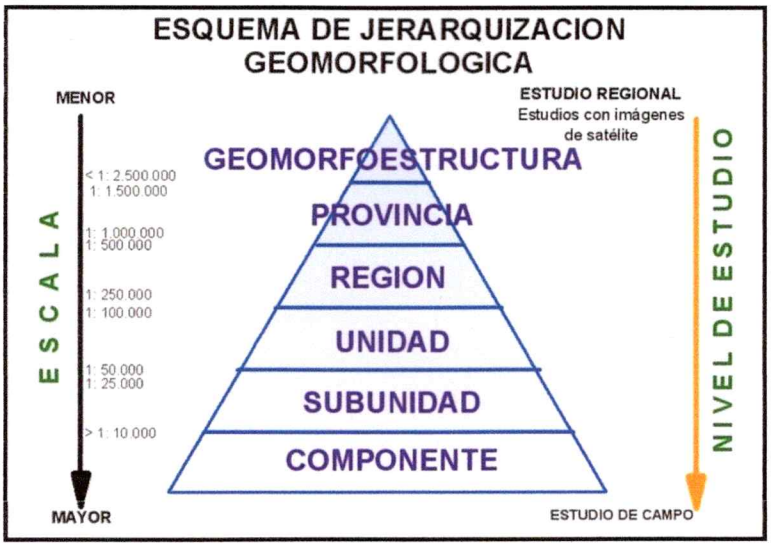
Esta descripción se desarrolla en varios aspectos entre los que se considera: morfogénesis, morfometría y morfodinámica. Cada una de estas variables permite conocer los distintos procesos a los cuales es sometida la superficie terrestre y las implicaciones del modelamiento del paisaje.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

2.5.2. Clasificación y Jerarquización Geomorfológica

Para este fin se sigue los lineamientos propuestos por Carvajal (2012) en la "Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia, Servicio Geológico Colombiano (SGC)" (Figura 6), en la cual se relaciona las escalas de trabajo con la subdivisión geomorfológica, génesis y ambientes morfogenéticos.

Figura 6. Esquema de jerarquización geomorfológica, donde se relacionan las diferentes subdivisiones con su respectiva escala de trabajo.



Fuente: Modificado de Carvajal 2012.

De acuerdo con la jerarquización geomorfológica presentada por Carvajal (2012), se toma como referencia para este estudio la subdivisión de componente geomorfológico a escala > 1:10.000; esta categoría se encuentra definida fundamentalmente por los contrastes morfométricos que relacionan las diferencias litoestratigráficas con la correspondiente topografía del terreno y los diferentes procesos morfodinámicos activos.

a. Morfogénesis

En el área de estudio se identificó 1 componente geomorfológico de acuerdo con las expresiones del terreno en superficie y el modelado de estas por factores ambientales propios del sector, apoyado esto en la cartografía detallada realizada del terreno para así definir de una mejor manera los contornos de estas subunidades geomorfológicas.

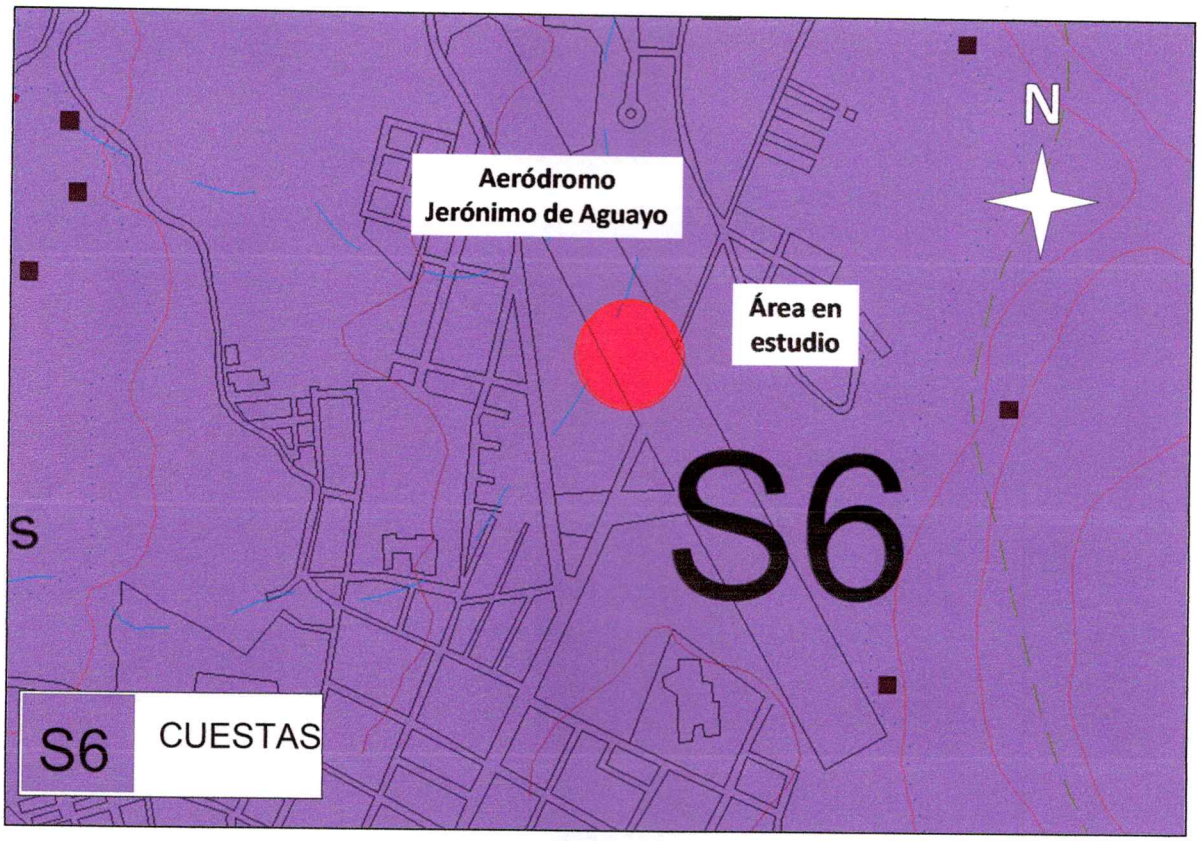
- **Geoforma de origen estructural denudacional**

  - **Cuestas (S6):**
    Esta forma es un paisaje monoclinal formado como consecuencia de la degradación parcial de estratos sedimentarios suavemente plegados. Se caracteriza por una pendiente frontal empinada o escarpe y una ladera estructural de contrapendiente suave.

    El escarpe está constituido por secuencia de areniscas y calizas, por lo cual la ladera estructural es más regular, ligeramente a moderadamente

disectada, con suelos bien definidos y cierto grado de madurez. Se sitúa en las veredas de Calichal (entre los tres sectores de la vereda, sobre vía a Concepción), Pantano Grande (sector Alizal y Pantano Grande, sobre cañada Las Flores, Potreritos y Colorada), el casco urbano se ubica sobre esta geoforma. Tiene una extensión de 932,72 Hectáreas que corresponden al 16,36% del territorio municipal.

Figura 7. Mapa de elementos geomorfológicos para el área de estudio.



Fuente: EOT Málaga.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

3. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA, PRUEBAS DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

La exploración de campo consiste en la ejecución de apiques, trincheras, perforación o sondeo con muestreo o sondeos estáticos o dinámicos, u otros procedimientos exploratorios reconocidos en la práctica, con el fin de conocer y caracterizar el perfil del subsuelo afectado por el proyecto, ejecutar pruebas directas o indirectas sobre los materiales encontrados y obtener muestras para la ejecución de ensayos de laboratorio. (H.3.2.2 – Titulo H – NSR – 10).

Teniendo en cuenta las características del proyecto a desarrollar en el área de estudio y con el fin de determinar la estratigrafía del terreno, se llevó a cabo una campaña de exploración del subsuelo, la cual consistió en la ejecución de perforaciones directas con equipo mecánico para extracción de muestras y ensayos de laboratorio.

Para el proyecto a desarrollar en el área de estudio, se contempló la ejecución de tres (3) sondeos.

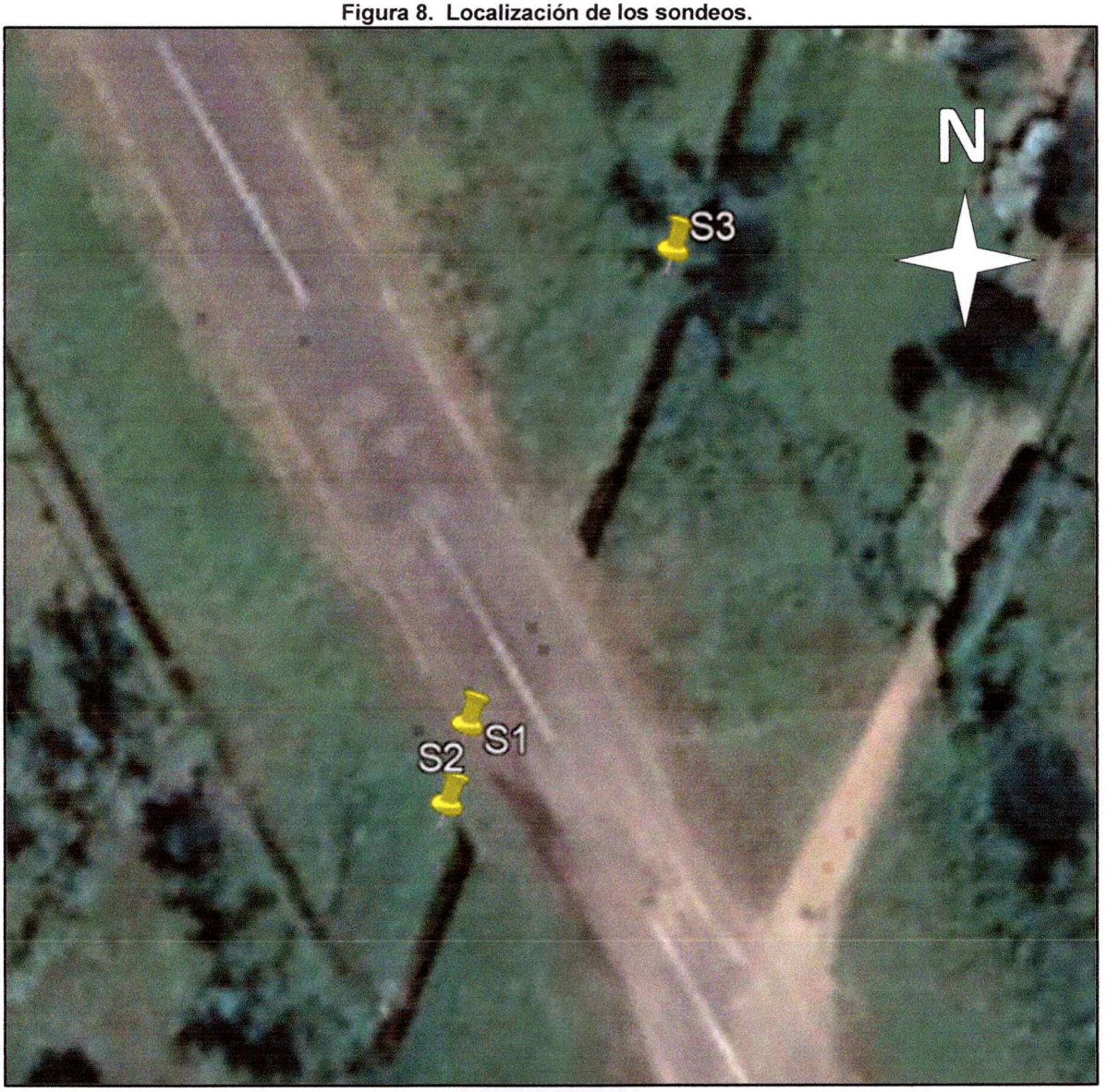
Tabla 1 Coordenadas de los sondeos.

EXPLORACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ESTE	NORTE
SONDEO 1	6°42'22.50"	72°43'50.30"	5029757.62	2299037.08
SONDEO 2	6°42'22.23"	72°43'50.37"	5029755.47	2299028.79
SONDEO 3	6°42'24.10"	72°43'49.60"	5029779.07	2299086.21

A continuación, se detalla la localización de la exploración de campo con recuperación de muestra semialterada mediante ensayo de penetración estándar (SPT).

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Figura 8. Localización de los sondeos.



Fuente: Editado de Google Earth

A continuación, se presenta el registro fotográfico de alguna de las muestras obtenidas en la exploración de campo, mediante sondeos requeridos para el estudio geotécnico y de suelos, con el fin de conocer las propiedades físicas mecánicas de los suelos en el área de estudio.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Fotografía 1. Sondeo 1.



Fuente: Autor

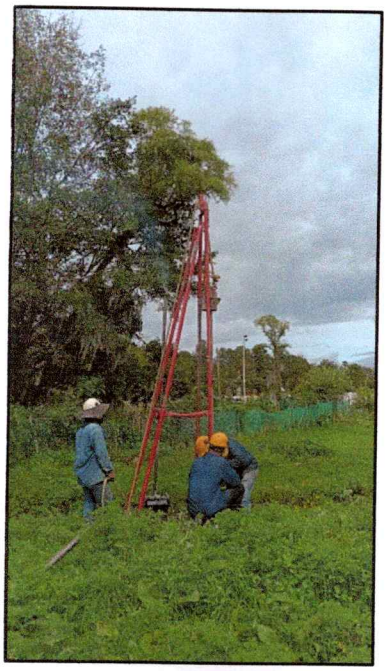
Fotografía 2. Sondeo 2.



Fuente: Autor

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Fotografía 3. Sondeo 3.



Fuente: Autor

Fotografía 4. Recuperación de muestras.

Sondeo 1	
0.00-1.00	1.00-2.00
	
2.00-3.00	3.00-4.00
	

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

4.00-5.00	5.00-6.00
	

Sondeo 2	
0.00-1.00	1.00-2.00
	
2.00-3.00	3.00-4.00
	
4.00-5.00	5.00-6.00
	

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Sondeo 3	
0.00-1.00	1.00-2.00
	
2.00-3.00	3.00-4.00
	
4.00-5.00	5.00-6.00
	

Durante la ejecución de los sondeos fueron identificados y descritos visualmente los diferentes estratos.

Adicionalmente, se adelantó el ensayo de penetración estándar (SPT) con el fin de correlacionarlo con parámetros físicos y mecánicos, recuperando muestras alteradas con el tubo de cuchara partida (Split Spoon).

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Tabla 2 Registro de ensayos de campo y exploración sondeo 1.

Profundidad (m)			Ensayo SPT			Ncampo	Descripción
			6"	12"	18"		
0,00	-	0,50	3	5	8	13	SUELO COMPUESTO POR ARENA LIMOSA, DE CONSISTENCIA COMPACTA, SATURADA DESDE 1,0 METRO DE PROFUNDIDAD, PLASTICIDAD MEDIA.
0,50	-	1,00	9	11	13	24	
1,00	-	1,50	12	16	21	37	
1,50	-	2,00	22	16	12	28	
2,00	-	2,50	8	6	7	13	
2,50	-	3,00	7	7	8	15	
3,00	-	3,50	6	7	5	12	
3,50	-	4,00	5	6	8	14	
4,00	-	4,50	5	6	9	15	
4,50	-	5,00	9	7	7	14	
5,00	-	5,50	7	11	13	24	
5,50	-	6,00	12	10	11	21	
			RECHAZO				

Tabla 3 Registro de ensayos de campo y exploración sondeo 2.

Profundidad (m)			Ensayo SPT			Ncampo	Descripción
			6"	12"	18"		
0,00	-	0,50	5	5	4	9	SUELO COMPUESTO POR ARENA LIMOSA Y LIMO ARENOSO, DE CONSISTENCIA SUELTA Y BLANDA, SATURADA SUPERFICIALMENTE, PLASTICIDAD MEDIA.
0,50	-	1,00	6	10	15	25	
1,00	-	1,50	12	15	20	35	
1,50	-	2,00	12	15	10	25	
2,00	-	2,50	8	6	4	10	
2,50	-	3,00	4	4	4	8	
3,00	-	3,50	4	4	6	10	
3,50	-	4,00	7	7	7	14	SUELO COMPUESTO POR ARENA LIMOSA Y LIMO ARENOSO, DE CONSISTENCIA COMPACTA, SATURADA SUPERFICIALMENTE, PLASTICIDAD MEDIA.
4,00	-	4,50	5	6	6	12	
4,50	-	5,00	6	7	8	15	
5,00	-	5,50	7	6	7	13	
5,50	-	6,00	10	12	10	22	
			RECHAZO				

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Tabla 4 Registro de ensayos de campo y exploración sondeo 3.

Profundidad (m)			Ensayo SPT 6"	Ensayo SPT 12"	Ensayo SPT 18"	Ncampo	Descripción
0,00	-	0,50	3	3	3	6	SUELO COMPUESTO POR ARENA LIMOSA Y LIMO ARENOSO, DE CONSISTENCIA SUELTA Y BLANDA, SATURADA SUPERFICIALMENTE, PLASTICIDAD MEDIA.
0,50	-	1,00	5	7	7	14	
1,00	-	1,50	6	6	5	11	
1,50	-	2,00	5	4	4	8	
2,00	-	2,50	4	4	5	9	
2,50	-	3,00	5	5	5	10	
3,00	-	3,50	3	3	3	6	
3,50	-	4,00	2	2	2	4	
4,00	-	4,50	2	3	4	7	
4,50	-	5,00	4	4	4	8	
5,00	-	5,50	4	4	5	9	
5,50	-	6,00	5	6	6	12	SUELO COMPUESTO POR ARENA LIMOSA, DE CONSISTENCIA COMPACTA, SATURADA SUPERFICIALMENTE, PLASTICIDAD MEDIA.
			RECHAZO				

3.1. ENSAYOS DE LABORATORIO.

De acuerdo al Título H.3.3 – Ensayos de laboratorio de la NSR – 10, se deberá caracterizar los diferentes materiales afectados por el proyecto, por medio de ensayos de laboratorio que permitan conocer la clasificación.

Los resultados de los ensayos de laboratorio se tendrán en cuenta para la caracterización geotécnica de los materiales identificados en el área de estudio, ver Anexo. Ensayos de laboratorio.

Tabla 5 Ensayos de laboratorio realizados.

Ensayo	Norma	No. Ensayos
Análisis granulométrico por tamizado	I.N.V.E. 123	9
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) en suelo, roca y mezcla de suelo-agregado	I.N.V.E. 122	9
Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	I.N.V.E. 126	9
Clasificación de suelos	ASTM D 2487	9
Ensayo de corte directo	I.N.V.E. 154	1

Fuente: Propia

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

3.1.1. Ensayos de clasificación

Hace referencia a la determinación del límite líquido, limite plástico, análisis granulométrico e índice de plasticidad de los suelos de la muestra (I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126).

Tabla 6. Resultados ensayo de clasificación.

Sondeo	Profundidad (m)	Humedad	% Finos	% ARENAS	% GRAVAS	L.L.	L.P.	I.P.	SUCS
1	0.00 – 1.00	15,15	29,3	42,8	27,9	30,0	27,8	2,3	SM
1	2.00 – 3.00	11,28	15,1	48,5	36,4	30,1	27,1	3,0	SM
1	4.00 – 5.00	56,34	45,5	41,2	13,3	30,0	28,2	1,8	SM
2	1.00 – 2.00	10,63	24,1	54,3	21,6	39,6	36,6	3,0	SM
2	3.00 – 4.00	30,73	53,3	34,6	12,2	32,8	29,6	3,2	ML
2	4.00 – 5.00	39,00	25,9	56,8	17,3	32,5	29,2	3,3	SM
2	5.00 – 6.00	9,11	26,3	49,1	24,6	41,4	36,9	4,5	SM
3	2.00 – 3.00	34,77	77,3	20,8	1,9	34,0	29,0	5,0	ML
3	4.00 – 5.00	17.45	64,8	31,0	4,2	33,4	28,80	4,6	ML

- La humedad es variable entre 9.11% y 56.34%, y presenta un valor promedio de 25.88%.
- El % de Finos es variable entre 15.1% y 77.3%, y presenta un valor promedio de 40.1%, que corresponde a suelos granulares.

  Los suelos que conforman el área de estudio están compuestos por arenas limosas y limos arenosos.
- Los valores de limite liquido es variable entre 30.0% y 41.4%, y presenta un valor promedio de 33.8%.

3.1.2. Ensayo Corte Directo

A continuación, se presenta el resultado del ensayo de corte directo realizado.

Tabla 7 Resultado ensayo de corte directo.

Sondeo	Profundidad (m)	Angulo de fricción (°)	Cohesión (kPa)
2	2.0 – 3.0	17	29.03

3.2. NIVEL FREEATICO

En cada una de las perforaciones realizadas, se midió el nivel freático y se identificó a una profundidad de 1.0 metro en la zona del sondeo 1 y de manera superficial en la zona del sondeo 2 y 3.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

4. ESTUDIOS Y PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

A partir de los resultados de la exploración geotécnica, de los ensayos de laboratorio y de las características del proyecto, se presenta a continuación la caracterización geotécnica y la estimación de los parámetros geotécnicos de los materiales encontrados.

4.1. CORRECCIÓN DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

La obtención de los parámetros geotécnicos se hará con base en los ensayos de laboratorio realizados, correlaciones con base en el ensayo SPT y/o retro cálculo.

Para este análisis se realizó primero la corrección del ensayo SPT, seguido de la definición de los parámetros geomecánicos de cada uno de los estratos identificados.

La forma para corregir y normalizar el N45 es la siguiente y para esto se incluirán memorias de cálculo en el informe final.

Bowles (1986) propone:

$$\boldsymbol{N\,corr = Ncampo * Cn * Ce * Cr * Cs * CB}$$

$Ce\ (n1) = Factor\ por\ pérdida\ de\ energía\ del\ marillo.$

$Cr\ (n2) = Factor\ por\ longitud\ de\ la\ varilla$

$Cs\ (n3) = Factor\ por\ revestimiento\ interno\ del\ toma\ muestras$

$CB\ (n4) = Factor\ por\ diámetro\ de\ perforación$

$Cn\ (n5) = Factor\ de\ corrección\ por\ confinamiento\ efectivo.$

Tabla 8. Factores de corrección del ensayo SPT.

FACTOR	EQUIPO VARIABLE	TÉRMINO	CORRECCIÓN
Relación de energía.	Martillo donut Martillo de seguridad Martillo automático	$C_E=E_R/60$	0,5 a 1,0 0,7 a 1,2 0,8 a 1,5
Diámetro del sondeo.	65 a 115 mm 150 mm 200 mm	C_B	1,00 1,05 1,15
Método de muestreo	Muestreo estándar Muestreo no estándar.	C_S	1,00 1,1 a 1,3
Longitud de varillas	3 a 4 m 4 a 6 m 6 a 10 m 10 a >30 m	C_R	0,75 0,85 0,95 1,00

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Con el propósito de comparar el número de golpes medidos a las diferentes profundidades, estos deben ser ajustados a una presión de sobrecarga estándar de 1 atm de presión. La resistencia a la penetración de materiales poco cohesivos depende fuertemente de la presión de confinamiento. Para las arenas, una ejecución del SPT a profundidades superficiales, tendrá un número de golpes más bajo que para la ejecución del SPT a grandes profundidades.

Este factor ha sido identificado desde hace tiempo (Gibbs y Holtz, 1957) y se hace por medio del factor Cn de forma tal que N1=CN*N y se ha estandarizado a un esfuerzo vertical de referencia igual 1 kg/cm2» 1 atmósfera = pa.

En general se recomienda que Cn ≤ 2.0, por lo cual la formulación de Skempton es la única que cumple exactamente esta recomendación.

$$CN = \frac{2}{(1 + \frac{\sigma' v}{Pa})}$$

Donde:

σ^' v= Esfuerzo vertical efectivo

Pa= 1 Atmosfera

4.2. PERFIL ESTRATIGRÁFICO TÍPICO

De los resultados de los ensayos de campo, ensayos de laboratorio y teniendo en cuenta las descripciones de la litoestratigrafía existente, se presentan a continuación el perfil típico del área en estudio.

Tabla 9. Corrección del ensayo SPT, Sondeo 1.

Profundidad (m)			Ncampo	Factores de Correccion, N					Ncorregido N_{145}	N60	Ncorregido N_{160}
				CE	CB	CR	CS	CN			
0,00	-	0,50	13	0,75	1,0	0,75	1,0	1,83	18	7	13
0,50	-	1,00	24	0,75	1,0	0,75	1,0	1,69	31	14	23
1,00	-	1,50	37	0,75	1,0	0,75	1,0	1,64	45	21	34
1,50	-	2,00	28	0,75	1,0	0,75	1,0	1,59	33	16	25
2,00	-	2,50	13	0,75	1,0	0,75	1,0	1,54	15	7	11
2,50	-	3,00	15	0,75	1,0	0,75	1,0	1,49	17	8	13
3,00	-	3,50	12	0,75	1,0	0,75	1,0	1,45	13	7	10
3,50	-	4,00	14	0,75	1,0	0,85	1,0	1,41	17	9	13
4,00	-	4,50	15	0,75	1,0	0,85	1,0	1,37	17	10	13
4,50	-	5,00	14	0,75	1,0	0,85	1,0	1,33	16	9	12
5,00	-	5,50	24	0,75	1,0	0,85	1,0	1,30	26	15	20
5,50	-	6,00	21	0,75	1,0	0,95	1,0	1,27	25	15	19

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Tabla 10. Corrección del ensayo SPT, Sondeo 2.

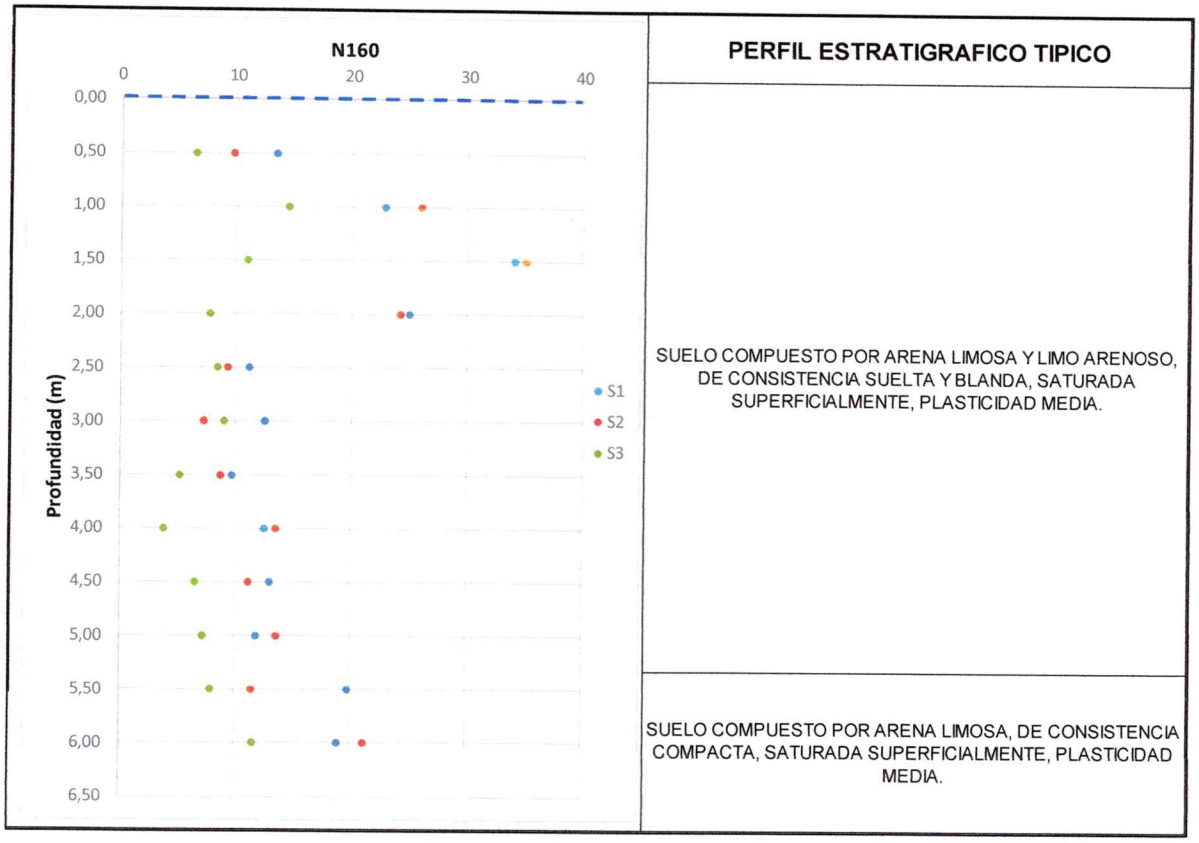
Profundidad (m)			Ncampo	Factores de Correccion, N					Ncorregido N_{145}	N60	Ncorregido N_{160}
				CE	CB	CR	CS	CN			
0,00	-	0,50	9	0,75	1,0	0,75	1,0	1,92	13	5	10
0,50	-	1,00	25	0,75	1,0	0,75	1,0	1,85	35	14	26
1,00	-	1,50	35	0,75	1,0	0,75	1,0	1,79	47	20	35
1,50	-	2,00	25	0,75	1,0	0,75	1,0	1,72	32	14	24
2,00	-	2,50	10	0,75	1,0	0,75	1,0	1,67	13	6	9
2,50	-	3,00	8	0,75	1,0	0,75	1,0	1,61	10	5	7
3,00	-	3,50	10	0,75	1,0	0,75	1,0	1,56	12	6	9
3,50	-	4,00	14	0,75	1,0	0,85	1,0	1,52	18	9	14
4,00	-	4,50	12	0,75	1,0	0,85	1,0	1,47	15	8	11
4,50	-	5,00	15	0,75	1,0	0,85	1,0	1,43	18	10	14
5,00	-	5,50	13	0,75	1,0	0,85	1,0	1,39	15	8	12
5,50	-	6,00	22	0,75	1,0	0,95	1,0	1,35	28	16	21

Tabla 11. Corrección del ensayo SPT, Sondeo 3.

Profundidad (m)			Ncampo	Factores de Correccion, N					Ncorregido N_{145}	N60	Ncorregido N_{160}
				CE	CB	CR	CS	CN			
0,00	-	0,50	6	0,75	1,0	0,75	1,0	1,92	9	3	6
0,50	-	1,00	14	0,75	1,0	0,75	1,0	1,85	19	8	15
1,00	-	1,50	11	0,75	1,0	0,75	1,0	1,79	15	6	11
1,50	-	2,00	8	0,75	1,0	0,75	1,0	1,72	10	5	8
2,00	-	2,50	9	0,75	1,0	0,75	1,0	1,67	11	5	8
2,50	-	3,00	10	0,75	1,0	0,75	1,0	1,61	12	6	9
3,00	-	3,50	6	0,75	1,0	0,75	1,0	1,56	7	3	5
3,50	-	4,00	4	0,75	1,0	0,85	1,0	1,52	5	3	4
4,00	-	4,50	7	0,75	1,0	0,85	1,0	1,47	9	4	7
4,50	-	5,00	8	0,75	1,0	0,85	1,0	1,43	10	5	7
5,00	-	5,50	9	0,75	1,0	0,85	1,0	1,39	11	6	8
5,50	-	6,00	12	0,75	1,0	0,95	1,0	1,35	15	9	12

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Figura 9. Caracterización geotécnica típica.



Fuente: Autor

4.3. PROPIEDADES DE LOS SUELOS

A partir de la identificación de los estratos con características geotécnicas similares se procede a la evaluación de los parámetros geotécnicos mínimos para la evaluación de la capacidad de soporte de la cimentación de las estructuras proyectadas. A continuación, se describe la metodología empleada para definir los parámetros geotécnicos:

4.3.1. Metodología para estimación de parámetros

Inicialmente para la determinación de los parámetros de resistencia se tendrán en cuenta los ensayos de laboratorio realizados a cada estrato, así como el uso de la información obtenida de los ensayos de campo como el SPT y los métodos geofísicos con el fin de obtener algunos de los parámetros importantes de resistencia y deformabilidad de los materiales encontrados. Para esto, se recurrirá a correlaciones e interpretaciones ampliamente usadas, partiendo de los resultados y parámetros obtenidos en trabajos realizados en la zona de interés. Esto con el fin de seguir el principio de redundancia en geotecnia a fin de obtener resultados con un mayor grado de confiabilidad.

Para el caso del SPT, se presentarán los registros del ensayo, en donde se aprecia la variación del valor de N de campo con la profundidad, importante para mejorar la definición del perfil estratigráfico.

La obtención de los parámetros de resistencia al corte teniendo en cuenta el ensayo mencionado anteriormente se realizará mediante la normalización o no, de los valores de

N de campo, dependiendo de las correlaciones seleccionadas. Lo anterior con el fin de obtener la envolvente de falla para la determinación de la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna equivalente (φeq) para los distintos materiales identificados. Parámetros asociados a deformabilidad se obtienen mediante correlaciones locales y ampliamente usadas teniendo en cuenta las características particulares de los suelos de la zona a partir de los N de campo.

Se resalta que los resultados son validados teniendo en cuenta los ensayos de laboratorio y la experiencia tanto de los profesionales como lo obtenido de proyectos anteriores en la zona de interés. Algunas de las correlaciones empleadas se presentan a continuación.

- Correlación entre número de golpes por pie del ensayo de penetración estándar (N1) y φeq

Tabla 12. Correlaciones entre N1 obtenido de SPT y φeq

Autor	$\emptyset'_{eq}$
Kishida	$15 + (20\ N1_{72})^{0,5}$

Fuente: Tomado de González (1999)

- Correlación entre número de golpes por pie del ensayo de penetración estándar para el caso de Colombia (N45) y φeq

Tabla 13. Correlaciones entre N45 (caso Colombia) obtenido de SPT y φeq

Autor	$\emptyset'_{eq}$
Kishida	$15 + (12{,}5\ N1_{45})^{0,5}$

Fuente: Tomado de González (1999)

- Consistencia del suelo:

En el caso de suelo finogranulares, el valor promedio del número de golpes obtenido en cada perforación permite caracterizar la resistencia genérica del suelo encontrado en los niveles definidos a través del parámetro de la consistencia del suelo:

Tabla 14. Relación entre el valor de N del ensayo de penetración estándar (SPT) y la consistencia del suelo

Valor de N del ensayo SPT	Consistencia del suelo
$\underline{N} < 2$	Muy blanda
$2 \leq N \leq 4$	Blanda
$4 \leq N \leq 8$	Medianamente firme
$8 \leq N \leq 15$	Firme
$15 \leq N \leq 30$	Muy firme
$\underline{N} > 30$	Dura

Fuente: Tomado de Terzaghi y Peck (1948)

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Tabla 15. Correlación entre valoración de la compacidad relativa y el número de golpes del ensayo de penetración estándar

Arenas (Bastante Segura)	
Numero de golpes por 30 cm, N	**Compacidad relativa**
$0-4$	Muy suelta
$4-10$	Suelta
$10-30$	Media
$30-50$	Compacta
Más de 50	Muy compacta

Fuente: Tomado de Ingeniería de Cimentaciones –Ralph B. Peck, 2008

- Poisson (v) y Modulo de elasticidad (E)

Se estima el módulo de elasticidad a partir de las correlaciones presentadas en el CCP-14, las cuales relacionan el número de golpes del SPT con este parámetro.

Tabla 16. Módulo de elasticidad a partir de correlaciones con el número de golpes (N) del SPT.

Tipo de suelo	**Rango típico de los valores del módulo de Young, E_s (MPa)**	**Relación de Poisson, v (adim)**
Arcilla:		
Banda sensible	2.4 -15	0.4-0.5 (sin drenaje)
Medio rígida a rígida	15-50	
Muy rígida	50-100	
Loess	15-60	0.1-0.3
Limo	2-20	0.3-0.35
Arena fina:		
Suelta	7.5-10	0.25
Medio densa	10-20	
Densa	20-25	
Arena:		
Suelta	10-25	0.20-0.36
Medio densa	25-50	
Densa	50-75	0.30-0.40
Grava:		
Suelta	25-75	0.20-0.35
Medio densa	75-100	
Densa	100-200	0.30-0.40
E_s *estimado* a partir del número de golpes del *SPT*		
Tipo de suelo		E_s (MPa)
Limos, limos arenosos, mezclas ligeramente cohesivas		$0.4N1_{60}$
Arenas limpias,finas a medias y arenas ligeramente limosas		$0.7N1_{60}$
Arenas gruesas y arenas con poca grava		$1.0N1_{60}$
Gravas arenosas y gravas		$1.1N1_{60}$
E_s *estimado a partir de* q_c (resistencia a la penetración estática de la punta del cono)		
Suelos arenosos		$4q_c$

Fuente: Tomado de la tabla C10.4.6.3-1 del Código Colombiano de Construcción de Puentes (CCP14).

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

4.3.2. Selección de parámetros de diseño

Los parámetros geomecánicos son de gran importancia para el análisis y evaluación del comportamiento esfuerzo deformación de las distintas estructuras proyectadas. Estos se determinan mediante ensayos de campo y laboratorio destinados específicamente a determinar cada una de estas propiedades o haciendo uso de correlaciones con ensayos de campo (provenientes de exploración directa e indirecta) ampliamente usadas en Colombia y alrededor del mundo, sustentadas con investigaciones desarrolladas por numerosos autores sobre distintos tipos de suelos.

En la siguiente tabla se presentan algunos de los parámetros o propiedades del suelo que se requieren para el análisis, así como aquellas necesarias en las correlaciones que se usan para determinar las anteriores y que pueden relacionarse con la evaluación de condiciones especiales como es el caso de la ocurrencia de fenómenos de expansión, colapso y licuación.

Tabla 17. Propiedades geotécnicas tenida en cuenta.

Parámetro	Símbolo	Unidad de medida	Observación
Profundidad	Z	m	Determinado de exploración directa, así como de interpretación geológica y de ensayos de campo.
Nivel freático	NF	m	Determinado de exploración directa.
Espesor	Hi	m	Determinado en la exploración de campo
Peso unitario	γ	kN/m3	Determinado mediante ensayos de laboratorio, contrastado con literatura e información existente.
Peso unitario del agua	γw	kN/m3	Se asume un valor de 9,81.
Humedad natural	w	%	Determinado mediante ensayos de laboratorio.
Límite líquido	LL	(%)	Determinado mediante ensayos de laboratorio.
Límite plástico	LP	(%)	Determinado mediante ensayos de laboratorio.
Índice de plasticidad	IP	(%)	Determinado mediante ensayos de laboratorio.
Gravedad específica	Gs		Determinada mediante ensayos de laboratorio.
Número de golpes del ensayo de campo	N		Tomado de SPT ejecutados en la exploración.
Cohesión en condición drenada	c'	kPa	Determinada mediante ensayos de corte directo u otro, o mediante correlaciones con parámetros obtenidos mediante ensayos de campo.
Ángulo de fricción interna en condición drenada	φ'	°	Determinada mediante ensayos de corte directo u otro, o mediante correlaciones con parámetros obtenidos mediante ensayos de campo.
Cohesión en condición no drenada	Su	kPa	Determinada mediante ensayos de compresión inconfinada, o mediante correlaciones con parámetros obtenidos mediante ensayos de campo.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Parámetro	Símbolo	Unidad de medida	Observación
Módulo de elasticidad	E	kPa o MPa	Determinado mediante correlaciones con ensayos de exploración directa.
Relación de Poisson	v		Determinado mediante correlaciones con ensayos de exploración directa.

Para determinar los parámetros de resistencia se realizó estadística de los datos obtenidos para todos los resultados de los ensayos de campo y de laboratorio de los diferentes sondeos. Adicionalmente, se verificó con la metodología que considera los valores de resistencia del suelo en los diferentes estratos para máximos y mínimos de cohesión y ángulo de fricción usando la regla de las 3 sigmas.

Este criterio propuesto por Dai y Wang (1992) proporciona una herramienta para estimar la variabilidad de los parámetros de diseño mediante el criterio de las tres desviaciones estándar 3σ este criterio considera que el 99.73 % de todos los valores de un parámetro que tiene distribución normal cae en un rango de tres desviaciones estándar promedio o media, por lo tanto si HCV= Valor más alto concebible del parámetro y LCV= Valor más bajo concebible del parámetro siendo estos valores aproximadamente tres desviaciones por encima o por debajo del valor promedio. La regla de las 3σ se usa para determinar los valores de la desviación estándar, pero primero se debe calcular el valor de HCV y LCV Según la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{HCV - LCV}{6}$$

En esta regla se usa una distribución normal simple como base para estimar que el rango de las tres desviaciones estándar cubre virtualmente la población de datos entera, sin embargo, es lo mismo para otras distribuciones (Harr 1987), se deduce que la regla no está restringida a una sola distribución de la variable.

Basados en análisis estadísticos, Christian and Baecher (2001), modifican la regla 3σ, y recomiendan que para una mejor estimación de la desviación estándar la diferencia entre HCV y LCV debería dividirse en 4 y no en 6, de esta manera se tiene la ecuación

$$\sigma = \frac{HCV - LCV}{4}$$

Para determinar los parámetros geotécnicos se revisan los valores obtenidos por los análisis estadísticos, así como los resultados de realizar el método basado en la regla 3σ, de tal forma que los valores de diseño de acuerdo al criterio de esta consultoría se eligen los menores entre las dos metodologías.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente se escogen los siguientes parámetros para cada uno de los estratos identificados en la exploración de campo, los valores y análisis utilizados, se pueden encontrar en los anexos.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Tabla 18. Parámetros geotécnicos

TIPO DE SUELO	PROFUNDIDAD (m)	PESO UNITARIO (KN/M3)	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	COHESIÓN (KPA)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (KPA)	Cu (KPA)
Suelto/Blando	Varía entre 0.0 a 5.5m	18.0	21.0	16.0	8126	47.0
Compacto	Variable hasta una profundidad no determinada mayor a 6.0m	18.0	29.0	16.0	11205	65.0

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

5. PARÁMETROS SÍSMICOS

5.1. ZONIFICACIÓN SÍSMICA.

Con base en el Título A, del Código de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), se puede establecer que el municipio de Málaga se encuentra en una zona de amenaza sísmica Alta. A continuación, se presentan los parámetros básicos necesarios para el diseño sísmico de las estructuras:

- Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva: Aa = 0.25
- Coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva vertical: Av = 0.25

5.2. DEFINICIÓN DEL TIPO DE PERFIL DEL SUELO.

El perfil de suelo se estableció por medio de correlaciones del N de campo y la velocidad de onda cortante.

Tabla 19. Ecuaciones de correlación velocidades de onda de corte VS con el número de golpes (N) de la prueba de SPT, publicadas en el mundo.

Autores	Año de publicación	Ecuación
Imai y Yoshimura	(1970)	$Vs=76N^{0.33}$
Ohba y Toriumi	(1970)	$Vs=84N^{0.31}$
Ohta y Goto	(1978)	$Vs=85.34N^{0.348}$
Japan Road Association	(2002)	$Vs=100N^{1/3}$
Alfaro	(2007)	$Vs=99.783N^{0.333}$
Maheswari et. al.,	(2008)	$Vs=95.641N^{0.301}$

Definida la velocidad de onda de acuerdo a las correlaciones mencionadas anteriormente, se realiza el análisis de acuerdo a lo establecido en el titulo A de la NSR – 10, articulo A.2.4.3.1 – Velocidad media de la onda de cortante, que establece:

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

A.2.4.3.1 — *Velocidad media de la onda de cortante* — La velocidad media de la onda de cortante se obtiene por medio de:

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{v_{si}}} \qquad \text{(A.2.4-1)}$$

donde:

v_{si} = velocidad media de la onda de cortante del suelo del estrato i, medida en campo, en m/s

d_i = espesor del estrato i, localizado dentro de los 30 m superiores del perfil

$\sum_{i=1}^{n} d_i$ = 30 m siempre

Tabla 20. Perfil de suelo sondeo 1.

Profundidad (m)			Ncampo	Imai y Yoshimura	Ohba y Toriumi	Ohta y Goto	Japan Road Association	Alfaro	Maheswari et. Al.,	Promedio	Perfil de Suelo NSR-10	
											di	di/Vsi
0,00	-	0,50	13	177	186	208	235	234	207	208	0,50	0,002
0,50	-	1,00	24	217	225	258	288	288	249	254	0,50	0,002
1,00	-	1,50	37	250	257	300	333	332	284	293	0,50	0,002
1,50	-	2,00	28	228	236	272	304	303	261	267	0,50	0,002
2,00	-	2,50	13	177	186	208	235	234	207	208	0,50	0,002
2,50	-	3,00	15	186	194	219	247	246	216	218	0,50	0,002
3,00	-	3,50	12	173	181	203	229	228	202	203	0,50	0,002
3,50	-	4,00	14	182	190	214	241	240	212	213	0,50	0,002
4,00	-	4,50	15	186	194	219	247	246	216	218	0,50	0,002
4,50	-	5,00	14	182	190	214	241	240	212	213	0,50	0,002
5,00	-	5,50	24	217	225	258	288	288	249	254	0,50	0,002
5,50	-	6,00	21	208	216	246	276	275	239	243	0,50	0,002
											6,00	0,026
											230	
											D	

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Tabla 21. Perfil de suelo sondeo 2.

Profundidad (m)			Ncampo	Imai y Yoshimura	Ohba y Toriumi	Ohta y Goto	Japan Road Association	Alfaro	Maheswari et. Al.,	Promedio	Perfil de Suelo NSR-10	
											di	di/Vsi
0,00	-	0,50	9	157	166	183	208	207	185	184	0,50	0,003
0,50	-	1,00	25	220	228	262	292	291	252	258	0,50	0,002
1,00	-	1,50	35	246	253	294	327	326	279	287	0,50	0,002
1,50	-	2,00	25	220	228	262	292	291	252	258	0,50	0,002
2,00	-	2,50	10	162	172	190	215	215	191	191	0,50	0,003
2,50	-	3,00	8	151	160	176	200	199	179	178	0,50	0,003
3,00	-	3,50	10	162	172	190	215	215	191	191	0,50	0,003
3,50	-	4,00	14	182	190	214	241	240	212	213	0,50	0,002
4,00	-	4,50	12	173	181	203	229	228	202	203	0,50	0,002
4,50	-	5,00	15	186	194	219	247	246	216	218	0,50	0,002
5,00	-	5,50	13	177	186	208	235	234	207	208	0,50	0,002
5,50	-	6,00	22	211	219	250	280	279	243	247	0,50	0,002
											6,00	0,028
											215	
											D	

Tabla 22. Perfil de suelo sondeo 3.

Profundidad (m)			Ncampo	Imai y Yoshimura	Ohba y Toriumi	Ohta y Goto	Japan Road Association	Alfaro	Maheswari et. Al.,	Promedio	Perfil de Suelo NSR-10	
											di	di/Vsi
0,00	-	0,50	6	137	146	159	182	181	164	162	0,50	0,003
0,50	-	1,00	14	182	190	214	241	240	212	213	0,50	0,002
1,00	-	1,50	11	168	177	197	222	222	197	197	0,50	0,003
1,50	-	2,00	8	151	160	176	200	199	179	178	0,50	0,003
2,00	-	2,50	9	157	166	183	208	207	185	184	0,50	0,003
2,50	-	3,00	10	162	172	190	215	215	191	191	0,50	0,003
3,00	-	3,50	6	137	146	159	182	181	164	162	0,50	0,003
3,50	-	4,00	4	120	129	138	159	158	145	142	0,50	0,004
4,00	-	4,50	7	144	154	168	191	191	172	170	0,50	0,003
4,50	-	5,00	8	151	160	176	200	199	179	178	0,50	0,003
5,00	-	5,50	9	157	166	183	208	207	185	184	0,50	0,003
5,50	-	6,00	12	173	181	203	229	228	202	203	0,50	0,002
											6,00	0,034
											178	
											D	

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Tabla 23. Clasificación de los perfiles de suelo.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\overline{v}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > $\overline{v}_s \geq 760$ 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> $\overline{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\overline{N} \geq 50$, o $\overline{s}_u \geq 100$ kPa (≈1 kgf/cm²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > $\overline{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	50 > $\overline{N} \geq 15$, o 100 kPa (≈1 kgf/cm²) > $\overline{s}_u \geq 50$ kPa (≈0.5 kgf/cm²)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	180 m/s > $\overline{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total **H** mayor de 3 m de arcillas blandas	**IP** > 20 **w** ≥ 40% 50 kPa (≈0.50 kgf/cm²) > $\overline{s}_u$
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: F_1 — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F_2 — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (**H** > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F_3 — Arcillas de muy alta plasticidad (**H** > 7.5 m con Índice de Plasticidad **IP** > 75) F_4 — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (**H** > 36 m)	

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente NSR-10.

Según el artículo A.2.4.4 — DEFINICIÓN DEL TIPO DE PERFIL DE SUELO es D, debido a que en los sondeos realizados se encontró que el estrato tiene un valor promedio de N mayor a 15 y menor a 50 y la velocidad de onda cortante Vs, esta entre 180 m/s y 360 m/s.

5.3. EFECTOS LOCALES

Teniendo en cuenta el coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva Aa y del tipo de perfil de suelo, se definen los coeficientes de aceleración para periodos cortos e intermedios, de acuerdo a las tablas A.2.4-3 y A.2.4-4 (Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro y valores del coeficiente Fv, para la zona de periodos intermedios del espectro) de la NSR-10.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Tabla 24. Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro.

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

Nota: Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente NSR-10.

Tabla 25. Valores del coeficiente Fv, para la zona de períodos intermedios del espectro.

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	véasè nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente NSR-10.

Teniendo en cuenta las anteriores tablas, el tipo de perfil del suelo y el coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva se presenta a continuación los valores de del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro y valores del coeficiente Fv, para la zona de periodos intermedios del espectro:

- Coeficiente de aceleración – periodos cortos: Fa = 1.30
- Coeficiente de aceleración – periodos intermedios: Fv = 1.90

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

5.4. PARÁMETROS PARA ANÁLISIS SEUDO ESTÁTICO DE TALUDES

Para la realización de análisis seudo estático de taludes se evaluará la aceleración horizontal de acuerdo a criterio de la norma NSR 2010.

H.5.2.5 — SISMO DE DISEÑO — Para efectos del análisis y diseño de taludes, se debe emplear la aceleración máxima del terreno, a_{max} obtenida bien sea de un espectro (aceleración del espectro de diseño para periodo cero) o por medio de análisis de amplificación de onda unidimensionales o bidimensionales, correspondiente a los movimientos sísmicos definidos en el Capítulo A.2, particularmente en los numerales A.2.1, A.2.2, A.2.3, A.2.4 Y A.2.5. En caso de que el sitio objeto de análisis haga parte de un estudio de microzonificación sísmica aprobado, se utilizará la aceleración máxima superficial del terreno establecida en el espectro de diseño respectivo en lugar de lo estipulado en la sección A.2. El coeficiente sísmico de diseño para análisis seudoestático de taludes KST tiene valor inferior o igual al de a_{max} y se admiten los siguientes valores mínimos de K_{ST}/a_{max}, dependiendo del tipo de material térreo (reforzado o no) y del tipo de análisis.

Tabla 26. Valores del coeficiente Fv, para la zona de períodos intermedios del espectro.

Tabla H.5.2-1
Valores de K_{ST}/a_{max} Mínimos para Análisis Seudoestático de Taludes

Material	K_{ST}/a_{max} Mínimo	Análisis de Amplificación Mínimo
Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD < 50%)	0.80	Ninguno
Macizos rocosos (RQD > 50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales térreos	0.67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar
Todos los materiales térreos	0.50	Amplificación de onda bidimensional

La aceleración máxima del terreno amax, está dada por la aceleración del espectro de diseño para periodo cero así,

$$a_{max} = A_a * F_a * I$$

Aa= coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño.

Fa=coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos, debida a los efectos de sitio, adimensional.

I= Coeficiente de importancia.

Para el municipio de Malaga, el valor de Aa corresponde a 0,25. De acuerdo al tipo de perfil de suelo, basados en la clasificación de los perfiles de suelo NSR – 10, el tipo de perfil corresponde al D y se asumió un coeficiente de importancia de 1,0 (Grupo I, Estructuras de ocupación normal).

$$a_{max} = 0{,}25 * 1{,}30 * 1{,}00;\ a_{max} = 0{,}325$$

Para el análisis de estabilidad de taludes se toma como valor de carga sísmica obtenido con el criterio de la NSR – 10 que corresponde a 0,26g.

Por otro lado, para análisis temporales, los parámetros sísmicos pseudo estáticos de construcción serán el 50% de los de diseño que corresponde a 0,13g.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

6. ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE LOS SUELOS

Teniendo las propiedades mecánicas de los tipos de suelo y los parámetros sísmicos, se realizó un análisis de las características especiales de los suelos identificados en las exploraciones geotécnicas.

6.1. SUELOS EXPANSIVOS

El numeral H.9.1.1 de la NSR-10 menciona que una de las características especiales, que todas las arcillas tienen, de una forma u otra, es la propiedad de contraerse cuando pierden humedad y de expandirse cuando la ganan de nuevo según las condiciones ambientales.

Tabla 27. Clasificación de suelos expansivos.

Potencial de expansión	Expansión (%) media en consolidómetro bajo presión vertical de 0.07 Kgf/cm2	Límite líquido LL, en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de plasticidad IP, en (%)	Porcentaje de partículas menores a una micra (μ)	Expansión libre EL en (%), medida en probeta
Muy alto	> 30	> 63	< 10	> 32	> 37	> 100
Alto	20 - 30	50 - 63	6 - 12	23 - 45	18 - 37	> 100
Medio	10 - 20	39 - 50	8 - 18	12 - 34	12 - 27	50 - 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente NSR-10.

De acuerdo a los sondeos realizados se hace una evaluación cualitativa en la cual se aplican correlaciones con ensayos de clasificación y se determinan de forma preliminar el grado de expansión de los materiales que conforman el área en estudio.

Tabla 28. Análisis cualitativo del potencial de expansión.

SONDEO	FINOS	LL	IP	SUCS	GRADO DE EXPANSIÓN	
	%				HOLTZ 1956	CHEN 1975
SONDEO 1	29,3	30,0	2,3	SM	BAJO	BAJO
SONDEO 1	15,1	30,1	3,0	SM	BAJO	BAJO
SONDEO 1	45,5	30,0	1,8	SM	BAJO	BAJO
SONDEO 2	24,1	39,6	3,0	SM	BAJO	MEDIO
SONDEO 2	53,3	32,8	3,2	ML	BAJO	BAJO
SONDEO 2	25,9	32,5	3,3	SM	BAJO	BAJO
SONDEO 2	26,3	41,4	4,5	SM	BAJO	MEDIO
SONDEO 3	77,3	34,0	5,0	ML	BAJO	BAJO
SONDEO 3	64,8	33,4	4,6	ML	BAJO	BAJO

Los suelos presentes en el área en estudio tienen susceptibilidad baja a la expansión.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

6.2. SUELOS COLAPSABLES

Los suelos colapsables se identifican como aquellos depósitos formados por arenas y limos, en algunos casos cementados por arcillas y sales (carbonato de calcio), que, si bien resisten cargas considerables en su estado seco, sufren pérdidas de su conformación estructural, acompañadas de severas reducciones en el volumen exterior cuando se aumenta su humedad o se saturan.

La colapsabilidad de estos depósitos se identifica, cuando el volumen de vacíos iguala la cantidad de agua en el punto del límite líquido. Para mayor cantidad de agua o menor volumen de vacíos el depósito es inestable. La evaluación se puede hacer mediante la siguiente formulación:

$$\gamma_{dcrit} = \frac{\gamma_w}{(1/_{GS}) + w_l}$$

Si $\frac{\gamma_d}{\gamma_{dcrit}} > 1$ el suelo es estable o expansivo

Si $\frac{\gamma_d}{\gamma_{dcrit}} \leq 1$ el suelo es colapsable

A partir de los ensayos de laboratorio y teniendo en cuenta las anteriores expresiones, se determinó que los suelos del área en estudio no son colapsables.

6.3. SUELOS LICUABLES

"La licuación se refiere al fenómeno de la generación de grandes presiones de poro y consecuente reducción de la resistencia de suelos granulares. Comúnmente el fenómeno ocurre en los depósitos aluviales o fluviales de Holoceno en las profundidades no mayores de 15m.

Licuación se define como la transformación del material granular del estado sólido al licuado, como la consecuencia del incremento de las presiones de poro y de la reducción de presiones efectivas. El incremento de las presiones de poro se induce por la tendencia de materiales granulares a compactarse cuando se someten a las deformaciones de cortante cíclicas. El cambio de estado ocurre con preferencia en suelos sueltos a medianamente compactos, pobremente drenados, como son arenas limosas o gravas confinadas o con sellos de materiales impermeables." Por T. L. Youd, Member, ASCE, and I. M. Idriss, Fellow, ASCE, 2001. Traducción y comentarios Slobodan Zemva Tanasijevic, 2011.

Para evaluar la resistencia por licuación de suelo es necesario calcular dos variables:

- La demanda sísmica que se espera en las capas de suelo durante un sismo de diseño, expresada en términos de resistencia CSR (cyclic stress ratio).
- La resistencia de suelo para oponerse a la licuación, expresado con CRR (cyclic resistance ratio).

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

La relación de esfuerzos cíclicos (CSR) se determina con la siguiente ecuación:

$$CSR = \left(\frac{\tau_{sv}}{\sigma'_{vo}}\right) = 0.65\left(\frac{a_{max}}{g}\right)\left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}\right) r_d$$

La relación de resistencia cíclica (CRR7.5) para un sismo de magnitud de 7.5. Se determina con la siguiente ecuación:

$$CRR75 := \frac{1}{34 - N160} + \frac{N160}{135} + \frac{50}{(10 \cdot N160 + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

Esta ecuación es válida para los (N1)60 < 30. Para (N1)60≥ 30, los suelos granulares limpios tienen el grado de compacidad demasiado alto para sufrir la licuación.

El criterio de evaluación de la resistencia por licuación basada en SPT es confiable, ya que se lleva aplicando a largo de varios decenios. Estos criterios involucran la gráfica de la relación de CSR con (N1)60. El (N1)60 representa el número de golpes normalizado al esfuerzo vertical de 100kPa y a la energía del martillo con eficiencia de 60%.

El factor de seguridad contra licuación, FSL, se calculó para cada estrato licuable a fin de cuantificar el potencial de licuación. Este factor de seguridad se define como:

$$FS_L = \frac{CRR_{7.5}}{CSR}$$

Adicionalmente Seed H. B. & Idriss I. M. (1982) propone un factor de escala para diferentes magnitudes de sismos.

Tabla 29. Factor de escala de magnitud.

Magnitud	Seed H. B. & Idriss I. M. (1982)	Idriss (1996)	Ambraseys (1988)	Youd and Noble, p<32% (in press)	Arango (1996)	This Report
5.5	1.43	2.20	2.86	3.42	3.00 2.20	2.8*
6.0	1.32	1.76	2.20	2.35	2.00 1.65	2.1
6.5	1.19	1.44	1.69	1.66	1.60 1.40	1.6
7.0	1.08	1.19	1.30	1.20	1.25 1.10	1.25
7.5	1.00	1.00	1.00		1.00 1.00	1.0
8.0	0.94	0.84	0.67		0.75 0.85	0.8*
8.5	0.89	0.72	0.44			0.65*

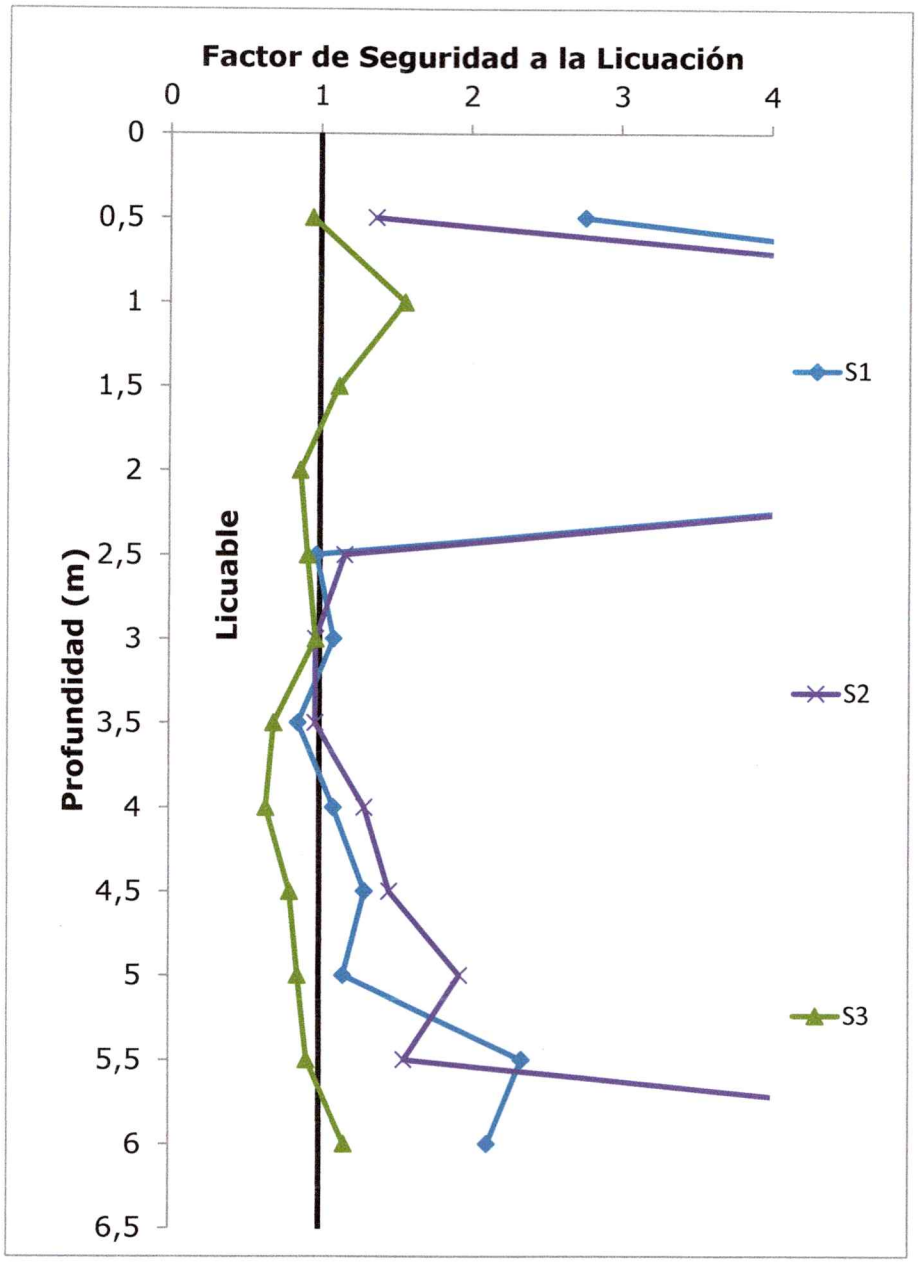
Fuente: ***Liquefaction resistance based on shear wave velocity.***

A partir de lo anterior para un sismo de magnitud de 5.5 se tiene un factor de magnitud promedio de 2.55.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

En el área de estudio se identificó nivel freático a una profundidad de 1.0 en la zona del sondeo 1 y de manera superficial en la zona del sondeo 2 y 3, por lo que se evaluará la probabilidad a que ocurra la licuación con un coeficiente sísmico de 0.325.

Figura 10. Factores de seguridad a la licuación.



Fuente: Autor

De acuerdo a los análisis realizados, se obtiene que los suelos presentes en el área de estudio presentan susceptibilidad a la licuación hasta una profundidad de 5.5 metros en la zona del sondeo 3.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

7. ANÁLISIS GEOTÉCNICO

7.1. CRITERIOS GEOTÉCNICOS

De acuerdo a las características del proyecto y a las caracterizaciones geotécnicas presentadas anteriormente, se presenta a continuación los análisis geotécnicos correspondientes para determinar la profundidad de cimentación, tipo de cimentación, capacidad admisible y recomendaciones generales para garantizar la estabilidad general de las construcciones proyectadas.

En el diseño la cimentación se consideran los estados límite de falla del suelo de soporte y de los elementos estructurales de la cimentación y los estados límites de servicio. De acuerdo al numeral H.4.2.3 de la NSR-10, la capacidad admisible de diseño para la cimentación deberá ser el menor valor entre el esfuerzo límite de falla (Véase H.4.2.1, NSR-10), reducido por el factor de seguridad, y el que produzca asentamientos iguales a los máximos permitidos (Véase H.4.8, NSR-10).

7.2. CÁLCULOS Y RESULTADOS

7.2.1. Estados límites de falla

El cálculo de la capacidad portante para condición de rotura, se realizó considerando la resistencia del suelo y las recomendaciones de la Norma NSR-10.

Las ecuaciones utilizadas corresponden al principio general de la capacidad de carga expuesta por Meyerhof.

A continuación, se presentan la ecuación que se tuvo en cuenta en el cálculo de la capacidad de soporte:

Método de Meyerhof (1963)

Meyerhof utiliza la siguiente ecuación para el cálculo de la capacidad de soporte.

$$q_u = cN_c f_c d_c i_c + qN_q f_q d_q i_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma f_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

Factor de carga:

$$N_c = (N_q - 1)\cot\phi$$

$$N_q = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)e^{\pi\tan\phi}$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\phi$$

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Factor de forma:

$$f_c = 1 + \frac{B}{L}\frac{N_q}{N_c}$$

$$f_q = 1 + \frac{B}{L}\tan\phi$$

$$f_\gamma = 1 - 0.4\frac{B}{L}$$

Factor de profundidad:

$$si\ \frac{Df}{B} \leq 1$$

$$d_c = 1 + 0.4\frac{D_f}{B}$$

$$d_q = 1 + 2\tan\phi(1 - sen\phi)^2\frac{D_f}{B}$$

$$d_\gamma = 1$$

$$si\ \frac{Df}{B} > 1$$

$$d_c = 1 + 0.4\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$d_q = 1 + 2\tan\phi(1 - sen\phi)^2\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$d_\gamma = 1$$

Teniendo en cuenta la estructura proyectada, se recomienda diseñar una losa para una presión admisible del suelo qadm, con un ancho mínimo de cimiento, B, de 1.0 m.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Tabla 30. Capacidad de soporte por método de falla de rotura para una profundidad de cimentación de 5.5 m, factor de seguridad de 3.0 y relación de L/B igual a 3.0.

DATOS DE ENTRADA

Nivel Freatico 0 m D.F. 5,5 μ= 0,5

F.S. 3 L/B 3 B/L 0,3

B (m)=	1,00
γ (kN/m3)=	18,00
Φ (°)=	0,00
C (kN/m2) =	65,00
Kp=	1,00
γ'(kN/m3)=	8,00
q(kN/m2)=	44,00

B (m)=	2,00
γ (kN/m3)=	18,00
Φ (°)=	0,00
C (kN/m2) =	65,00
Kp=	1,00
γ'(kN/m3)=	8,00
q(kN/m2)=	44,00

B (m)=	3,00
γ (kN/m3)=	18,00
Φ (°)=	0,00
C (kN/m2) =	65,00
Kp=	1,00
γ'(kN/m3)=	8,00
q(kN/m2)=	44,00

B (m)=	4,00
γ (kN/m3)=	18,00
Φ (°)=	0,00
C (kN/m2) =	65,00
Kp=	1,00
γ'(kN/m3)=	8,00
q(kN/m2)=	44,00

ANALISIS DE RESISTENCIA AL CORTE

$$q_u = cN_c f_c d_c i_c + qN_q f_q d_q i_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma f_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

$N_c = (N_q - 1)\cot\phi$

$N_q = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)e^{\pi\tan\phi}$

$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\phi$

$f_c = 1 + \frac{B}{L}\frac{N_q}{N_c}$

$f_q = 1 + \frac{B}{L}\tan\phi$

$f_\gamma = 1 - 0.4\frac{B}{L}$

si $\frac{Df}{B} \le 1$

$d_c = 1 + 0.4\frac{D_f}{B}$

$d_q = 1 + 2\tan\phi(1 - sen\phi)^2\frac{D_f}{B}$

$d_\gamma = 1$

si $\frac{Df}{B} > 1$

$d_c = 1 + 0.4\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)$

$d_q = 1 + 2\tan\phi(1 - sen\phi)^2\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)$

$d_\gamma = 1$

Ancho B(m)	Factores de Carga		Factores de Forma		Factores de Profundidad		qult (kN/m2)	qadm (kN/m2)	qadm (Ton/m2)
1,00	Nc=	5,14	Fcs=	1,06	Fcd=	1,56	598	199	20
	Nq=	1,00	Fqs=	1,00	Fqd=	1,00			
	Nγ=	0,00	Fsγ=	0,87	Fγd=	1,0			
2,00	Nc=	5,14	Fcs=	1,06	Fcd=	1,49	574	191	19
	Nq=	1,00	Fqs=	1,00	Fqd=	1,00			
	Nγ=	0,00	Fsγ=	0,87	Fγd=	1,0			
3,00	Nc=	5,14	Fcs=	1,06	Fcd=	1,43	552	184	18
	Nq=	1,00	Fqs=	1,00	Fqd=	1,00			
	Nγ=	0,00	Fsγ=	0,87	Fγd=	1,0			
4,00	Nc=	5,14	Fcs=	1,06	Fcd=	1,38	534	178	18
	Nq=	1,00	Fqs=	1,00	Fqd=	1,00			
	Nγ=	0,00	Fsγ=	0,87	Fγd=	1,0			

7.2.2. Estados límites de servicio

De acuerdo al numeral H.4.8 los estados límite de servicio resultan del cálculo de asentamientos inmediatos, por consolidación, los asentamientos secundarios y los asentamientos por sismo. Las evaluaciones de los asentamientos se realizan empleando parámetros de deformación obtenidos a partir de ensayos de laboratorio o correlaciones de campo.

Los asentamientos totales calculados a 20 años se deben limitar a los siguientes valores:

a) Para construcciones aisladas 30 cm, siempre y cuando no se afecten la funcionalidad de conducciones de servicios y accesos a la construcción.
b) Para construcciones entre medianeros 15 cm, siempre y cuando no se afecten las construcciones e instalaciones vecinas.

Los asentamientos totales son la suma de asentamientos inmediatos, por consolidación y secundarios, cuando estos últimos son importantes.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

a. Análisis de asentamientos inmediatos

Para una cimentación superficial sometida a una fuerza neta por área unitaria igual qo, los asentamientos inmediatos se determinan por la relación de poisson y el módulo de elasticidad del suelo portante, μs y Es, respectivamente.

Janbu y colaboradores (1956) propusieron una ecuación para evaluar el asentamiento promedio de cimentaciones flexibles sobre suelos de arcilla saturada (relación de Poisson, μs = 0.5).:

$$Se = A_1 A_2 \frac{B q_o}{E_s}$$

Dónde:

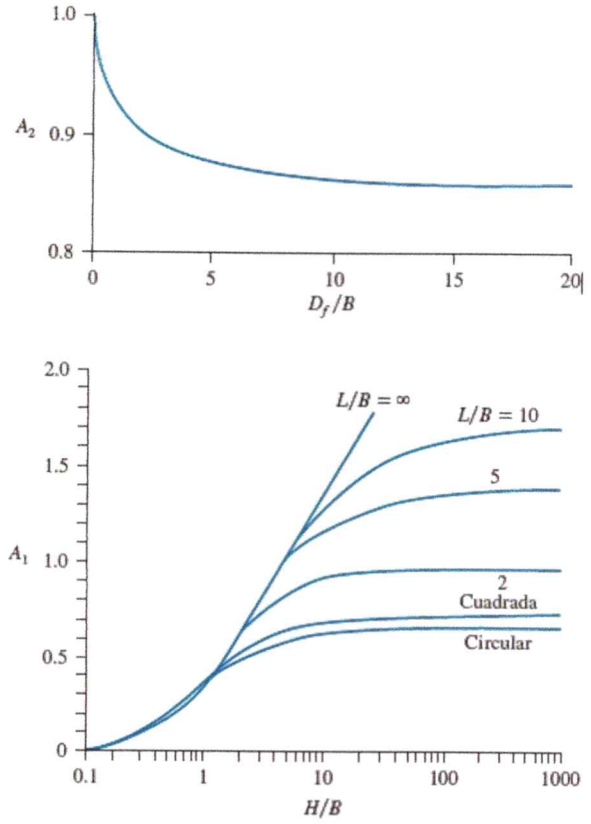
q0 = Intensidad de la presión de contacto

B= Mínima dimensión del área reactiva,

Es = Parámetros elásticos del terreno.

Christian y Carrier (1978) modificaron los valores de A1 y A2 hasta cierto grado como se indica en la siguiente ilustración:

Figura 11. Valores de A1 y A2 para el cálculo del asentamiento elástico (según Christian y Carrier, 1978). [Christian, J.T. y Carrier, W.D. (1978).



A continuación, se presenta el cálculo de asentamientos inmediatos para los valores de capacidad de carga obtenido en los estados límites de falla.

Tabla 31. Asentamientos inmediatos para diferentes anchos de cimentación y profundidad de desplante de 5.5 m y L/B igual a 3.0.

ANALISIS DE ASENTAMIENTOS INMEDIATOS

$$Se = A_1 A_2 \frac{qB}{E_s}$$

A_1

H/B	Circulo	L/B = 1	2	3	4	5
1	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
2	0.47	0.53	0.63	0.64	0.64	0.64
4	0.58	0.63	0.82	0.94	0.94	0.94
6	0.61	0.67	0.88	1.08	1.14	1.16
8	0.62	0.68	0.90	1.13	1.22	1.26
10	0.63	0.70	0.92	1.18	1.30	1.42
20	0.64	0.71	0.93	1.26	1.47	1.74
30	0.66	0.73	0.95	1.29	1.54	1.84

H 10 m

D_f/B	A_2
0	1.0
2	0.9
4	0.88
6	0.875
8	0.87
10	0.865
12	0.863
14	0.860
16	0.856
18	0.854
20	0.850

Calculo de Asentamientos Inmediatos

	Ancho B (m)	H/B	L/B	A1	Df/B	A2	q (kN/m2)	Es (kN/m2)	Se (m)	Se (cm)
Analisis Para Resultados de los Estados Limites de Falla	1,0	10,0	3	1,18	5,50	0,90	199	11205	0,019	1,89
	2,00	5,0		1,01	2,75	0,90	191	11205	0,031	3,10
	3,0	4,0		0,94	1,83	0,91	184	11205	0,042	4,22
	4,00	3,0		0,79	1,38	0,94	178	11205	0,047	4,69

Calculo de Asentamientos Inmediatos

	Ancho B (m)	H/B	L/B	A1	Df/B	A2	q (kN/m2)	Es (kN/m2)	Se (m)	Se (cm)
Resultados Limitados a un Asentamiento Maximo de 2.5cm	1,0	10,0	3	1,18	5,50	0,90	264	11205	0,025	2,50
	2,00	5,0		1,01	2,75	0,90	154	11205	0,025	2,50
	3,0	4,0		0,94	1,83	0,91	109	11205	0,025	2,50
	4,00	3,0		0,79	1,38	0,94	95	11205	0,025	2,50

Capacidad de Soporte Recomendada 95 kN/m2 9 Ton/m2

Calculo de Asentamientos Inmediatos

Ancho B (m)	H/B	L/B	A1	Df/B	A2	q (kN/m2)	Es (kN/m2)	Se (m)	Se (cm)
1,0	10,0	3	1,18	5,50	0,90	95	11205	0,009	0,90
2,00	5,0		1,01	2,75	0,90	95	11205	0,015	1,54
3,0	4,0		0,94	1,83	0,91	95	11205	0,022	2,17
4,00	3,0		0,79	1,38	0,94	95	11205	0,025	2,50

Para una capacidad de carga admisible de 10.0 ton/m^2 y un ancho de cimentación de hasta 4.0 metros el asentamiento máximo inmediato teórico esperado es de 2.50 cm.

b. Análisis de asentamientos por consolidación

El asentamiento por consolidación está relacionado con el cambio en el volumen en los suelos saturados cohesivos a raíz de la expulsión de agua de los poros y son ocupados por el aire.

Como el asentamiento está relacionado al cambio en la presión de poros primero se calcula la relación de vacíos del suelo.

Los valores de relación de vacíos (e0) se determinaron con base en los valores de gravedad específica (Gs), contenido de humedad (w) y se asumió un valor de saturación del 100% (S):

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Para el cálculo de cambio de vacíos se tiene la siguiente ecuación.

$$\Delta e = -Cc\ Log\ (\sigma'vi/\sigma'vo)$$

Donde

Δe es el cambio en la relación de vacíos
Cc es el coeficiente de compresibilidad
σ´vi es el esfuerzo vertical
σ´vo es el esfuerzo efectivo

Para el cálculo del asentamiento en una capa se tiene la siguiente relación

$$\Delta H = \frac{\Delta e}{(1+e0)} * H$$

Donde

Δe es el cambio en la relación de vacíos
H es la altura de la capa del suelo
e0 es la relación de vacíos inicial
Para determinar el coeficiente de compresibilidad se utilizó la expresión de Terzaghi y Peck.

CC=0.007 (LL−10) (Terzaghi y Peck, 1967)

CC=0.0115 Wn (Hough 1957, Arcillas y Limos orgánicos, Turbas)

Teniendo en cuenta lo anterior se presenta a continuación el cálculo de los asentamientos por consolidación para el mayor ancho de cimentación recomendado para estructuras proyectadas y la mayor presión aplicada.

Presión normal del proyecto: 100,0 kN/m²

Asientos después de T años: 1

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Tabla 32. Asentamientos por consolidación para el máximo ancho de cimentación recomendado y a una profundidad de desplante de 5.5 m.

ANALISIS DE ASENTAMIENTOS POR CONSOLIDACION

$$\Delta H = \Delta e/(1+eo)\, H$$

ΔH=Asentamiento de la capa en un punto
H=Altura de la capa del suelo
eo=Relación de vacios inicial

$$\Delta e = -Cc \log(\sigma\ vi)/(\sigma\ vo)$$

Cc=0,007(LL-10)

σ vi=es el esfuerzo vertical
σ vo=es el esfuerzo efectivo

Presion=	94,81	kN/m2		GS	2,72			
B=	4,0	LL	33,8	W	25,88			
L=	12,0	Cc=	0,1666	e0=	0,70	γSat=	19,00	γW= 10,00

Profundidad Z (m)	σt kN/m2	σp kN/m2	σ' Vo kN/m2	Δσ' V kN/m2	Δσ' V1 kN/m2	Δe	ΔH (mm)	% Presion
5,5	99	55	44	94,8	138,8	0,083	48,79	100%
6,5	117	65	52	70,0	122,0	0,062	36,22	74%
7,5	135	75	60	54,2	114,2	0,047	27,32	57%
8,5	153	85	68	43,3	111,3	0,036	20,94	46%
9,5	171	95	76	35,6	111,6	0,028	16,30	38%
10,5	189	105	84	29,7	113,7	0,022	12,87	31%
11,5	207	115	92	25,3	117,3	0,018	10,31	27%
12,5	225	125	100	21,8	121,8	0,014	8,37	23%
13,5	243	135	108	19,0	127,0	0,012	6,87	20%
14,5	261	145	116	16,7	132,7	0,010	5,70	18%
						ΔH (mm)	193,67	
						ΔH (cm)	19,4	

Con el fin de establecer el tiempo de consolidación se realizó el cálculo de acuerdo al modelo de consolidación de Terzagui donde se tienen los siguientes supuestos

- Material en la muestra es uniforme
- Partículas sólidas y moléculas de agua son incompresible
- Flujo e deformación unidimensional
- Espacio poroso todo saturado
- Permeabilidad constante en todas las direcciones
- Compresibilidad linear del suelo

Para determinar el tiempo se calcula el coeficiente de consolidación que está relacionado inversamente a la compresibilidad y directamente a la permeabilidad del medio poroso.

Dimensionalmente Cv este expreso como [m2/s]

$$C_v = \frac{K * (1+e)}{C_c H^2 \gamma_w}$$

Donde la permeabilidad K para arcillas se tomó un valor de 1X10-6 m/s.

Adicionalmente se debe calcular el factor tiempo adimensional y la relación con el asentamiento en el tiempo mediante las siguientes expresiones:

$$T_v = \frac{C_v t}{d^2}$$

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Donde:

d es la distancia máxima de drenaje (o recurrido máximo de escape por el agua) y t el tiempo de consolidación.

$$T_v = \frac{\left(\frac{\pi}{4}\right) * \left(\frac{U\%}{100}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{U\%}{100}\right)^{5.6}\right]^{0.357}}$$

Donde

U% es el porcentaje de asentamiento.

Teniendo en cuenta lo anterior se presenta el cálculo de tiempo de consolidación.

Tabla 33. Asentamientos por consolidación en el tiempo.

TIEMPO DE CONSOLIDACIÓN

k	1,0E-06	m/s
Cv	4,9E-09	m2/s
H	10	m
1 año	31536000	Seg
d	14,5	m
ΔH (cm)	19,4	cm
Tiempo	20,00	Años
%	10%	
t20años	1,94	cm

% Asentamiento	Tv	t (Seg)	t(Años)
10	0,007853989	3,4E+08	11
15	0,017671612	7,6E+08	24
20	0,031417293	1,4E+09	43
25	0,049094836	2,1E+09	67
30	0,070715635	3,1E+09	97
35	0,096307547	4,2E+09	132
40	0,125929877	5,4E+09	173
45	0,159697099	6,9E+09	219
50	0,197815298	8,5E+09	271
55	0,240638154	1,0E+10	330
60	0,288755345	1,2E+10	396
65	0,343139663	1,5E+10	470
70	0,405410509	1,8E+10	556
75	0,478352486	2,1E+10	656
80	0,567066401	2,5E+10	777
85	0,681977919	2,9E+10	935
90	0,848931267	3,7E+10	1163

Para una capacidad de carga admisible de 10.0 ton/m^2 el asentamiento máximo por consolidación teórico esperado es de 1.94 cm para 20 años aproximadamente.

7.3. CAPACIDAD ADMISIBLE DEL SUELO

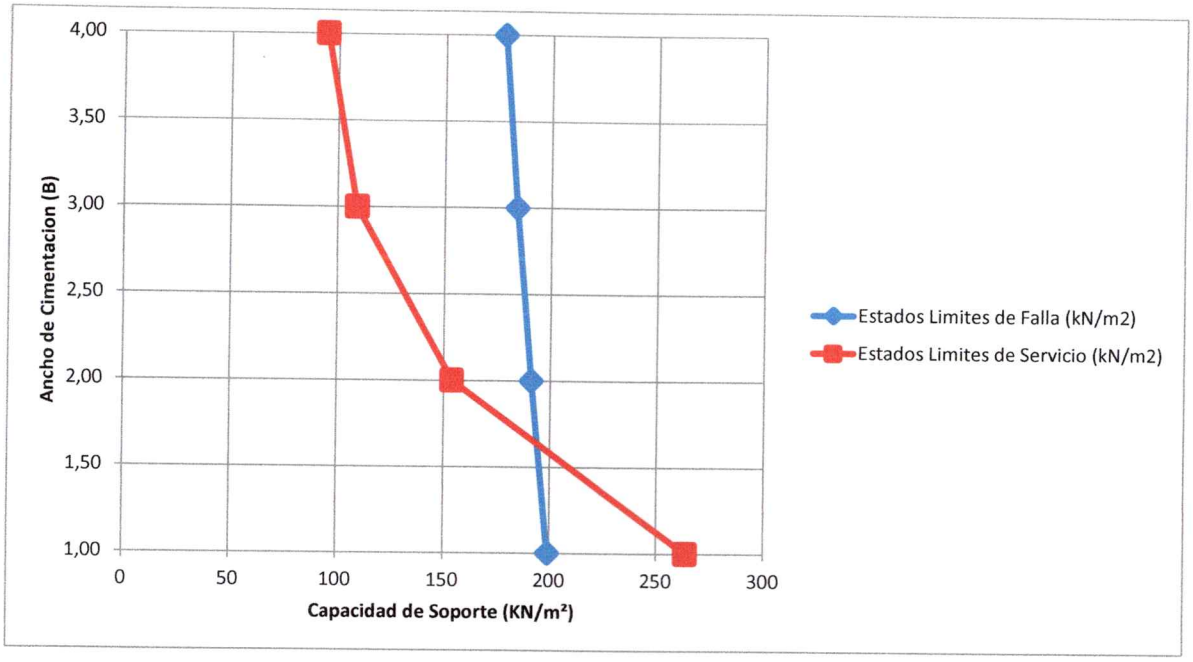
De acuerdo al numeral H.4.2.3 de la NSR-10, la capacidad admisible de diseño para la cimentación deberá ser el menor valor entre el esfuerzo límite de falla (Véase H.4.2.1, NSR-10), reducido por el factor de seguridad, y el que produzca asentamientos iguales a los máximos permitidos (Véase H.4.8, NSR-10).

Tabla 34. Capacidad de soporte a 5.5 metros de profundidad, factor de seguridad de 3.0, asentamiento inmediato máximo de 2.54 cm y relación de L/B igual a 3.0.

Ancho B (m)	Estados Limites de Falla (kN/m2)	Estados Limites de Servicio (kN/m2)
1,00	199	264
2,00	191	154
3,00	184	109
4,00	178	95

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Figura 12. Capacidad de soporte a 5.5 metros de profundidad, factor de seguridad de 3.0, asentamiento inmediato máximo de 2.54 cm y relación de L/B igual a 3.0.



Fuente: Autor

Teniendo en cuenta lo anterior y los análisis de los estados límites de falla y de servicio calculados, se recomienda cimentar a 5.5 metros de profundidad con una capacidad admisible no mayor a 10.0 ton/m^2.

7.3.1. Coeficiente de reacción del suelo o Modulo de Balasto

El módulo de balasto es una magnitud asociada a la rigidez del terreno.

Se mide aplicando una carga vertical sobre una superficie y midiendo el asentamiento a partir de la carga aplicada.

$$K_b = \frac{F}{\delta * A}$$

Donde=

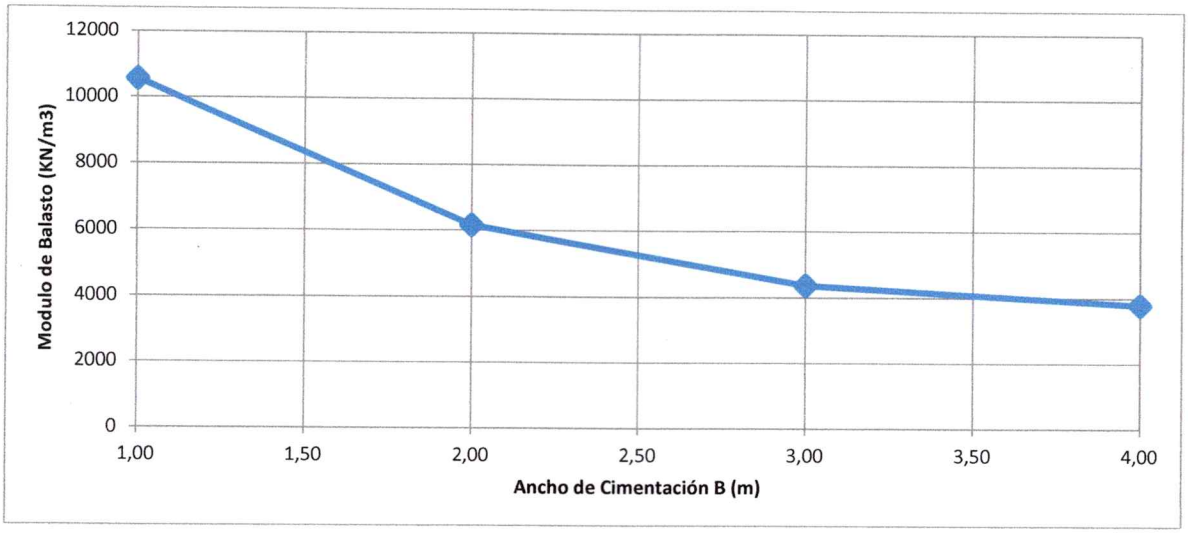
F es la fuerza vertical aplicada.

A el área de la superficie en contacto con el terreno donde se está aplicando la fuerza.

Δ es el asentamiento calculado a partir de la carga aplicada.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

Figura 13. Módulo de Balasto para cimientos relación de L/B igual a 30.



Fuente: Autor

Tabla 35. Módulo de Balasto para anchos entre 1.0 y 4.0 metros.

Ancho B (m)	Modulo Balasto (kN/m3)
1,00	10551
2,00	6163
3,00	4366
4,00	3792

Fuente: Autor

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

8. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Teniendo en cuenta la topografía del área en estudio y la implantación del proyecto se realizará el análisis de estabilidad para una altura máxima de 5.5 metros.

Para el análisis estabilidad se utilizó el software para computador Slide V. 6.0 el cual utiliza la teoría de equilibrio límite para obtener los factores de seguridad al deslizamiento de los taludes.

Para evaluar las condiciones del talud, se tuvieron en cuenta los siguientes escenarios:

- Análisis de estabilidad, condición estática.
- Análisis de estabilidad, condición dinámica.

Para las excavaciones se tendrá en cuenta una sobrecarga de 1.5 Ton/m^2 junto a las excavaciones.

Los parámetros que se utilizaron son los siguientes:

Tabla 36. Parámetros.

Estrato	Angulo de fricción (°)	Cohesión (KPa)
Suelo Residual Suelto/Blando	21.0	16.0
Suelo Residual Compacto	29.0	16.0

Así mismo es pertinente tener en cuenta los factores mínimos admisibles en condición estática y seudo-estática para un talud temporal:

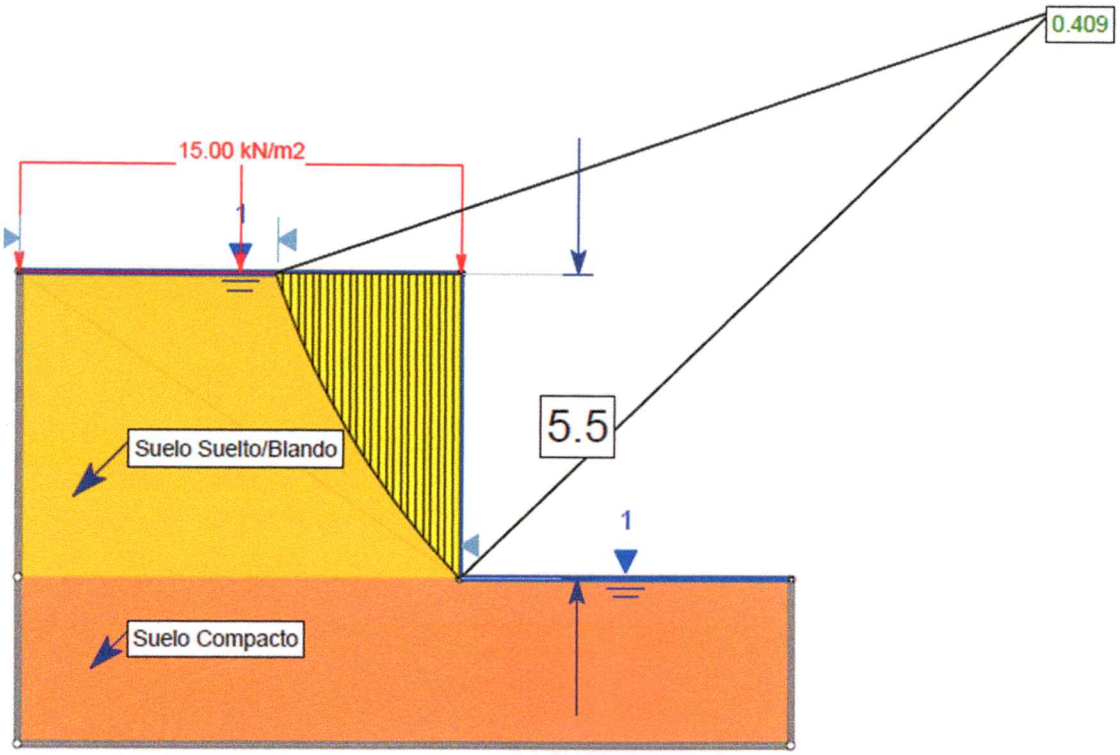
Tabla H.6.9-1
Factores de seguridad indirectos mínimos

Condición	Construcción	Estático	Sismo	Seudo estático
Deslizamiento	1.60	1.60	Diseño	1.05
Volcamiento: el que resulte más crítico de				
Momento Resistente/ Momento Actuante	≥ 3.00	≥ 3.00	Diseño	≥ 2.00
Excentricidad en el sentido del momento (e/B)	≤ 1/6	≤ 1/6	Diseño	≤ 1/4
Capacidad portante	Iguales a los de la Tabla H.4.1			
Estabilidad Intrínseca materiales térreos (reforzados o no)	Iguales a los de la Tabla H.2.1			
Estabilidad Intrínseca materiales manufacturados	Según material (Concreto-Titulo C; Madera-Título G; etc.)			
Estabilidad general del sistema:				
Permanente o de Larga duración (> 6 meses)	1.20	1.50	Diseño	1.05
Temporal o de Corta duración (< 6 meses)	1.20	1.30	50% de Diseño	1.00
Laderas adyacentes (Zona de influencia > 2.5H)	1.20	1.50	Diseño	1.05

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

8.1. Análisis de estabilidad excavación vertical, condición estática:

Figura 14. Análisis de estabilidad excavación vertical, condición estática.



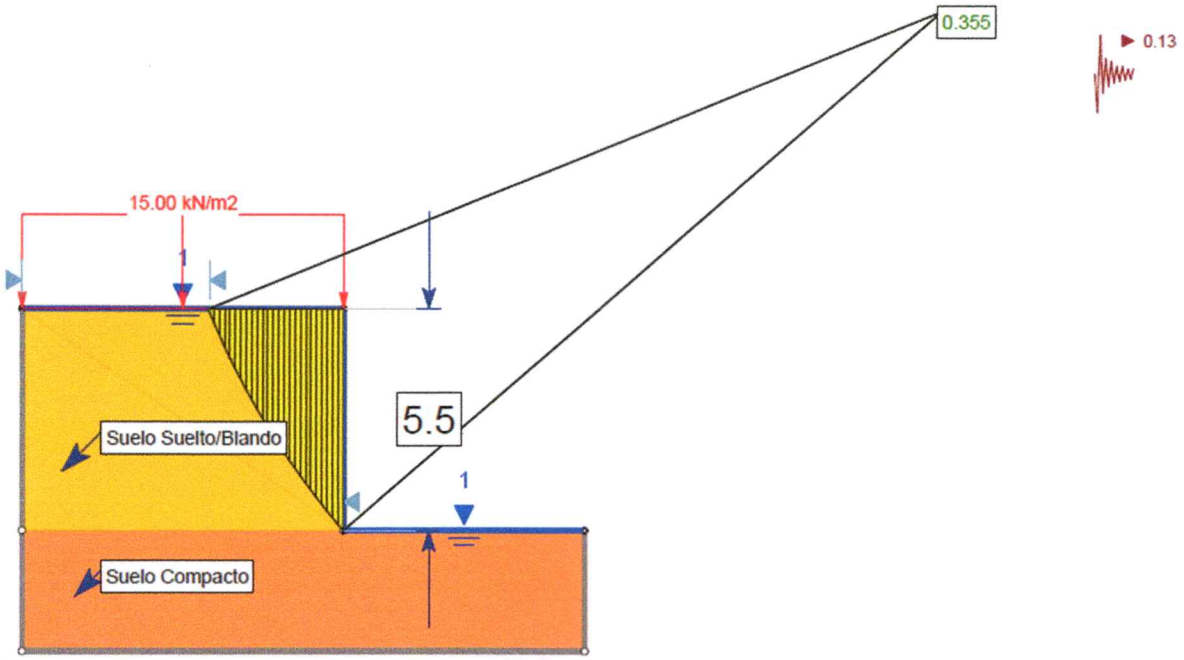
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Suelo Suelto/Blando		18	Mohr-Coulomb	16	21
Suelo Compacto		18	Mohr-Coulomb	16	29

Fuente: Autor

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

8.2. Análisis de estabilidad excavación vertical, condición dinámica:

Figura 15. Análisis de estabilidad excavación vertical, condición dinámica.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Suelo Suelto/Blando		18	Mohr-Coulomb	16	21
Suelo Compacto		18	Mohr-Coulomb	16	29

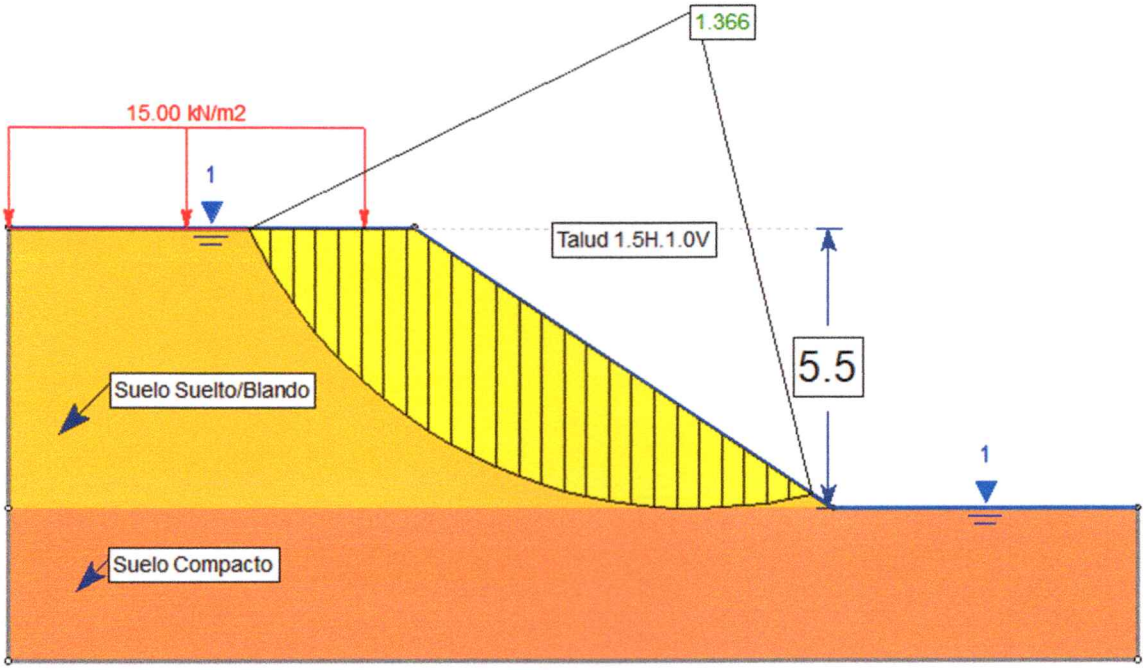
Fuente: Autor

Teniendo en cuenta que la excavación vertical no cumple con los factores de seguridad mínimos establecidos en la NSR – 10, para un talud temporal o de corta duración (6 meses), por lo tanto, se analizó tender un talud con una inclinación de 0.5H:1.0V, 1.0H:1.0V y 1.25H:1.0V, sin embargo, con estas inclinaciones tampoco cumple los factores de seguridad mínimos establecido para un talud temporal, por lo tanto, se recomienda tender un talud con una inclinación 1.50H:1.0V.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

8.3. Análisis de estabilidad Talud 1.50H:1.0V, condición estática:

Figura 16. Análisis de estabilidad talud 1.50H:1.0V, condición estática.



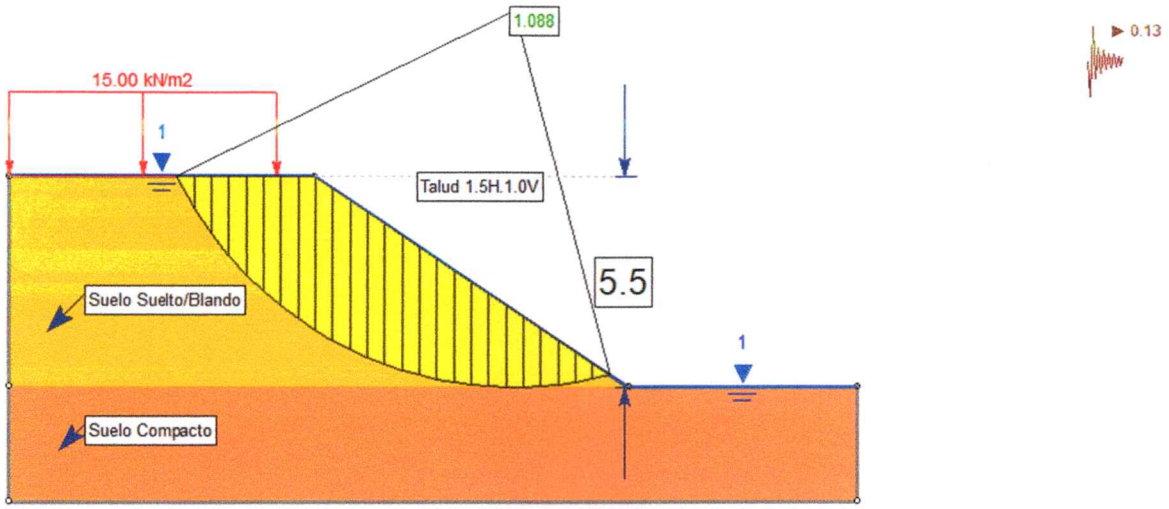
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Suelo Suelto/Blando		18	Mohr-Coulomb	16	21
Suelo Compacto		18	Mohr-Coulomb	16	29

Fuente: Autor

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

8.4. Análisis de estabilidad Talud 1.50H:1.0V, condición dinámica:

Figura 17. Análisis de estabilidad talud 1.50H:1.0V, condición dinámica



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Suelo Suelto/Blando		18	Mohr-Coulomb	16	21
Suelo Compacto		18	Mohr-Coulomb	16	29

Fuente: Autor

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de las características geológicas y geotécnicas del área en estudio permitió determinar que existen limitaciones importantes que pueden afectar la estabilidad de las estructuras proyectadas, debido a que se identificaron suelos sueltos y/o blandos hasta una profundidad de 5.5 metros y adicionalmente se obtuvo que los suelos presentes en el área de estudio presentan susceptibilidad a la licuación hasta una profundidad de 5.5 metros en la zona del sondeo 3.

9.1. RECOMENDACIONES PARA LA CIMENTACIÓN

9.1.1. Tipo de cimentación

De acuerdo a las características de los suelos encontrados, las cargas proyectadas y los asentamientos teóricos esperados, se recomienda cimentar sobre una losa apoyada directamente sobre el suelo competente con anchos variables entre 1.0 y 4.0 metros.

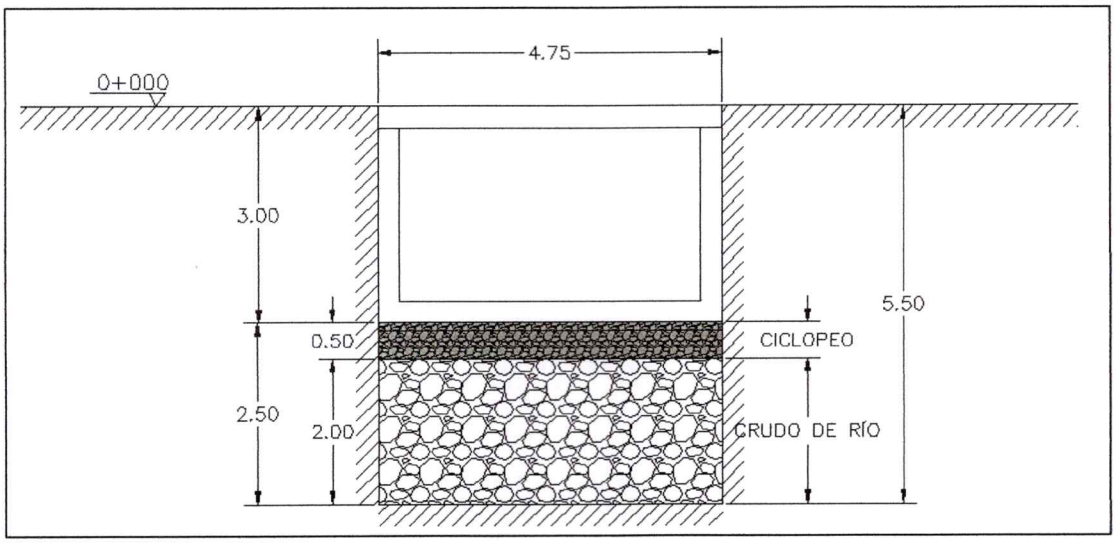
En todos los casos la cimentación debe ser totalmente rígida para minimizar la ocurrencia de asentamientos diferenciales.

9.1.2. Capacidad de soporte admisible

Para el diseño se recomienda utilizar una presión admisible de trabajo no mayor a 10 ton/m^2 para una losa con anchos variables entre 1.0 y 4.0 metros y una profundidad mínima de 5.5 metros desde el nivel actual del terreno en el cual se realizaron los sondeos, (aproximadamente 2.0 metros por encima del fondo del cauce).

Se recomienda alcanzar la profundidad de cimentación recomendada por medio de una recuperación con crudo de río de 2.0 metros de espesor y sobre este una recuperación de 0.5 metros en concreto ciclópeo.

Figura 18. Esquema de la cimentación del Box Culvert



Fuente: Autor

9.1.3. Parámetros de diseño

- Nivel freático: A una profundidad de 1.0 metro en la zona del sondeo 1 y superficialmente en la zona del sondeo 2 y 3.
- Peso volumétrico: 1.80 Ton/m^3
- Angulo de fricción: 25°.
- Capacidad de carga admisible: 10 ton/m^2.
- Profundidad de cimentación: 5.5 metros desde el nivel de terreno actual en el cual se realizaron los sondeos, (aproximadamente 2.0 metros por encima del fondo del cauce).
- Ancho de cimentación: Variable entre 1.0 y 4.0 metros.
- Coeficiente de Balasto (Ks): 3792 KN/m^3.
- Perfil de suelo: De acuerdo al NSR-10 (Tabla A.2.4-1) el perfil recomendado para diseño sísmico es D.

9.2. MANEJO DE EXCAVACIONES PARA CIMENTACIÓN

- Se recomienda realizar las excavaciones para la cimentación proyectada mediante talud 1.50H:1.0V, durante el proceso constructivo de la cimentación.
- Durante el proceso de excavación, se debe monitorear mediante control, topográfico, las coronas de los taludes de las excavaciones para detectar potenciales zonas susceptibles a derrumbes y tomar las medidas de protección necesarias.
- Se recomienda que durante el proceso de excavación e instalación de las cimentaciones hacer un seguimiento por parte de una persona idónea, para verificar la presencia o continuidad de los rellenos y aprobar los horizontes adecuados de cimentación.

9.2.1. Coeficiente de presión de tierras

Los coeficientes de presión de tierras recomendados son los siguientes:

Ka = (tan (45 - Ø/2)) ^2 Kp = (tan (45+ Ø/2)) ^2 K_0 = 1 – sen Ø

Angulo de fricción: 21°

- Ka = 0.472
- Kp = 2.117
- K_0 = 0.641

Angulo de fricción: 29°

- Ka = 0.346
- Kp = 2.882
- K_0 = 0.515

9.3. RECOMENDACIONES PARA PROTECCIÓN DE EDIFICACIONES VECINAS Y COLINDANTES

- Excavar inicialmente hasta el nivel de cimentación de las estructuras existentes.

- Junto a las zapatas o cimientos de las estructuras contiguas, se debe garantizar una berma o sobre ancho de 1.0m como mínimo, para mitigar los efectos de pérdida de confinamiento de las cimentaciones antiguas.
- Se recomienda realizar las excavaciones para la implantación del proyecto mediante talud 1.5:1.0V. en todo el perímetro de la excavación, por medio de trincheras.
- Adicionalmente las estructuras de contención que se proyecten para la implantación de las estructuras, deberán cumplir con lo establecido en la tabla H.6.9-1 Factores de seguridad indirectos mínimos, de la NSR – 10.
- Previamente a la iniciación del proyecto se debe redactar y firmar un acta de estado de los lotes y/o construcciones y/o estructuras vecinas, conjuntamente con el propietario o propietarios de esas edificaciones o lotes.
- Durante el proceso de excavación, se debe monitorear mediante control, topográfico, las coronas de los taludes de las excavaciones para detectar potenciales zonas susceptibles a derrumbes y tomar las medidas de protección necesarias.
- Se recomienda que durante el proceso de instalación de las cimentaciones se debe hacer un seguimiento por parte de una persona idónea, para verificar la presencia o continuidad de los rellenos y aprobar los horizontes adecuados de cimentación.

9.4. RECOMENDACIONES GENERALES

Teniendo en cuenta las características de los suelos presentes en el área de estudio, se recomienda implementar las siguientes medidas de manejo para garantizar un mejor comportamiento de la cimentación a futuro.

- Como recomendación general y para evitar inconvenientes en la construcción de la cimentación de la estructura, se recomienda primero la adecuación del lote para controlar el flujo de aguas que se acumulan producto de las lluvias.
- Se recomienda construir inicialmente el alcantarillado para el manejo de las aguas superficiales y así controlar el agua que se genere producto de la escorrentía.
- Se recomienda construir un sistema de filtros perimetral a la estructura a una profundidad igual o mayor a la profundidad de cimentación recomendada.
- Drenaje de las aguas de escorrentía — Debe proveerse un adecuado drenaje alrededor de las estructuras por medio de pendientados perimetrales (2-10%), cunetas revestidas, áreas pavimentadas y canalizaciones de las aguas lluvias.
- Paisajismo e irrigación — Separar convenientemente las actividades de paisajismo, relacionadas con irrigación de plantas y jardines, de las estructuras adyacentes.
- Las losas de contrapiso deben resistir a la flexión y los muros de ladrillo se deben reforzar con barras de acero.
- No dejar las excavaciones expuestas a las infiltraciones de agua.
- De igual forma se evitará la exposición prolongada de las excavaciones, a intemperismos, para lo cual se recomienda programar las excavaciones de tal forma que transcurra el menor tiempo posible entre su terminación y las operaciones de mejoramiento proyectadas y/o vaciados de los cimientos.
- En los muros y estructuras que queden en contacto con el terreno se recomienda instalar entre el concreto y el suelo o geondren planar o filtro que permita captar las posibles infiltraciones de agua que se puedan presentar. Este filtro se debe conectar al sistema evacuación de aguas lluvias del proyecto.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

- Previamente a la iniciación del proyecto se debe redactar y firmar un acta de estado de los lotes y/o construcciones y/o estructuras vecinas, conjuntamente con el propietario o propietarios de esas edificaciones o lotes.
- Bajo ninguna circunstancia se debe cimentar las estructuras sobre relleno y en especial en relleno sobre ladera, la cimentación se debe profundizar y alcanzar el nivel de suelo competente.
- Durante la construcción de los cimientos se debe contar con la supervisión de un ingeniero geotecnista, de tal manera que verifique si los materiales de cimentación en cada sector corresponden a los encontrados en el estudio geotécnico.
- Se deberá consultar con el Ingeniero Geotecnista, cualquier cambio que se realice al proyecto en cuanto a su nivel de cimentación, excavaciones planteadas y números de pisos propuestos.

9.5. LIMITACIONES

Las recomendaciones dadas en este informe corresponden al resultado de la evaluación de las muestras y condiciones del subsuelo obtenidas de acuerdo con la Ingeniería de suelos. Pueden existir condiciones del subsuelo no encontradas en las perforaciones realizadas, sin embargo, se considera que el alcance de los trabajos de campo es adecuado para definir los parámetros y características de los suelos en el área de proyecto. Si durante las etapas de diseño y construcción se encuentran condiciones del subsuelo diferentes a las descritas como típicas en este informe se dará aviso oportuno para complementar la información: conclusiones y recomendaciones.

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

10. BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10.
- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. (NSR-10). Títulos A y H 2010.
- American Society for Testing and Materials. ASTM.
- Normas del American Institute of Steel Construction, AISC-ASD.
- Instituto Nacional de Vías INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras 2007.
- NTC, Normas Técnicas Colombianas promulgadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC

Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com

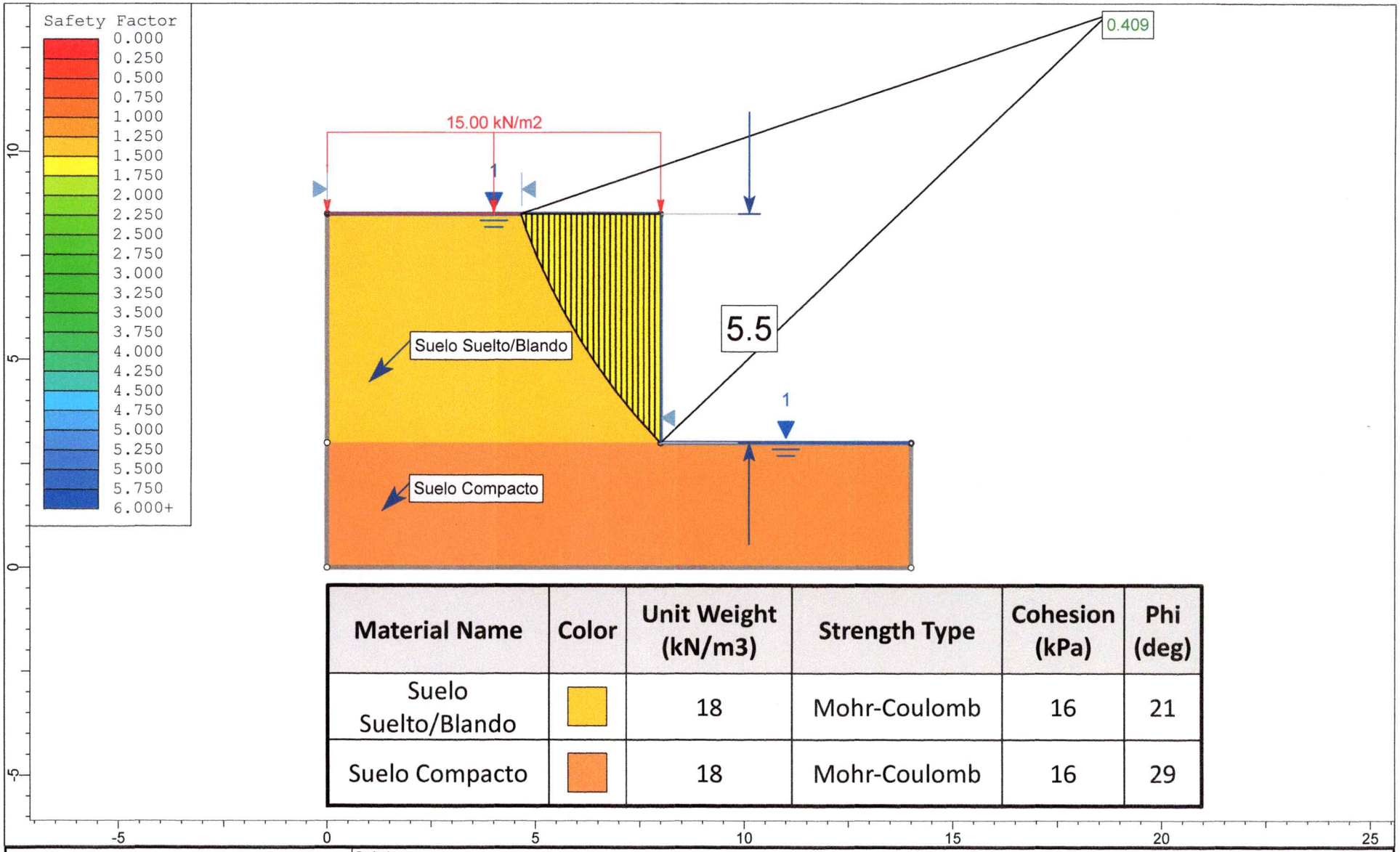
11. ANEXOS

- Laboratorios
- Caracterización geotécnica
- Análisis de estabilidad
- Localización de la exploración de campo
- Documentos profesionales

LAURA LISSETH ESTEBAN BLANCO
Geóloga Esp. Geotecnia
M.P 3540 CPG

Elkin Suárez Calderón
ELKIN SUÁREZ CALDERÓN
Ingeniero Civil
M.P 68202-170182 STD

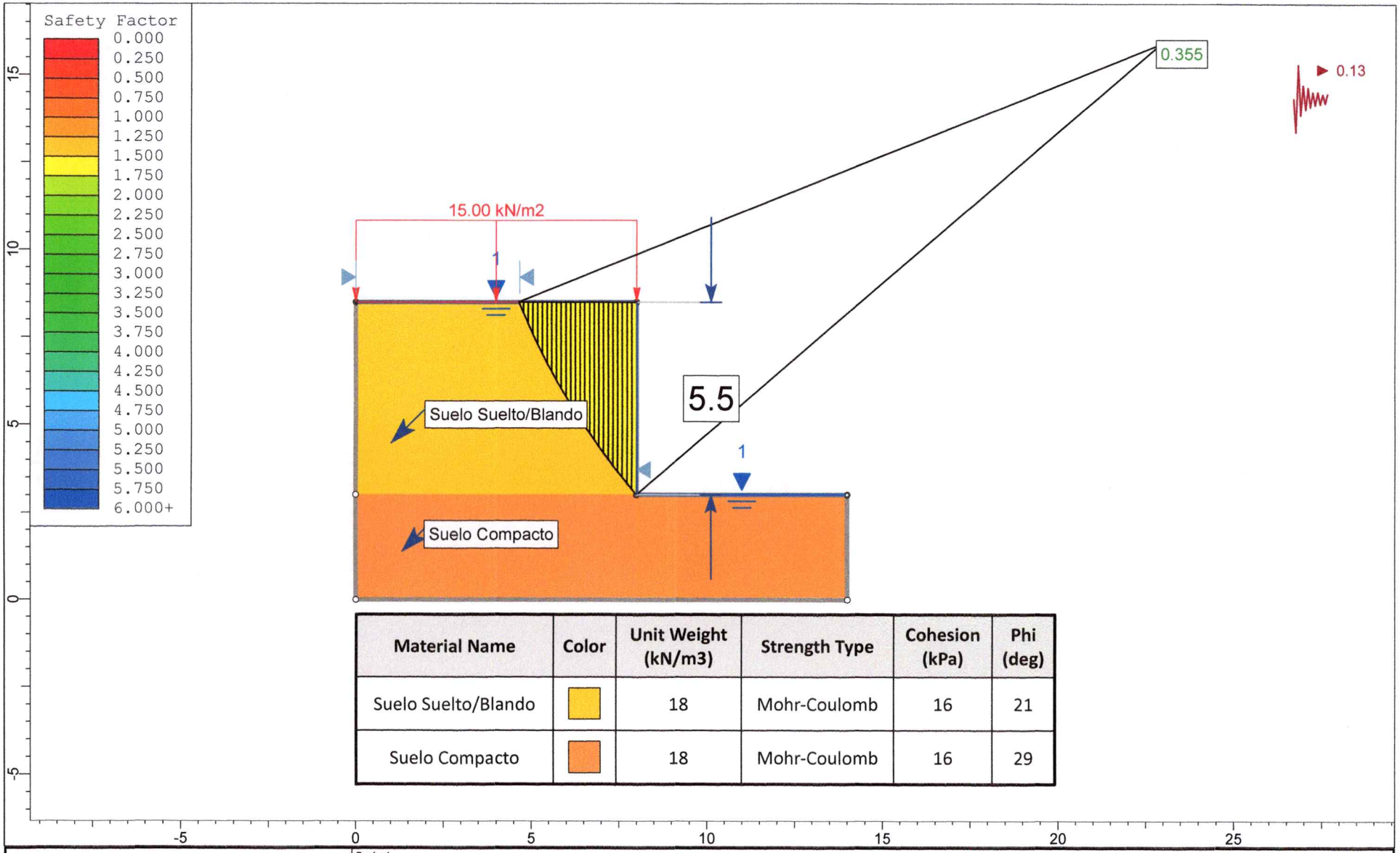
Calle 4 No. 7-46, Floridablanca 321 2477477 construterrasas@gmail.com



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Suelo Suelto/Blando		18	Mohr-Coulomb	16	21
Suelo Compacto		18	Mohr-Coulomb	16	29

SLIDEINTERPRET 6.020

Project	EXCAVACION TALUD VERTICAL - PARCELA VILLA BONITA SECTO EL RINCON - GIRON		
Analysis Description	ESTATICO		
Drawn By	CONSTRUTERRA S.A.S.	Scale 1:128	Company
Date	23/05/2025	File Name	Talud Vertical - estatico.slim

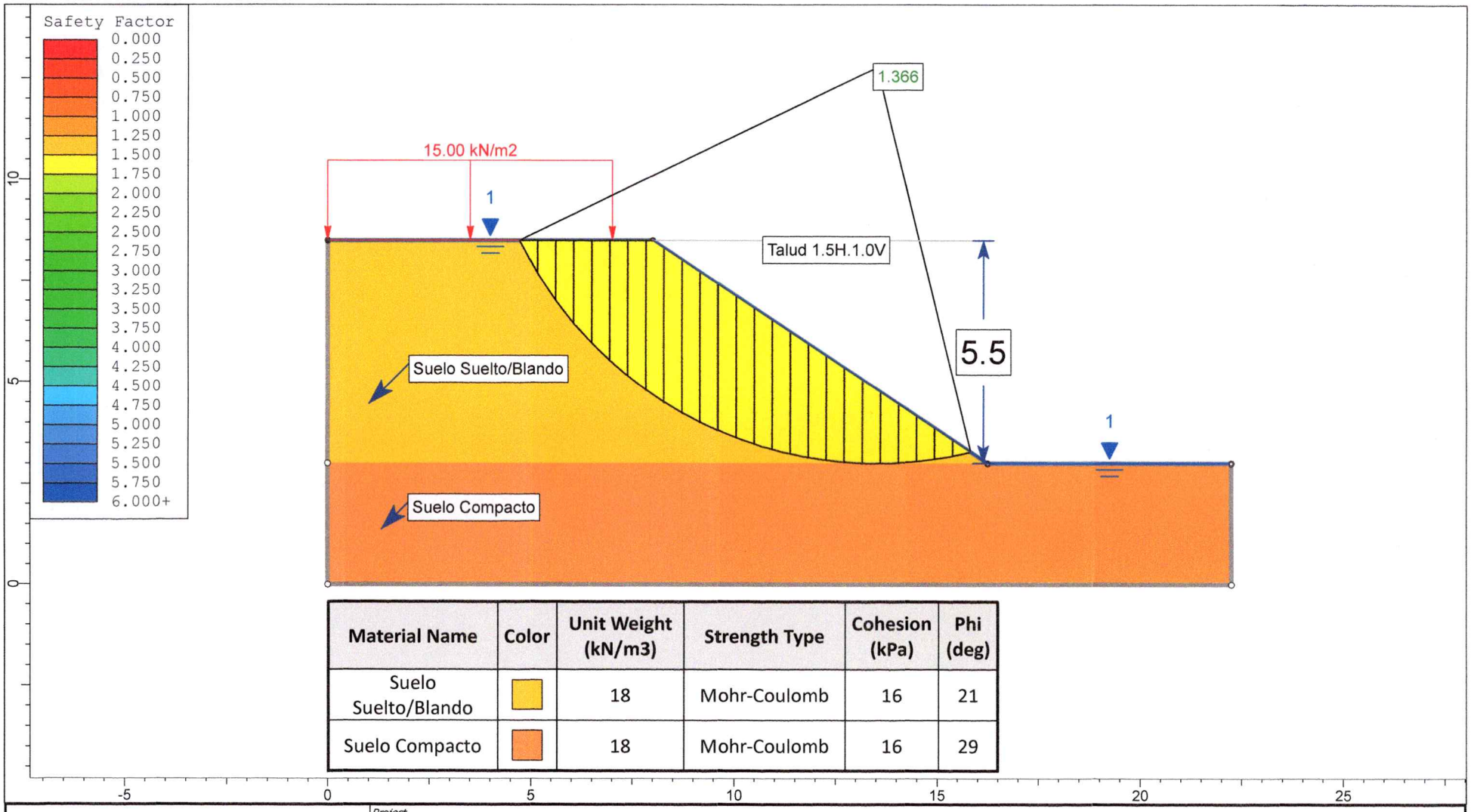


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Suelo Suelto/Blando		18	Mohr-Coulomb	16	21
Suelo Compacto		18	Mohr-Coulomb	16	29

rocscience

SLIDEINTERPRET 6.020

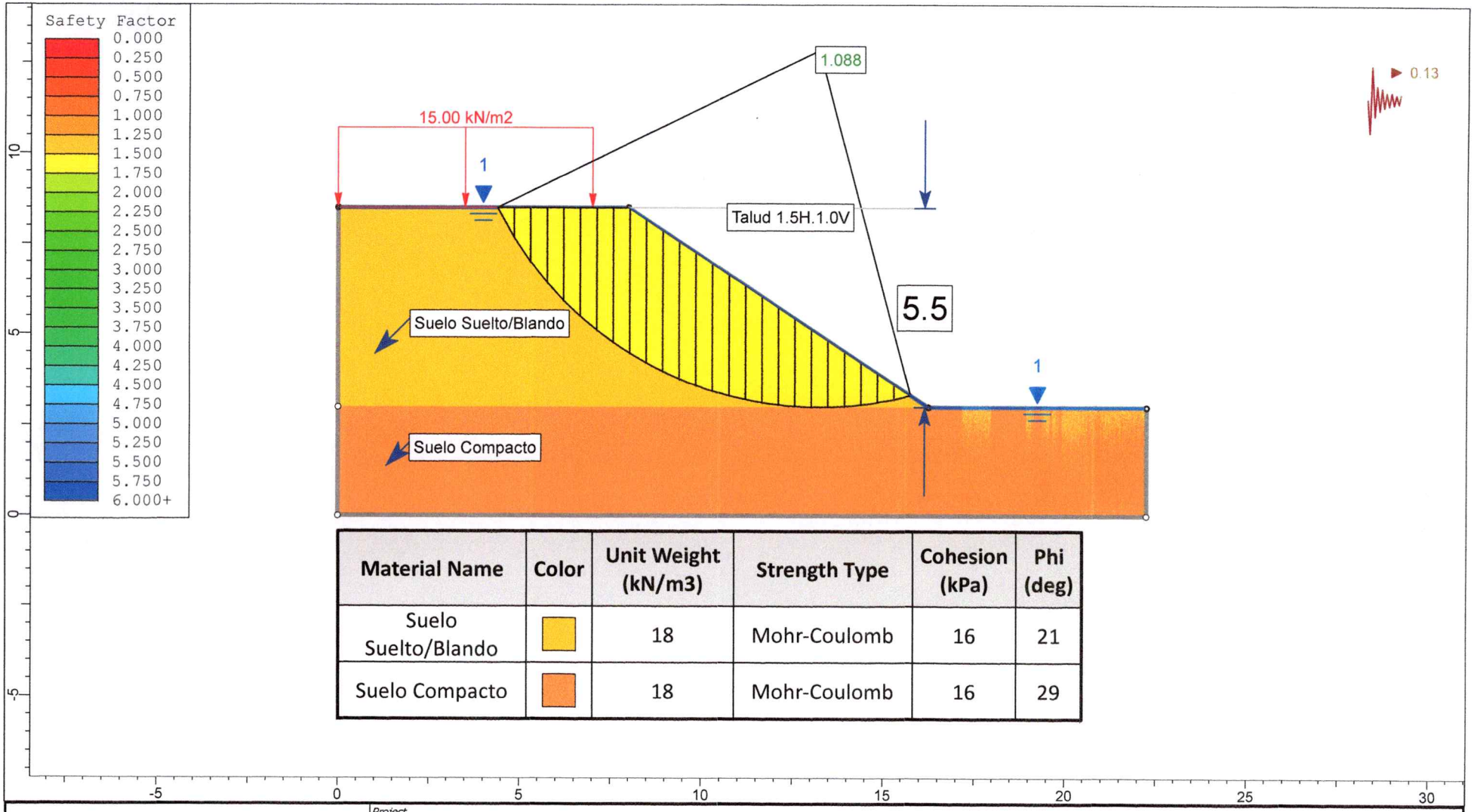
Project	EXCAVACION TALUD VERTICAL - PARCELA VILLA BONITA SECTO EL RINCON - GIRON			
Analysis Description	DINAMICO			
Drawn By	CONSTRUTERRA S.A.S.	Scale	1:153	Company
Date	23/05/2025			File Name: Talud Vertical - dinamico.slim



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Suelo Suelto/Blando		18	Mohr-Coulomb	16	21
Suelo Compacto		18	Mohr-Coulomb	16	29

SLIDEINTERPRET 6.020

Project	EXCAVACION TALUD 1.5H:1.0V - PARCELA VILLA BONITA SECTO EL RINCON - GIRON		
Analysis Description	ESTATICO		
Drawn By	CONSTRUTERRA S.A.S.	Scale 1:130	Company
Date	23/05/2025		File Name Talud 1.5H-1.0V - estatico.slim



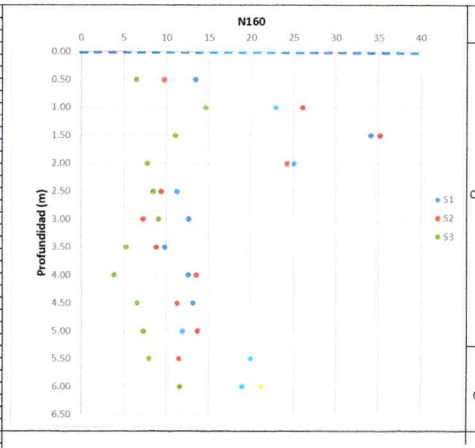
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Suelo Suelto/Blando		18	Mohr-Coulomb	16	21
Suelo Compacto		18	Mohr-Coulomb	16	29

rocscience

SLIDEINTERPRET 6.020

Project	EXCAVACION TALUD 1.5H:1.0V - PARCELA VILLA BONITA SECTO EL RINCON - GIRON		
Analysis Description	DINAMICO		
Drawn By	CONSTRUTERRA S.A.S.	Scale 1:145	Company
Date	23/05/2025		File Name Talud 1.5H-1.0V - dinamico.slim

Sondeo/Actuacion	Tipo suelo	φ' (°)	c' (kPa)	E (kPa)	v (Poisson)	Cu (kPa)	(φ' (°))^2	(c')^2	E^2	v ^2	Cu^2
G-S1	Compacto	30,11	1,03				906,66	1,06			
S1	Compacto	29,95		9392,20	0,17	53,67	897,25		88213455,31	0,03	2880,44
S1	Compacto	27,71	2,93	16016,95	0,24	91,53	767,84	8,58	256542660,16	0,06	8376,90
S1	Compacto	33,91	2,93	23883,20	0,31	136,48	1149,74	8,58	570407085,63	0,10	18625,54
S1	Compacto	30,89	2,93	17500,00	0,26	100,00	954,31	8,58	306250000,00	0,07	10000,00
S1	Compacto	24,21	2,93	7875,00	0,16	45,00	586,20	8,58	62015625,00	0,03	2025,00
S1	Compacto	25,61	2,93	8815,30	0,17	50,37	655,81	8,58	77709487,78	0,03	2537,45
S1	Compacto	24,20	2,93	6847,83	0,14	39,13	585,69	8,58	46892722,12	0,02	1531,19
S1	Compacto	26,35	2,93	8799,30	0,17	50,28	694,57	8,58	77427606,13	0,03	2528,25
S1	Compacto	26,95	2,93	9169,52	0,17	52,40	726,35	8,58	84080107,06	0,03	2745,47
S1	Compacto	26,46	2,93	8330,00	0,16	47,60	699,68	8,58	69388900,00	0,03	2265,76
S1	Compacto	30,97	2,93	13909,09	0,22	79,48	958,95	8,58	193462809,92	0,05	6317,15
S1	Compacto	30,67	2,93	13257,91	0,22	75,76	940,84	8,58	175772214,49	0,05	5739,50
G-S2	Suelta/Blando	23,70	2,31				561,57	5,36			
G-S2	Compacto	30,65					939,68				
S2	Suelto/Blando	27,74		6814,90	0,14	38,94	769,40		46442914,43	0,02	1516,50
S2	Suelto/Blando	27,96	1,53	18229,17	0,26	104,17	781,87	2,34	332302517,36	0,07	10850,69
S2	Suelto/Blando	34,54	1,53	24609,38	0,31	140,63	1192,88	2,34	605621337,89	0,10	19775,39
S2	Suelto/Blando	31,27	1,53	16971,98	0,25	96,98	977,68	2,34	288048198,76	0,06	9405,66
S2	Suelto/Blando	23,94	1,53	6562,50	0,14	37,50	573,34	2,34	43066406,25	0,02	1406,25
S2	Suelto/Blando	22,97	1,53	5080,65	0,11	29,03	527,83	2,34	25812955,25	0,01	842,87
S2	Suelto/Blando	24,57	1,53	6152,34	0,13	35,16	603,56	2,34	37851333,62	0,02	1235,96
S2	Compacto	27,75	1,65	9465,91	0,18	54,09	769,95	2,72	89603434,92	0,03	2925,83
S2	Compacto	26,63	1,65	7875,00	0,16	45,00	709,34	2,72	62015625,00	0,03	2025,00
S2	Compacto	28,29	1,65	9562,50	0,18	54,64	800,21	2,72	91441406,25	0,03	2985,84
S2	Compacto	27,18	1,65	8057,29	0,16	46,04	738,55	2,72	64919949,00	0,03	2119,84
S2	Compacto	32,41	1,65	14827,70	0,23	84,73	1050,23	2,72	219860767,44	0,05	7179,13
G-S3	Suelto/Blando	25,00	0,49				625,13	0,24			
G-S3	Compacto	28,88					833,87				
S3	Suelto/Blando	25,40		4543,27	0,11	25,96	645,19		20641295,30	0,01	674,00
S3	Suelto/Blando	22,04	1,49	10208,33	0,18	58,33	485,93	2,22	104210069,44	0,03	3402,78
S3	Suelto/Blando	22,80	1,49	7734,38	0,15	44,20	519,88	2,22	59820556,64	0,02	1953,32
S3	Suelto/Blando	21,93	1,49	5431,03	0,12	31,03	481,04	2,22	29496135,55	0,01	963,14
S3	Suelto/Blando	23,36	1,49	5906,25	0,13	33,75	545,71	2,22	34883789,06	0,02	1139,06
S3	Suelto/Blando	24,42	1,49	6350,81	0,13	36,29	596,20	2,22	40332742,59	0,02	1316,99
S3	Suelto/Blando	21,80	1,49	3691,41	0,09	21,09	475,04	2,22	13626480,10	0,01	444,95
S3	Suelto/Blando	20,73	1,49	2704,55	0,07	15,45	429,63	2,22	7314566,12	0,00	238,84
S3	Suelto/Blando	23,49	1,49	4593,75	0,11	26,25	551,98	2,22	21102539,06	0,01	689,06
S3	Suelto/Blando	24,27	1,49	5100,00	0,12	29,14	589,07	2,22	26010000,00	0,01	849,31
S3	Suelto/Blando	24,95	1,49	5578,13	0,12	31,88	622,51	2,22	31115478,52	0,01	1016,02
S3	Compacto	28,88		8087,84	0,16	46,22	833,87		65413120,89	0,03	2135,94



PERFIL ESTRATIGRAFICO TIPICO

SUELO COMPUESTO POR ARENA LIMOSA Y LIMO ARENOSO, DE CONSISTENCIA SUELTA Y BLANDA, SATURADA SUPERFICIALMENTE, PLASTICIDAD MEDIA.

SUELO COMPUESTO POR ARENA LIMOSA, DE CONSISTENCIA COMPACTA, SATURADA SUPERFICIALMENTE, PLASTICIDAD MEDIA.

	φ' (°)			c' (kPa)			E (kPa)			v (Poisson)			Cu (kPa)		
	Prom	Desv. Est.	COV	Prom	Desv. Est.	COV	Prom	Desv. Est.	COV	Prom	Desv. Est.	COV	Prom	Desv. Est.	COV
Suelto/Blando	24,90	3,32	0,13	1,45	0,24	0,17	8125,71	5672,59	0,70	0,15	0,06	0,41	46,43	56,63	1,22
Compacto	28,51	2,52	0,09	2,44	0,68	0,28	11204,03	4358,08	0,39	0,19	0,04	0,23	64,02	68,70	1,07

Resumen	φ' (°)	c' (kPa)	E (kPa)	v (Poisson)	Cu (kPa)
Suelto/Blando	24,90	1,45	8126	0,15	46,43
Compacto	28,51	2,44	11204	0,19	64,02

Criterio de Christian and Baecher (2001)

	φ' (°)					c' (kPa)					E (kPa)					v (Poisson)					Cu (kPa)				
	HCV	LCV	prom	desv	COV	HCV	LCV	prom	desv	COV	HCV	LCV	prom	desv	COV	HCV	LCV	prom	desv	COV	HCV	LCV	prom	desv	COV
Suelto/Blando	34,54	20,73	27,63	3,45	0,12	1,53	0,49	1,01	0,26	0,26	24609,38	2704,55	13656,96	5476,21	0,40	0,31	0,00	0,16	0,08	0,50	140,63	0,00	70,31	35,16	0,50
Compacto	33,91	24,20	29,05	2,43	0,08	2,93	1,03	1,98	0,48	0,24	23883,20	6847,83	15365,51	4258,84	0,28	0,31	0,14	0,23	0,04	0,19	136,48	39,13	87,80	24,34	0,28

Resumen	φ' (°)	c' (kPa)	E (kPa)	v (Poisson)	Cu (kPa)
Suelto/Blando	27,63	1,01	13656,96	0,16	70,31
Compacto	29,05	1,98	15365,51	0,23	87,80

Parámetros por Correlacion					
Tipo	φ' (°)	c' (kPa)	E (kPa)	v (Poisson)	Cu (kPa)
Suelto/Blando	25,0	2,0	8126	0,16	47
Compacto	29,0	2,0	11205	0,23	65

Cortes Directos			
Sondeo, Apique o Trinchera	Tipo de Suelo	φ' (°)	c' (kPa)
CD-S2M3	Suelto/Blando	17,00	29,03

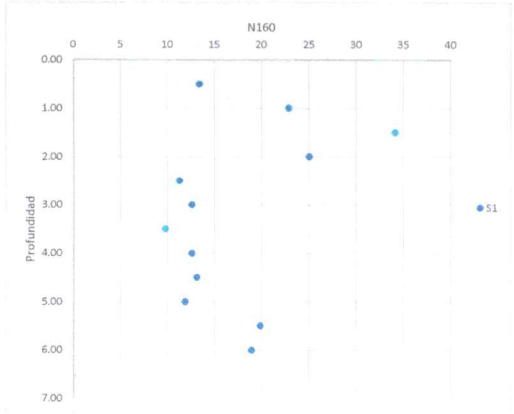
Parámetros de diseño					
Tipo	φ' (°)	c' (kPa)	E (kPa)	v (Poisson)	Cu (kPa)
Suelto/Blando	21,0	16,0	8126,0	0,16	47,0
Compacto	29,0	16,0	11205,0	0,23	65,0

CORRECCION DEL NUMERO DE GOLPES OBTENIDO DEL ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT).

Sondeo	S1

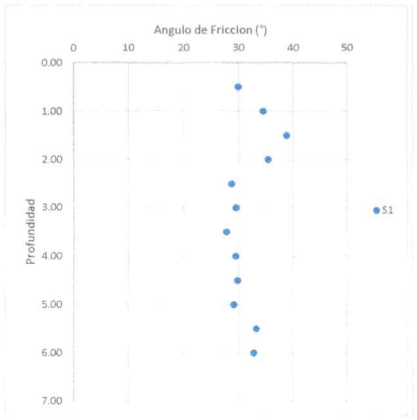
Nivel Freatico	1	m

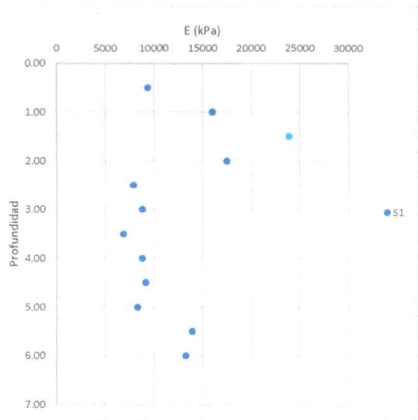
Profundidad (m)			Ensayo SPT 6"	12"	18"	Ncampo	Descripción	Material	USC	γ (Ton/m3)	Pp (ton/m2)	σt (ton/m2)	σ'v (ton/m2)	Factores de Correccion, N CE	CB	CR	CS	CN	Ncorregido N_{145}	N60	Ncorregido N_{160}
0.00	-	0.50	3	5	8	13	SUELO COMPUESTO POR ARENA LIMOSA, DE CONSISTENCIA COMPACTA, SATURADA DESDE 1,0 METRO DE PROFUNDIDAD, PLASTICIDAD MEDIA.	Compacto	SM	1.80	0.00	0.90	0.9	0.75	1.0	0.75	1.0	1.83	18	7	13
0.50	-	1.00	9	11	13	24		Compacto	SM	1.80	0.00	1.80	1.8	0.75	1.0	0.75	1.0	1.69	31	14	23
1.00	-	1.50	12	16	21	37		Compacto	SM	1.80	0.50	2.70	2.2	0.75	1.0	0.75	1.0	1.64	45	21	34
1.50	-	2.00	22	16	12	28		Compacto	SM	1.80	1.00	3.60	2.6	0.75	1.0	0.75	1.0	1.59	33	16	25
2.00	-	2.50	8	6	7	13		Compacto	SM	1.80	1.50	4.50	3.0	0.75	1.0	0.75	1.0	1.54	15	7	11
2.50	-	3.00	7	7	8	15		Compacto	SM	1.80	2.00	5.40	3.4	0.75	1.0	0.75	1.0	1.49	17	8	13
3.00	-	3.50	6	7	5	12		Compacto	SM	1.80	2.50	6.30	3.8	0.75	1.0	0.75	1.0	1.45	13	7	10
3.50	-	4.00	5	6	8	14		Compacto	SM	1.80	3.00	7.20	4.2	0.75	1.0	0.85	1.0	1.41	17	9	13
4.00	-	4.50	5	6	9	15		Compacto	SM	1.80	3.50	8.10	4.6	0.75	1.0	0.85	1.0	1.37	17	10	13
4.50	-	5.00	9	7	7	14		Compacto	SM	1.80	4.00	9.00	5.0	0.75	1.0	0.85	1.0	1.33	16	9	12
5.00	-	5.50	7	11	13	24		Compacto	SM	1.80	4.50	9.90	5.4	0.75	1.0	0.85	1.0	1.30	26	15	20
5.50	-	6.00	12	10	11	21		Compacto	SM	1.80	5.00	10.80	5.8	0.75	1.0	0.95	1.0	1.27	25	15	19
			RECHAZO																		

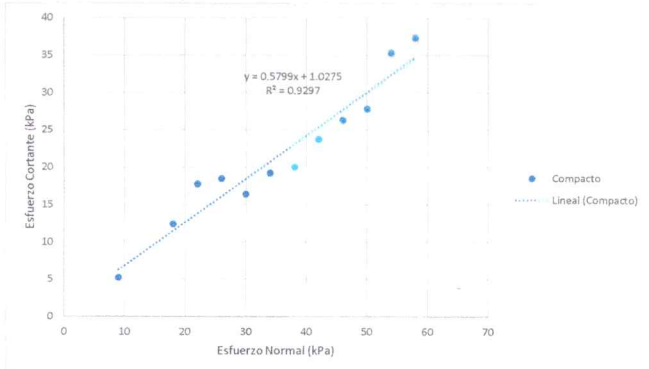


CORRECCION DEL NUMERO DE GOLPES OBTENIDO DEL ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT).

Angulo de Fricción (°)	Cohesion no drenada	Modulo de Elasticidad	Imai y Yoshimura	Ohba y Toriumi	Ohta y Goto	Japan Road Association	Alfaro	Maheswari et. Al.,	Promedio	Perfil de Suelo NSR-10		Envolvente de falla		C'	ϕ' Min	C'	ϕ'	v
Kishida	Cu (Kpa)	E (Kpa)								di	di/Vsi	σ'v (kPa)	τ' (kPa)	kPa	ϕ' (°)	kPa	ϕ' (°)	
30	54	9392	177	186	208	235	234	207	208	0.50	0.002	9	5.18653482	0.45	27.77	0.00	29.95	0.17
35	92	16017	217	225	258	288	288	249	254	0.50	0.002	18	12.3841689	2.91	27.77	2.93	27.71	0.24
39	136	23883	250	257	300	333	332	284	293	0.50	0.002	22	17.7177638	6.13	27.77	2.93	33.91	0.31
35	100	17500	228	236	272	304	303	261	267	0.50	0.002	26	18.4857183	4.79	27.77	2.93	30.89	0.26
29	45	7875	177	186	208	235	234	207	208	0.50	0.002	30	16.4198003	0.62	27.77	2.93	24.21	0.16
29	50	8815	186	194	219	247	246	216	218	0.50	0.002	34	19.2264945	1.32	27.77	2.93	25.61	0.17
28	39	6848	173	181	203	229	228	202	203	0.50	0.002	38	20.0087306	0.00	27.77	2.93	24.20	0.14
29	50	8799	182	190	214	241	240	212	213	0.50	0.002	42	23.7376497	1.62	27.77	2.93	26.35	0.17
30	52	9170	186	194	219	247	246	216	218	0.50	0.002	46	26.3185684	2.10	27.77	2.93	26.95	0.17
29	48	8330	182	190	214	241	240	212	213	0.50	0.002	50	27.8103141	1.48	27.77	2.93	26.46	0.16
33	79	13909	217	225	258	288	288	249	254	0.50	0.002	54	35.333978	6.90	27.77	2.93	30.97	0.22
33	76	13258	208	216	246	276	275	239	243	0.50	0.002	58	37.3311173	6.79	27.77	2.93	30.67	0.22
										6.00	0.026							
										230								
										D								







Tomando el intercepto de cohesión		
Material	ϕ' (°)	c' (kPa)
Compacto	30.11	1.03

Tomando cohesión como 0		
Material	ϕ'	c'
Compacto	31.16	0.00

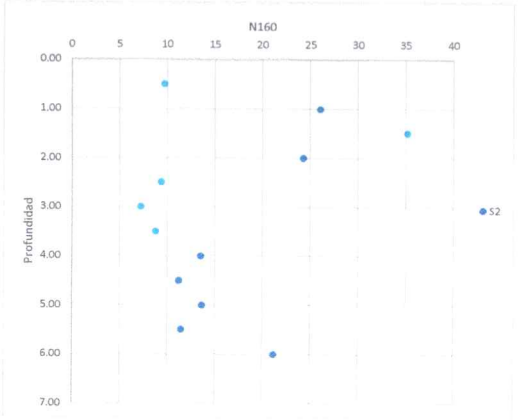
Seleccionados		
Material	ϕ'	c'
Compacto	30.11	1.03

CORRECCION DEL NUMERO DE GOLPES OBTENIDO DEL ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT).

Sondeo	S2

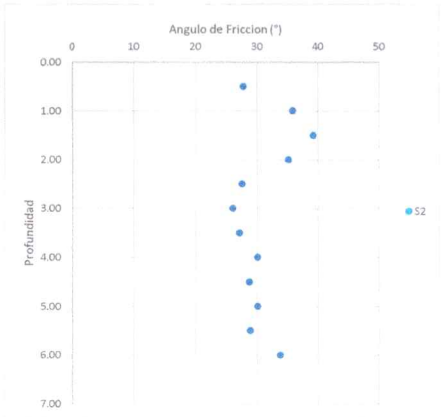
Nivel Freatico	0	m

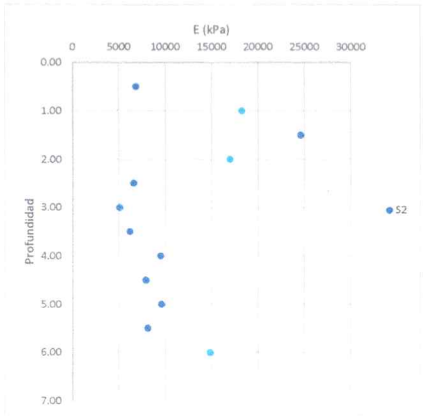
Profundidad (m)			Ensayo SPT			Ncampo	Descripción	Material	USC	γ	Pp	σt	σ'v	Factores de Correccion, N					Ncorregido N_{145}	N60	Ncorregido N_{160}
			6"	12"	18"					(Ton/m3)	(ton/m2)	(ton/m2)	(ton/m2)	CE	CB	CR	CS	CN			
0.00	-	0.50	5	5	4	9	SUELO COMPUESTO POR ARENA LIMOSA Y LIMO ARENOSO, DE CONSISTENCIA SUELTA Y BLANDA, SATURADA SUPERFICIALMENTE, PLASTICIDAD MEDIA.	Suelto/Blando	SM-ML	1.80	0.50	0.90	0.4	0.75	1.0	0.75	1.0	1.92	13	5	10
0.50	-	1.00	6	10	15	25		Suelto/Blando	SM-ML	1.80	1.00	1.80	0.8	0.75	1.0	0.75	1.0	1.85	35	14	26
1.00	-	1.50	12	15	20	35		Suelto/Blando	SM-ML	1.80	1.50	2.70	1.2	0.75	1.0	0.75	1.0	1.79	47	20	35
1.50	-	2.00	12	15	10	25		Suelto/Blando	SM-ML	1.80	2.00	3.60	1.6	0.75	1.0	0.75	1.0	1.72	32	14	24
2.00	-	2.50	8	6	4	10		Suelto/Blando	SM-ML	1.80	2.50	4.50	2.0	0.75	1.0	0.75	1.0	1.67	13	6	9
2.50	-	3.00	4	4	4	8		Suelto/Blando	SM-ML	1.80	3.00	5.40	2.4	0.75	1.0	0.75	1.0	1.61	10	5	7
3.00	-	3.50	4	4	6	10		Suelto/Blando	SM-ML	1.80	3.50	6.30	2.8	0.75	1.0	0.75	1.0	1.56	12	6	9
3.50	-	4.00	7	7	7	14	SUELO COMPUESTO POR ARENA LIMOSA Y LIMO ARENOSO, DE CONSISTENCIA COMPACTA, SATURADA SUPERFICIALMENTE, PLASTICIDAD MEDIA.	Compacto	SM-ML	1.80	4.00	7.20	3.2	0.75	1.0	0.85	1.0	1.52	18	9	14
4.00	-	4.50	5	6	6	12		Compacto	SM-ML	1.80	4.50	8.10	3.6	0.75	1.0	0.85	1.0	1.47	15	8	11
4.50	-	5.00	6	7	8	15		Compacto	SM-ML	1.80	5.00	9.00	4.0	0.75	1.0	0.85	1.0	1.43	18	10	14
5.00	-	5.50	7	6	7	13		Compacto	SM-ML	1.80	5.50	9.90	4.4	0.75	1.0	0.85	1.0	1.39	15	8	12
5.50	-	6.00	10	12	10	22		Compacto	SM-ML	1.80	6.00	10.80	4.8	0.75	1.0	0.95	1.0	1.35	28	16	21
			RECHAZO																		

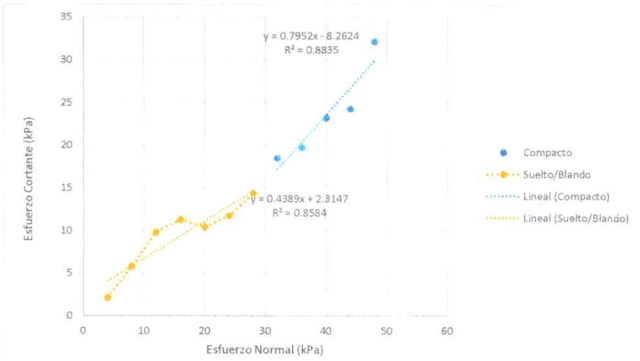


CORRECCION DEL NUMERO DE GOLPES OBTENIDO DEL ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT).

Angulo de Fricción (°)	Cohesion no drenada	Modulo de Elasticidad	Imai y Yoshimura	Ohba y Toriumi	Ohta y Goto	Japan Road Association	Alfaro	Maheswari et. Al.,	Promedio	Perfil de Suelo NSR-10		Envolvente de falla		C'	ϕ' Min	C'	ϕ'	ν
Kishida	Cu (Kpa)	E (Kpa)								di	di/Vsi	σ'v (kPa)	τ' (kPa)	kPa	ϕ' (°)	kPa	ϕ' (°)	
28	39	6815	157	166	183	208	207	185	184	0.50	0.003	4	2.10344266	0.15	26.00	0.00	27.74	0.14
36	104	18229	220	228	262	292	291	252	258	0.50	0.002	8	5.7768601	1.87	26.00	1.53	27.96	0.26
39	141	24609	246	253	294	327	326	279	287	0.50	0.002	12	9.78910478	3.94	26.00	1.53	34.54	0.31
35	97	16972	220	228	262	292	291	252	258	0.50	0.002	16	11.2458686	3.44	26.00	1.53	31.27	0.25
28	38	6563	162	172	190	215	215	191	191	0.50	0.003	20	10.411341	0.66	26.00	1.53	23.94	0.14
26	29	5081	151	160	176	200	199	179	178	0.50	0.003	24	11.7048218	0.00	26.00	1.53	22.97	0.11
27	35	6152	162	172	190	215	215	191	191	0.50	0.003	28	14.3302189	0.67	26.00	1.53	24.57	0.13
30	54	9466	182	190	214	241	240	212	213	0.50	0.002	32	18.4846083	0.97	28.69	1.65	27.75	0.18
29	45	7875	173	181	203	229	228	202	203	0.50	0.002	36	19.7037603	0.00	28.69	1.65	26.63	0.16
30	55	9563	186	194	219	247	246	216	218	0.50	0.002	40	23.1769503	1.29	28.69	1.65	28.29	0.18
29	46	8057	177	186	208	235	234	207	208	0.50	0.002	44	24.2398732	0.16	28.69	1.65	27.18	0.16
34	85	14828	211	219	250	280	279	243	247	0.50	0.002	48	32.1203083	5.85	28.69	1.65	32.41	0.23
										6.00	0.028							
										215								
										D								







Tomando el intercepto de cohesión		
Material	ϕ' (°)	c' (kPa)
Suelta/Blando	23.70	2.31
Compacto	38.49	-8.26

Tomando cohesión como 0		
Material	ϕ'	c'
Suelta/Blando	29.02	0.00
Compacto	30.65	0.00

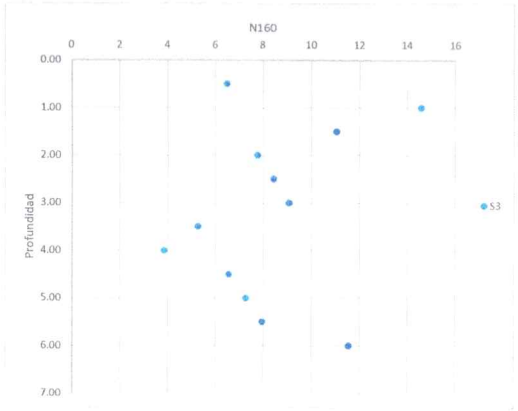
Seleccionados		
Material	ϕ'	c'
Suelta/Blando	23.70	2.31
Compacto	30.65	0.00

CORRECCION DEL NUMERO DE GOLPES OBTENIDO DEL ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT).

Sondeo	S3

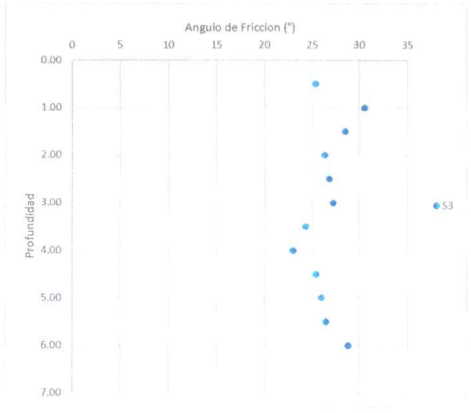
Nivel Freatico	0	m

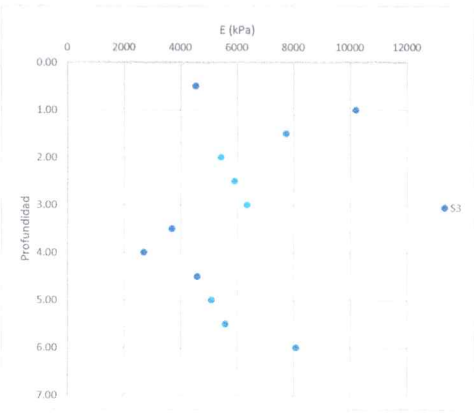
Profundidad (m)			Ensayo SPT			Ncampo	Descripción	Material	USC	γ	Pp	σt	σ'v	Factores de Correccion, N					Ncorregido N_{145}	N60	Ncorregido N_{160}
			6"	12"	18"					(Ton/m3)	(ton/m2)	(ton/m2)	(ton/m2)	CE	CB	CR	CS	CN			
0.00	-	0.50	3	3	3	6	SUELO COMPUESTO POR ARENA LIMOSA Y LIMO ARENOSO, DE CONSISTENCIA SUELTA Y BLANDA, SATURADA SUPERFICIALMENTE, PLASTICIDAD MEDIA.	Suelto/Blando	SM-ML	1.80	0.50	0.90	0.4	0.75	1.0	0.75	1.0	1.92	9	3	6
0.50	-	1.00	5	7	7	14		Suelto/Blando	SM-ML	1.80	1.00	1.80	0.8	0.75	1.0	0.75	1.0	1.85	19	8	15
1.00	-	1.50	6	6	5	11		Suelto/Blando	SM-ML	1.80	1.50	2.70	1.2	0.75	1.0	0.75	1.0	1.79	15	6	11
1.50	-	2.00	5	4	4	8		Suelto/Blando	SM-ML	1.80	2.00	3.60	1.6	0.75	1.0	0.75	1.0	1.72	10	5	8
2.00	-	2.50	4	4	5	9		Suelto/Blando	SM-ML	1.80	2.50	4.50	2.0	0.75	1.0	0.75	1.0	1.67	11	5	8
2.50	-	3.00	5	5	5	10		Suelto/Blando	SM-ML	1.80	3.00	5.40	2.4	0.75	1.0	0.75	1.0	1.61	12	6	9
3.00	-	3.50	3	3	3	6		Suelto/Blando	SM-ML	1.80	3.50	6.30	2.8	0.75	1.0	0.75	1.0	1.56	7	3	5
3.50	-	4.00	2	2	2	4		Suelto/Blando	SM-ML	1.80	4.00	7.20	3.2	0.75	1.0	0.85	1.0	1.52	5	3	4
4.00	-	4.50	2	3	4	7		Suelto/Blando	SM-ML	1.80	4.50	8.10	3.6	0.75	1.0	0.85	1.0	1.47	9	4	7
4.50	-	5.00	4	4	4	8		Suelto/Blando	SM-ML	1.80	5.00	9.00	4.0	0.75	1.0	0.85	1.0	1.43	10	5	7
5.00	-	5.50	4	4	5	9		Suelto/Blando	SM-ML	1.80	5.50	9.90	4.4	0.75	1.0	0.85	1.0	1.39	11	6	8
5.50	-	6.00	5	6	6	12	SUELO COMPUESTO POR ARENA LIMOSA, DE CONSISTENCIA COMPACTA, SATURADA SUPERFICIALMENTE, PLASTICIDAD MEDIA.	Compacto	SM	1.80	6.00	10.80	4.8	0.75	1.0	0.95	1.0	1.35	15	9	12
			RECHAZO																		

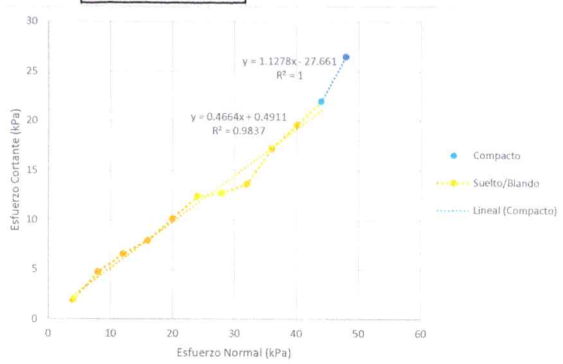


CORRECCION DEL NUMERO DE GOLPES OBTENIDO DEL ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT).

Angulo de Fricción (°)	Cohesion no drenada	Modulo de Elasticidad	Imai y Yoshimura	Ohba y Toriumi	Ohta y Goto	Japan Road Association	Alfaro	Maheswari et. Al.,	Promedio	Perfil de Suelo NSR-10		Envolvente de falla		C'	ϕ' Min	C'	ϕ'	v
Kishida	Cu (Kpa)	E (Kpa)								di	di/Vsi	σ'v (kPa)	τ' (kPa)	kPa	ϕ' (°)	kPa	ϕ' (°)	
25	26	4543	137	146	159	182	181	164	162	0.50	0.003	4	1.89939343	0.20	23.02	0.00	25.40	0.11
31	58	10208	182	190	214	241	240	212	213	0.50	0.002	8	4.72934745	1.33	23.02	1.49	22.04	0.18
29	44	7734	168	177	197	222	222	197	197	0.50	0.003	12	6.53453267	1.44	23.02	1.49	22.80	0.15
26	31	5431	151	160	176	200	199	179	178	0.50	0.003	16	7.93254135	1.13	23.02	1.49	21.93	0.12
27	34	5906	157	166	183	208	207	185	184	0.50	0.003	20	10.1283891	1.63	23.02	1.49	23.36	0.13
27	36	6351	162	172	190	215	215	191	191	0.50	0.003	24	12.3855915	2.19	23.02	1.49	24.42	0.13
24	21	3691	137	146	159	182	181	164	162	0.50	0.003	28	12.6866349	0.79	23.02	1.49	21.80	0.09
23	15	2705	120	129	138	159	158	145	142	0.50	0.004	32	13.5994009	0.00	23.02	1.49	20.73	0.07
25	26	4594	144	154	168	191	191	172	170	0.50	0.003	36	17.1389303	1.84	23.02	1.49	23.49	0.11
26	29	5100	151	160	176	200	199	179	178	0.50	0.003	40	19.5261266	2.53	23.02	1.49	24.27	0.12
27	32	5578	157	166	183	208	207	185	184	0.50	0.003	44	21.9610208	3.27	23.02	1.49	24.95	0.12
29	46	8088	173	181	203	229	228	202	203	0.50	0.002	48	26.4721487	0.00	28.88	0.00	28.88	0.16
										6.00	0.034							
										178								
										D								



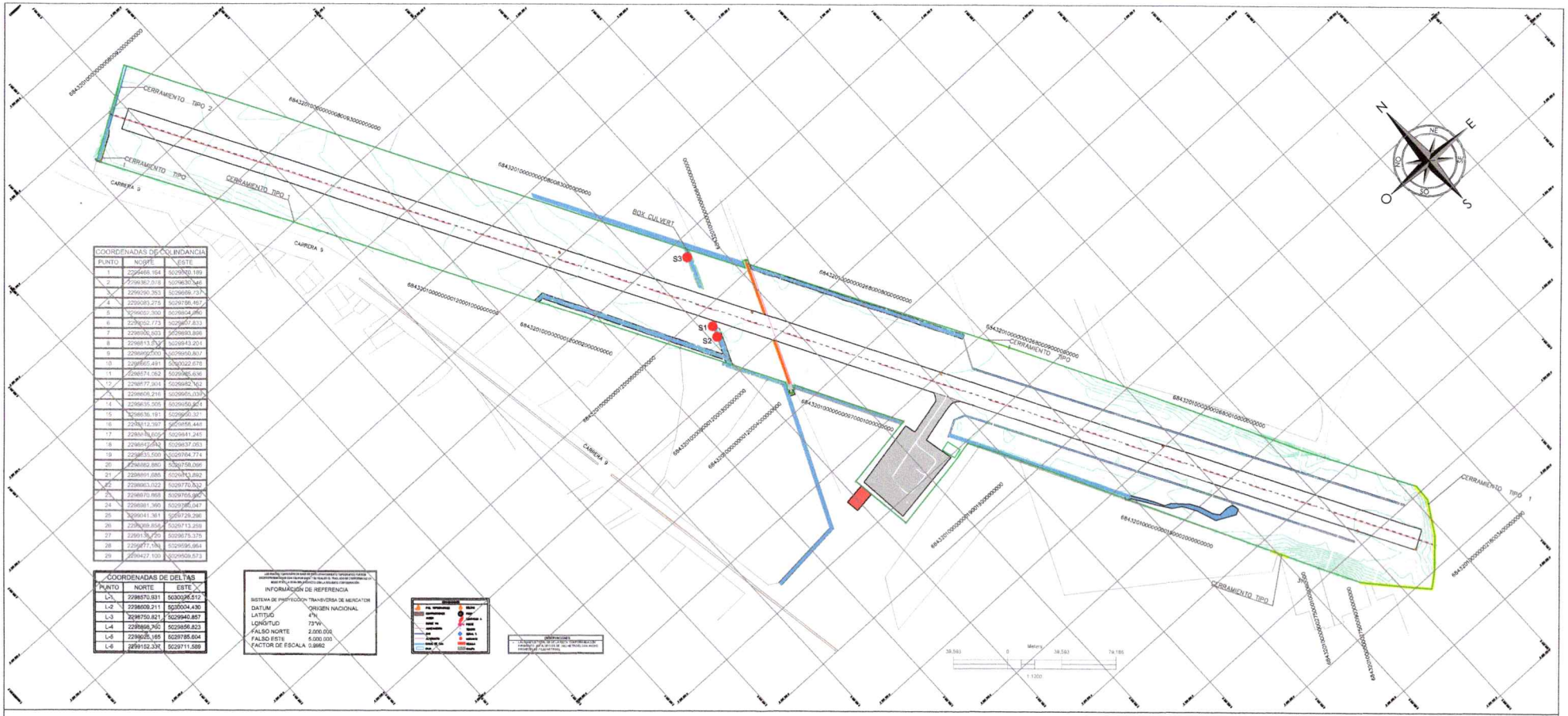




Tomando el intercepto de cohesión		
Material	ϕ' (°)	c' (kPa)
Suelto/Blando	25.00	0.49
Compacto	48.44	-27.66

Tomando cohesión como 0		
Material	ϕ'	c'
Suelto/Blando	25.75	0.00
Compacto	28.88	0.00

Seleccionados		
Material	ϕ'	c'
Suelto/Blando	25.00	0.49
Compacto	28.88	0.00



COORDENADAS DE COLINDANCIA		
PUNTO	NORTE	ESTE
1	2296468.164	5029760.189
2	2296382.318	5029630.346
3	2296290.353	5029659.737
4	2296083.275	5029786.467
5	2296022.300	5029804.960
6	2296092.773	5029857.833
7	2296906.603	5029893.806
8	2296813.872	5029943.204
9	2296892.500	5029950.807
10	2296965.491	5030022.678
11	2296874.062	5029965.636
12	2296877.305	5029952.762
13	2296908.215	5029965.035
14	2296935.205	5029956.264
15	2296936.191	5029950.321
16	2296912.797	5029858.448
17	2296881.605	5029841.245
18	2296842.042	5029837.053
19	2296835.500	5029764.774
20	2296882.880	5029758.066
21	2296891.585	5029803.892
22	2296863.022	5029770.532
23	2296870.855	5029765.980
24	2296881.360	5029765.047
25	2296941.361	5029729.298
26	2296908.856	5029713.259
27	2299136.720	5029675.375
28	2299277.100	5029595.964
29	2299427.100	5029509.573

COORDENADAS DE DELTAS		
PUNTO	NORTE	ESTE
L-1	2298570.931	5030026.512
L-2	2298609.211	5030004.430
L-3	2298750.821	5029940.857
L-4	2298868.765	5029856.823
L-5	2299025.165	5029785.604
L-6	2299152.335	5029711.589

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

SISTEMA DE PROYECCIÓN TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM	ORIGEN NACIONAL
LATITUD	4°N
LONGITUD	73°W
FALSO NORTE	2.000.000
FALSO ESTE	5.000.000
FACTOR DE ESCALA	0.9992

Alcaldía de Málaga

CONTIENE

CONSTRUCCION DE UN BOXCULVERT Y REPOSICION DE ALGUNOS SECTORES DEL CERRAMIENTO PERIMETRAL EN CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONÁUTICA CIVIL PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN DEL AERÓDROMO JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA – SANTANDER.

LOC. EXPLORACIÓN DE CAMPO

DATOS DEL PREDIO

DIRECCION: CARRERA 9 Nº 18/02 AEROPUERTO DE MALAGA
CODIGO PREDIAL Nº: 68432010000000013000100000000
AREA: 10.858 m2

REVISO

ALEJANDRO MELGAREJO ZAPATA
JEFE OFICINA ASESORA DE PLANEACION Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL
MÁLAGA – SANTANDER

ELABORO:

NOMBRE: ELKIN SUÁREZ CALDERÓN

MATRICULA PROFESIONAL: 68202 – 170182 STD

FIRMA

OBSERVACIONES

FECHA DE ELABORACIÓN
MAYO DE 2025

ESCALA 1/1200

PLANO 1/1

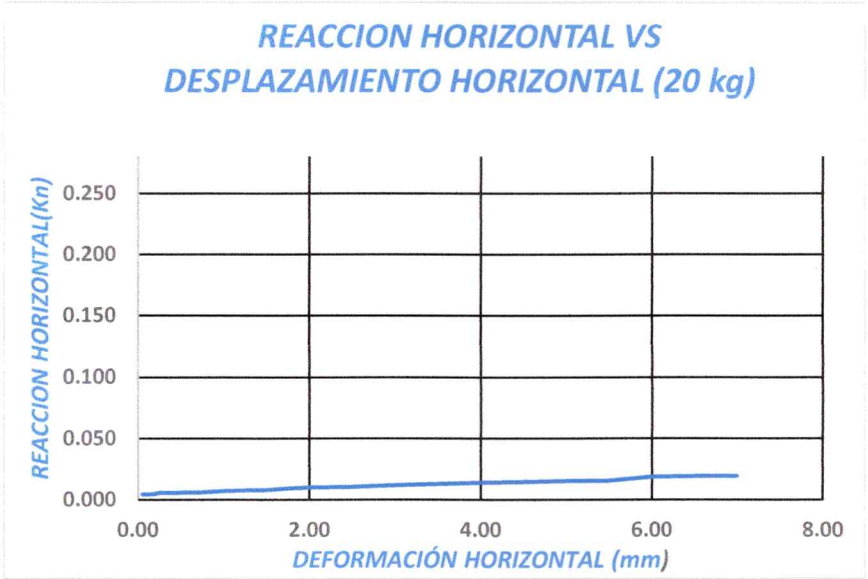
ARCHIVO
LOC.EXPLORACIÓN DE CAMPO.DWG

ConstruTerra S.A.S
GEOTECNIA E INGENIERIA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
PROCESO DE LABORATORIO
INV E- 154

PROYECTO	ESTUDIO DE SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE AERODROMO JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA - SANTANDER PARA DAR CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONÁUTICA CIVIL PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN	SONDEO:	S2
		MUESTRA:	M3
		PROF:	2,00 - 3,00 mts
		FECHA:	16/5/2025

Carga	**20.00**	**kg**	Esfuerzo normal	1.02	kg/cm2
ANILLO			Determinacion de la humedad en %		
Diametro	5.00	cm	Peso de tara	72.6	gr
Area	19.64	cm2	Peso tara + suelo humedo	166.5	gr
Altura	2.50	cm	Peso tara + suelo seco	147.40	gr
Volumen	49.09	cm3	Peso del agua	19.10	gr
			Peso suelo seco	74.80	gr
			Humedad	25.53	%
Peso del anillo	73.91	gr			
Peso muestra+ anillo	169.4	gr	Densidad humeda	1.95	gr/cm3
Peso muestra humeda	95.49	gr	Densidad seca	1.55	gr/cm3



LAURA ESTEBAN BLANCO
Geóloga Esp. Geotecnia
Aprobó

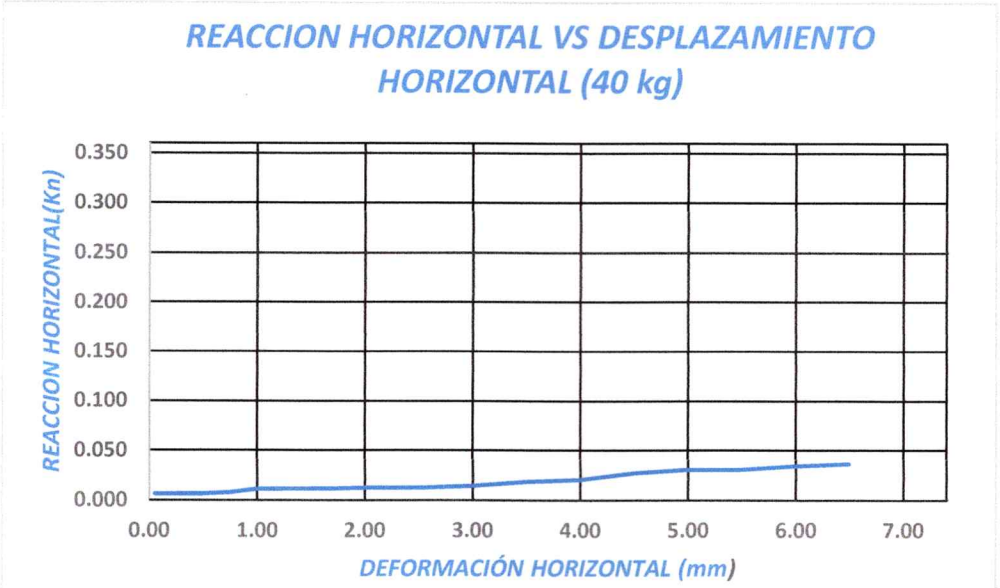
DIEGO A. CRUZ RUEDA
Laboratorista
Realizó

ConstruTerra S.A.S
GEOTECNIA E INGENIERIA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
PROCESO DE LABORATORIO
INV E- 154

PROYECTO	ESTUDIO DE SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE AERODROMO JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA - SANTANDER PARA DAR CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONÁUTICA CIVIL PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN	SONDEO:	S2
		MUESTRA:	M3
		PROF:	2,00 - 3,00 mts
		FECHA:	16/5/2025

Carga	**40.00**	**kg**	Esfuerzo normal	2.04	kg/cm2
ANILLO			Determinacion de la humedad en %		
Diametro	5.00	cm	Peso de tara	71.8	gr
Area	19.64	cm2	Peso tara + suelo humedo	163.2	gr
Altura	2.50	cm	Peso tara + suelo seco	143.90	gr
Volumen	49.09	cm3	Peso del agua	19.30	gr
			Peso suelo seco	72.10	gr
			Humedad	26.77	%
Peso del anillo	73.91	gr			
Peso muestra+ anillo	167.9	gr	Densidad humeda	1.91	gr/cm3
Peso muestra humeda	93.99	gr	Densidad seca	1.51	gr/cm3



LAURA ESTEBAN BLANCO
Geóloga Esp. Geotecnia
Aprobó

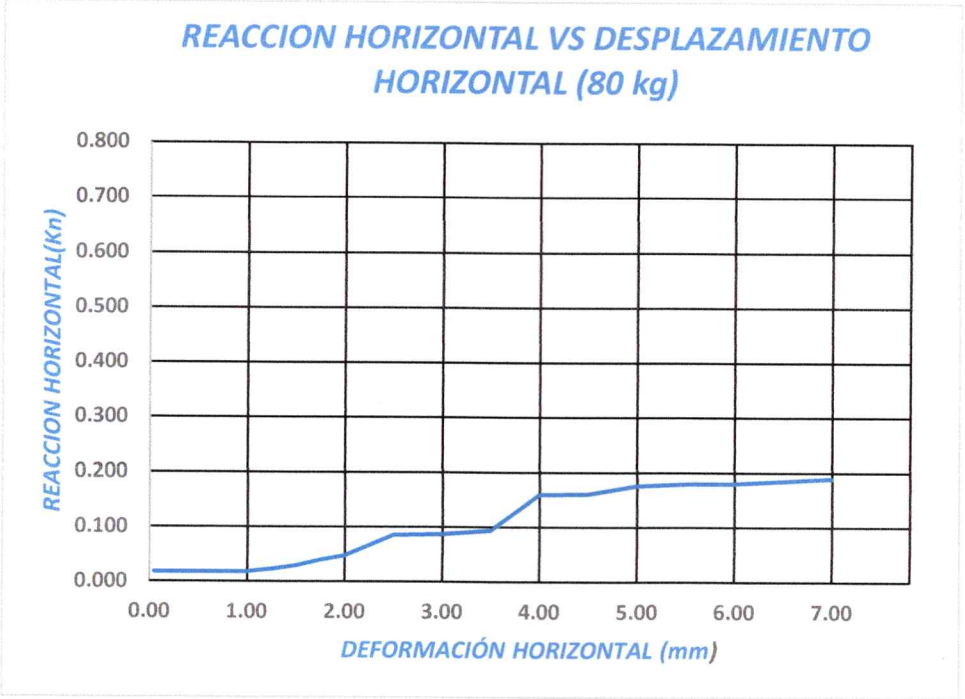
DIEGO A. CRUZ RUEDA
Laboratorista
Realizó

ConstruTerra S.A.S
GEOTECNIA E INGENIERIA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
PROCESO DE LABORATORIO
INV E- 154

PROYECTO	ESTUDIO DE SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE AERÓDROMO JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA - SANTANDER PARA DAR CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONÁUTICA CIVIL PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN	SONDEO:	S2
		MUESTRA:	M3
		PROF:	2,00 - 3,00 mts
		FECHA:	16/5/2025

Carga	**80.00**	**kg**	Esfuerzo normal	4.07	kg/cm2
ANILLO			Determinacion de la humedad en %		
Diametro	5.00	cm	Peso de tara	71.8	gr
Area	19.64	cm2	Peso tara + suelo humedo	164.5	gr
Altura	2.50	cm	Peso tara + suelo seco	147.80	gr
Volumen	49.09	cm3	Peso del agua	16.70	gr
			Peso suelo seco	76.00	gr
			Humedad	21.97	%
Peso del anillo	73.91	gr			
Peso muestra+ anillo	170.7	gr	Densidad humeda	1.97	gr/cm3
Peso muestra humeda	96.79	gr	Densidad seca	1.62	gr/cm3



LAURA ESTEBAN BLANCO
Geóloga Esp. Geotecnia
Aprobó

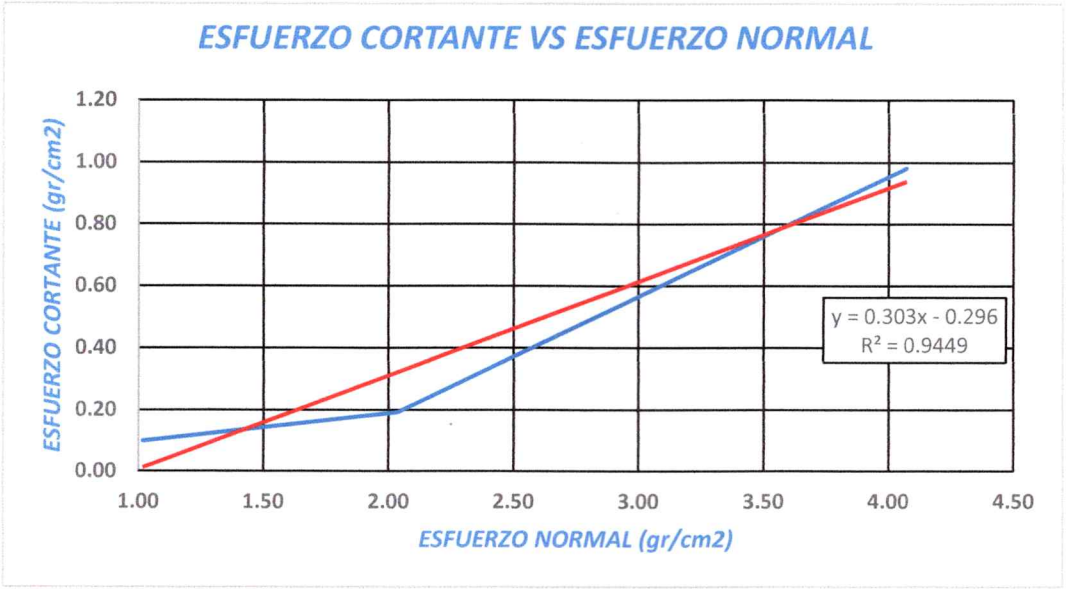
DIEGO A. CRUZ RUEDA
Laboratorista
Realizó

ConstruTerra S.A.S
GEOTECNIA E INGENIERÍA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
PROCESO DE LABORATORIO
INV E- 154

PROYECTO	ESTUDIO DE SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE AERÓDROMO JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA - SANTANDER PARA DAR CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONÁUTICA CIVIL PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN	**SONDEO:**	S2
		MUESTRA:	M3
		PROF:	2,00 - 3,00 mts
		FECHA:	16/5/2025

Carga vertical (kg)	Area (cm2)	Carga maxima (kg)	Esfuerzo normal (Kg/cm2)	Esfuerzo cortante (kg/cm2)
20.00	19.64	1.94	1.02	0.10
40.00	19.64	3.77	2.04	0.19
80.00	19.64	19.27	4.07	0.98



Humedad	24.76	%
Pendiente	0.30	
Ángulo de fricción	17	Grados
Cohesión	0.2960	kg/cm2
Cohesión	29.03	KN/m2

LAURA ESTEBAN BLANCO
Geóloga Esp. Geotecnia
Aprobó

DIEGO A. CRUZ RUEDA
Laboratorista
Realizó

ConstruTerra S.A.S
GEOTECNIA E INGENIERIA

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN
I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126

Calle 4 No. 7 - 46
Floridablanca, Santander
321 247 74 77
construterrasas@gmail.com

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE AERÓDROMO JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA - SANTANDER PARA DAR CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONÁUTICA CIVIL PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN

ABSCISA:	N.A
SONDEO:	S1
MUESTRA:	M1
PROF:	0,00 - 1,00 mts
FECHA:	Mayo 16 de 2025

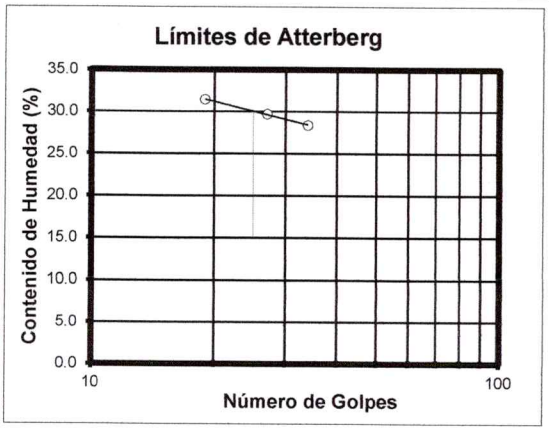
LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO

Determinación No	1	2	3
No GOLPES	34	27	19
RECIP. No.	BJ	BE	AU
PESO DE RECIP. + S.H.	40.63	44.47	48.62
PESO DE RECIP. + S.S.	34.84	37.56	40.39
PESO RECIPIENTE	14.45	14.3	14.22
PESO AGUA	5.79	6.91	8.23
PESO SUELO SECO	20.39	23.26	26.17
% HUMEDAD	28.40	29.71	31.45

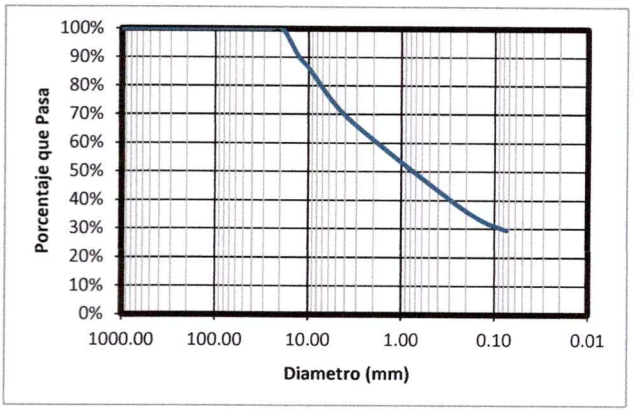
LÍMITE PLÁSTICO

			Humedad Natural
RECIP. No.	77	54	
PESO DE RECIP. + S.H.	21.44	24.56	1051.20
PESO DE RECIP. + S.S.	17.78	20.26	922.70
PESO RECIPIENTE	4.57	4.80	74.60
PESO AGUA	3.66	4.30	128.50
PESO SUELO SECO	13.21	15.46	848.10
% HUMEDAD	27.71	27.81	15.15



GRADACIÓN

Peso inicial:	706.70	gr	Peso final:	499.40 gr	
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3"	76.10				
2 ½"	64.00				
2"	50.80				
1 ½"	38.10				
1"	25.40				100.0%
3/4"	19.00				
1/2"	12.70	69.9	9.9%	9.9%	90.1%
3/8"	9.51	33.0	4.7%	14.6%	85.4%
4	4.76	94.1	13.3%	27.9%	72.1%
8	2.38	65.9	9.3%		
10	2.00	12.2	1.7%	38.9%	61.1%
12	1.68	19.1	2.7%		
16	1.19	10.1	1.4%		
30	0.59	60.8	8.6%		
40	0.42	32.1	4.5%	56.2%	43.8%
50	0.30	13.4	1.9%		
80	0.18	35.7	5.1%		
100	0.15	23.8	3.4%	66.5%	33.5%
200	0.07	29.3	4.1%	70.7%	29.3%
Pasa 200		207.3	29.3%	100.0%	0.0%
Total		706.7			



RESULTADOS

Límite Líquido	30.0	%
Límite Plástico	27.8	%
Índice Plastico	2.3	%

Gravas	27.9%
Arenas	42.8%
Finos	29.3%

CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo	0
A.A.S.H.T.O.	A - 2 - 4
U.S.C	SM

OBSERVACIONES:

LAURA LISSETH ESTEBAN BLANCO
Geóloga *Esp*. Geotecnia
REVISÓ

DIEGO ARMANDO CRUZ RUEDA
Laboratorista
REALIZÓ

ConstruTerra S.A.S
GEOTECNIA E INGENIERIA

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN
I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126

Calle 4 No. 7 - 46
Floridablanca, Santander
321 247 74 77
construterrasas@gmail.com

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE AERÓDROMO JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA - SANTANDER PARA DAR CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONÁUTICA CIVIL PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN

ABSCISA:	N.A
SONDEO:	S1
MUESTRA:	M5
PROF:	4,00 - 5,00 mts
FECHA:	Mayo 16 de 2025

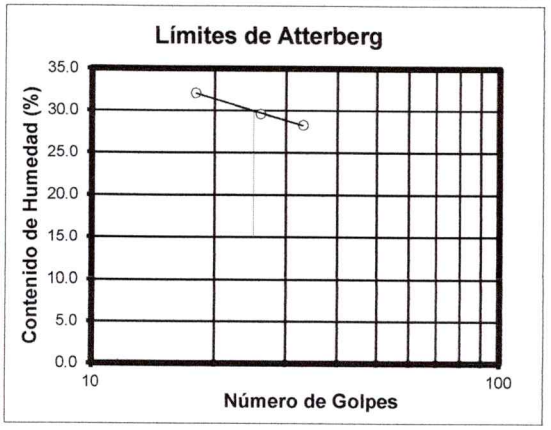
LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO

Determinación No	1	2	3
No GOLPES	33	26	18
RECIP. No.	AMP	AO	AT
PESO DE RECIP. + S.H.	40.68	44.55	48.64
PESO DE RECIP. + S.S.	34.94	37.62	40.34
PESO RECIPIENTE	14.66	14.23	14.49
PESO AGUA	5.74	6.93	8.30
PESO SUELO SECO	20.28	23.39	25.85
% HUMEDAD	28.30	29.63	32.11

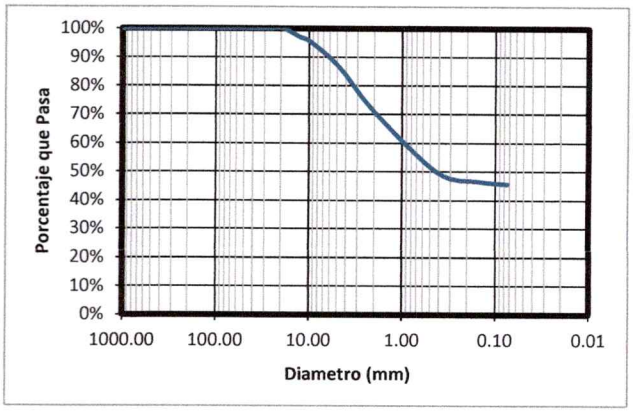
LÍMITE PLÁSTICO

			Humedad Natural
RECIP. No.	601	HN	
PESO DE RECIP. + S.H.	21.63	24.69	965.70
PESO DE RECIP. + S.S.	17.86	20.37	643.80
PESO RECIPIENTE	4.83	4.68	72.40
PESO AGUA	3.77	4.32	321.90
PESO SUELO SECO	13.03	15.69	571.40
% HUMEDAD	28.93	27.53	56.34



GRADACIÓN

Peso inicial:	463.50	gr	Peso final:	252.50 gr	
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3"	76.10				
2 ½"	64.00				
2"	50.80				
1 ½"	38.10				
1"	25.40				100.0%
3/4"	19.00				
1/2"	12.70	13.8	3.0%	3.0%	97.0%
3/8"	9.51	8.6	1.9%	4.8%	95.2%
4	4.76	39.2	8.5%	13.3%	86.7%
8	2.38	60.0	12.9%		
10	2.00	13.0	2.8%	29.0%	71.0%
12	1.68	17.7	3.8%		
16	1.19	9.1	2.0%		
30	0.59	50.6	10.9%		
40	0.42	20.9	4.5%	50.2%	49.8%
50	0.30	6.0	1.3%		
80	0.18	6.7	1.4%		
100	0.15	2.7	0.6%	53.6%	46.4%
200	0.07	4.2	0.9%	54.5%	45.5%
Pasa 200		211.0	45.5%	100.0%	0.0%
Total		463.5			



RESULTADOS

Límite Líquido	30.0	%
Límite Plástico	28.2	%
Índice Plastico	1.8	%
Gravas	13.3%	
Arenas	41.2%	
Finos	45.5%	

CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo	0
A.A.S.H.T.O.	A - 4
U.S.C	SM

OBSERVACIONES:

LAURA LISSETH ESTEBAN BLANCO
Geóloga *Esp*. Geotecnia
REVISÓ

DIEGO ARMANDO CRUZ RUEDA
Laboratorista
REALIZÓ

ConstruTerra S.A.S
GEOTECNIA E INGENIERIA

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN
I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126

Calle 4 No. 7 - 46
Floridablanca, Santander
321 247 74 77
construterrasas@gmail.com

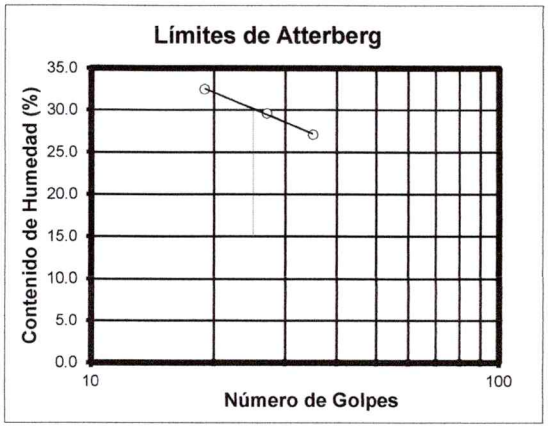
PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE AERÓDROMO JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA - SANTANDER PARA DAR CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONÁUTICA CIVIL PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN

ABSCISA:	N.A
SONDEO:	S1
MUESTRA:	M3
PROF:	2,00 - 3,00 mts
FECHA:	Mayo 16 de 2025

LÍMITES DE CONSISTENCIA

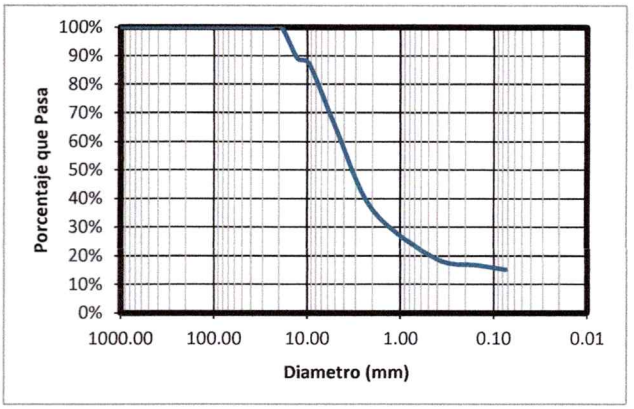
LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
No GOLPES	35	27	19
RECIP. No.	BF	AG	AD
PESO DE RECIP. + S.H.	40.58	44.21	48.59
PESO DE RECIP. + S.S.	34.93	37.59	40.35
PESO RECIPIENTE	14.07	15.24	14.99
PESO AGUA	5.65	6.62	8.24
PESO SUELO SECO	20.86	22.35	25.36
% HUMEDAD	27.09	29.62	32.49

LÍMITE PLÁSTICO			Humedad Natural
RECIP. No.	NN	31	
PESO DE RECIP. + S.H.	21.50	24.61	409.40
PESO DE RECIP. + S.S.	17.90	20.31	375.30
PESO RECIPIENTE	4.47	4.60	73.00
PESO AGUA	3.60	4.30	34.10
PESO SUELO SECO	13.43	15.71	302.30
% HUMEDAD	26.81	27.37	11.28



GRADACIÓN

Peso inicial:	259.70	gr	Peso final:	220.40 gr	
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3"	76.10				
2 ½"	64.00				
2"	50.80				
1 ½"	38.10				
1"	25.40				100.0%
3/4"	19.00				
1/2"	12.70	28.9	11.1%	11.1%	88.9%
3/8"	9.51	4.2	1.6%	12.7%	87.3%
4	4.76	61.4	23.6%	36.4%	63.6%
8	2.38	61.2	23.6%		
10	2.00	10.1	3.9%	63.8%	36.2%
12	1.68	11.4	4.4%		
16	1.19	5.1	2.0%		
30	0.59	19.8	7.6%		
40	0.42	8.2	3.2%	81.0%	19.0%
50	0.30	1.8	0.7%		
80	0.18	2.8	1.1%		
100	0.15	1.5	0.6%	83.3%	16.7%
200	0.07	4.0	1.5%	84.9%	15.1%
Pasa 200		39.3	15.1%	100.0%	0.0%
Total		259.7			



RESULTADOS

Límite Líquido	30.1	%
Límite Plástico	27.1	%
Índice Plastico	3.0	%
Gravas	36.4%	
Arenas	48.5%	
Finos	15.1%	

CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo	0
A.A.S.H.T.O.	A - 1 - b
U.S.C	SM

OBSERVACIONES:

LAURA LISSETH ESTEBAN BLANCO
Geóloga *Esp*. Geotecnia
REVISÓ

DIEGO ARMANDO CRUZ RUEDA
Laboratorista
REALIZÓ

ConstruTerra S.A.S
GEOTECNIA E INGENIERIA

Calle 4 No. 7 - 46
Floridablanca, Santander
321 247 74 77
construterrasas@gmail.com

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN
I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126

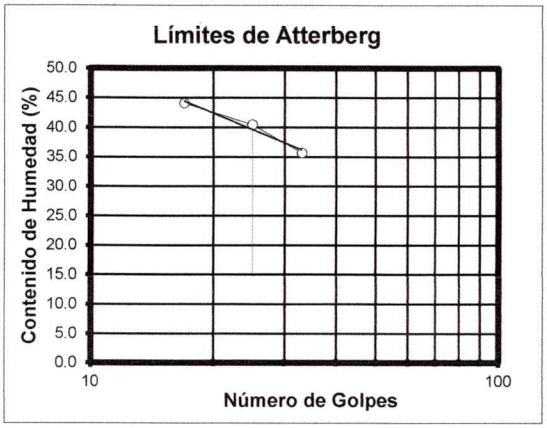
PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE AERÓDROMO JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA - SANTANDER PARA DAR CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONÁUTICA CIVIL PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN

ABSCISA:	N.A
SONDEO:	S2
MUESTRA:	M2
PROF:	1,00 - 2,00 mts
FECHA:	Mayo 16 de 2025

LÍMITES DE CONSISTENCIA

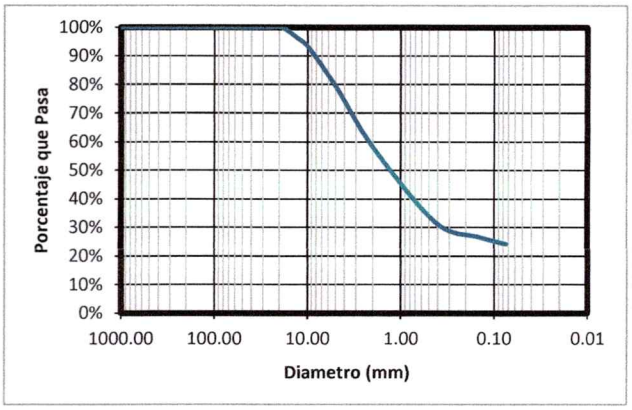
LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
No GOLPES	33	25	17
RECIP. No.	BB	AV	ZZ
PESO DE RECIP. + S.H.	40.62	44.48	48.51
PESO DE RECIP. + S.S.	33.74	35.8	38.04
PESO RECIPIENTE	14.46	14.32	14.28
PESO AGUA	6.88	8.68	10.47
PESO SUELO SECO	19.28	21.48	23.76
% HUMEDAD	35.68	40.41	44.07

LÍMITE PLÁSTICO			Humedad Natural
RECIP. No.	DD	YY	
PESO DE RECIP. + S.H.	21.67	24.79	1110.80
PESO DE RECIP. + S.S.	17.19	19.30	1011.20
PESO RECIPIENTE	4.75	4.54	74.00
PESO AGUA	4.48	5.49	99.60
PESO SUELO SECO	12.44	14.76	937.20
% HUMEDAD	36.01	37.20	10.63



GRADACIÓN

Peso inicial:	796.60	gr	Peso final:	604.70 gr	
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3"	76.10				
2 ½"	64.00				
2"	50.80				
1 ½"	38.10				
1"	25.40				100.0%
3/4"	19.00				
1/2"	12.70	31.3	3.9%	3.9%	96.1%
3/8"	9.51	28.1	3.5%	7.5%	92.5%
4	4.76	112.6	14.1%	21.6%	78.4%
8	2.38	133.1	16.7%		
10	2.00	28.3	3.6%	41.9%	58.1%
12	1.68	53.0	6.7%		
16	1.19	25.9	3.3%		
30	0.59	99.6	12.5%		
40	0.42	32.7	4.1%	68.4%	31.6%
50	0.30	11.6	1.5%		
80	0.18	18.3	2.3%		
100	0.15	10.0	1.3%	73.4%	26.6%
200	0.07	20.2	2.5%	75.9%	24.1%
Pasa 200		191.9	24.1%	100.0%	0.0%
Total		796.6			



RESULTADOS

Límite Líquido	39.6	%
Límite Plástico	36.6	%
Índice Plastico	3.0	%
Gravas	21.6%	
Arenas	54.3%	
Finos	24.1%	

CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo	0
A.A.S.H.T.O.	A - 1 - b
U.S.C	SM

OBSERVACIONES:

LAURA LISSETH ESTEBAN BLANCO
Geóloga *Esp*. Geotecnia
REVISÓ

DIEGO ARMANDO CRUZ RUEDA
Laboratorista
REALIZÓ

ConstruTerra S.A.S
GEOTECNIA E INGENIERIA

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN
I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126

Calle 4 No. 7 - 46
Floridablanca, Santander
321 247 74 77
construterrasas@gmail.com

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE AERÓDROMO JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA - SANTANDER PARA DAR CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONÁUTICA CIVIL PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN

ABSCISA:	N.A
SONDEO:	S2
MUESTRA:	M4
PROF:	3,00 - 4,00 mts
FECHA:	Mayo 16 de 2025

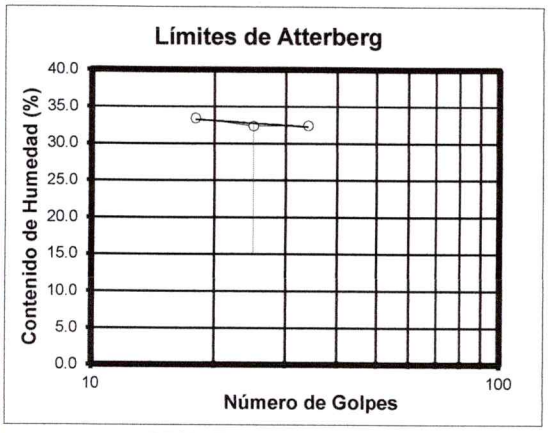
LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO

Determinación No	1	2	3
No GOLPES	34	25	18
RECIP. No.	SM	AQ	AH
PESO DE RECIP. + S.H.	40.51	44.67	48.42
PESO DE RECIP. + S.S.	34.15	37.24	39.92
PESO RECIPIENTE	14.55	14.28	14.5
PESO AGUA	6.36	7.43	8.50
PESO SUELO SECO	19.60	22.96	25.42
% HUMEDAD	32.45	32.36	33.44

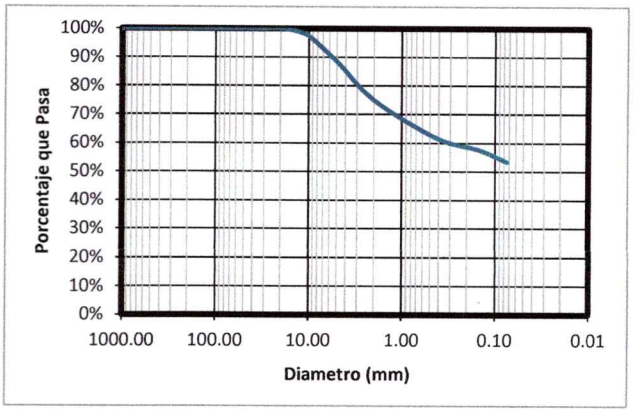
LÍMITE PLÁSTICO

			Humedad Natural
RECIP. No.	UU	34	
PESO DE RECIP. + S.H.	21.54	24.75	1087.10
PESO DE RECIP. + S.S.	17.62	20.27	848.90
PESO RECIPIENTE	4.80	4.57	73.70
PESO AGUA	3.92	4.48	238.20
PESO SUELO SECO	12.82	15.70	775.20
% HUMEDAD	30.58	28.54	30.73



GRADACIÓN

Peso inicial:	609.60	gr	Peso final:	284.80 gr	
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3"	76.10				
2 ½"	64.00				
2"	50.80				
1 ½"	38.10				
1"	25.40				100.0%
3/4"	19.00				
1/2"	12.70	7.6	1.2%	1.2%	98.8%
3/8"	9.51	11.8	1.9%	3.2%	96.8%
4	4.76	54.7	9.0%	12.2%	87.8%
8	2.38	63.5	10.4%		
10	2.00	15.0	2.5%	25.0%	75.0%
12	1.68	21.7	3.6%		
16	1.19	9.2	1.5%		
30	0.59	38.2	6.3%		
40	0.42	12.6	2.1%	38.4%	61.6%
50	0.30	5.7	0.9%		
80	0.18	11.8	1.9%		
100	0.15	6.6	1.1%	42.4%	57.6%
200	0.07	26.4	4.3%	46.7%	53.3%
Pasa 200		324.8	53.3%	100.0%	0.0%
Total		609.6			



RESULTADOS

Límite Líquido	32.8	%
Límite Plástico	29.6	%
Índice Plastico	3.2	%
Gravas	12.2%	
Arenas	34.6%	
Finos	53.3%	

CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo	0
A.A.S.H.T.O.	A - 4
U.S.C	ML

OBSERVACIONES:

LAURA LISSETH ESTEBAN BLANCO
Geóloga *Esp*. Geotecnia
REVISÓ

DIEGO ARMANDO CRUZ RUEDA
Laboratorista
REALIZÓ

ConstruTerra S.A.S
GEOTECNIA E INGENIERIA

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN
I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126

Calle 4 No. 7 - 46
Floridablanca, Santander
321 247 74 77
construterrasas@gmail.com

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE AERÓDROMO JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA - SANTANDER PARA DAR CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONÁUTICA CIVIL PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN

ABSCISA:	N.A
SONDEO:	S2
MUESTRA:	M6
PROF:	5,00 - 6,00 mts
FECHA:	Mayo 16 de 2025

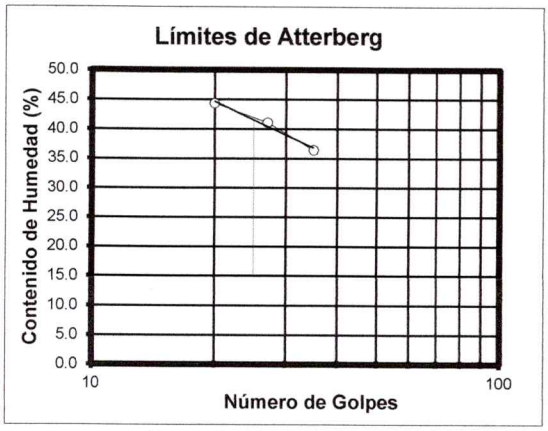
LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO

Determinación No	1	2	3
No GOLPES	35	27	20
RECIP. No.	BK	CA	AR
PESO DE RECIP. + S.H.	40.74	44.37	48.46
PESO DE RECIP. + S.S.	33.78	35.66	38.01
PESO RECIPIENTE	14.66	14.45	14.44
PESO AGUA	6.96	8.71	10.45
PESO SUELO SECO	19.12	21.21	23.57
% HUMEDAD	36.40	41.07	44.34

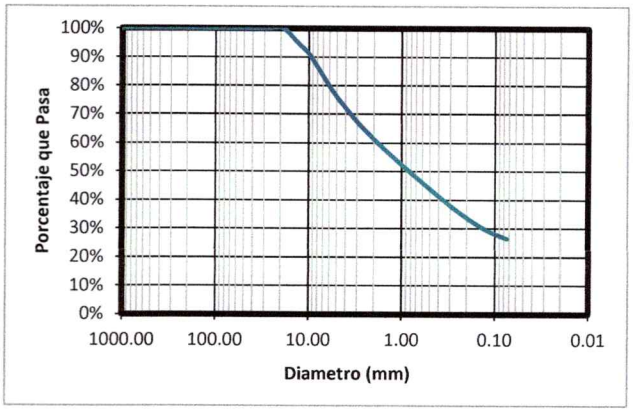
LÍMITE PLÁSTICO

			Humedad Natural
RECIP. No.	39	42	
PESO DE RECIP. + S.H.	21.69	24.87	1142.50
PESO DE RECIP. + S.S.	17.19	19.30	1053.00
PESO RECIPIENTE	4.69	4.57	70.60
PESO AGUA	4.50	5.57	89.50
PESO SUELO SECO	12.50	14.73	982.40
% HUMEDAD	36.00	37.81	9.11



GRADACIÓN

Peso inicial:	837.30	gr	Peso final:	617.10 gr	
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3"	76.10				
2 ½"	64.00				
2"	50.80				
1 ½"	38.10				
1"	25.40				100.0%
3/4"	19.00				
1/2"	12.70	46.8	5.6%	5.6%	94.4%
3/8"	9.51	34.8	4.2%	9.7%	90.3%
4	4.76	124.7	14.9%	24.6%	75.4%
8	2.38	98.3	11.7%		
10	2.00	19.4	2.3%	38.7%	61.3%
12	1.68	29.2	3.5%		
16	1.19	14.9	1.8%		
30	0.59	87.1	10.4%		
40	0.42	33.0	3.9%	58.3%	41.7%
50	0.30	18.0	2.1%		
80	0.18	43.8	5.2%		
100	0.15	28.3	3.4%	69.1%	30.9%
200	0.07	38.8	4.6%	73.7%	26.3%
Pasa 200		220.2	26.3%	100.0%	0.0%
Total		837.3			



RESULTADOS

Límite Líquido	41.4	%
Límite Plástico	36.9	%
Índice Plastico	4.5	%

Gravas	24.6%
Arenas	49.1%
Finos	26.3%

CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo	0
A.A.S.H.T.O.	A - 2 - 5
U.S.C	SM

OBSERVACIONES:

LAURA LISSETH ESTEBAN BLANCO
Geóloga *Esp*. Geotecnia
REVISÓ

DIEGO ARMANDO CRUZ RUEDA
Laboratorista
REALIZÓ

ConstruTerra S.A.S
GEOTECNIA E INGENIERIA

Calle 4 No. 7 - 46
Floridablanca, Santander
321 247 74 77
construterrasas@gmail.com

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN
I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126

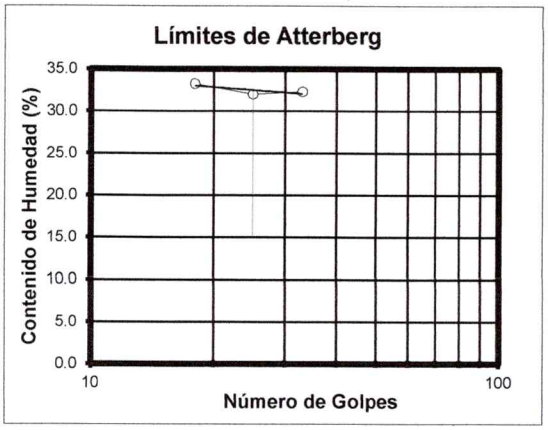
PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE AERÓDROMO JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA - SANTANDER PARA DAR CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONÁUTICA CIVIL PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN

ABSCISA:	N.A
SONDEO:	S2
MUESTRA:	M7
PROF:	6,00 - 7,00 mts
FECHA:	Mayo 16 de 2025

LÍMITES DE CONSISTENCIA

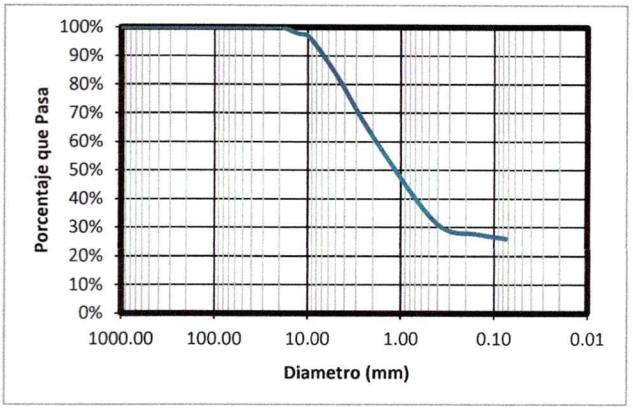
LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
No GOLPES	33	25	18
RECIP. No.	AJ	AI	AF
PESO DE RECIP. + S.H.	40.66	44.67	48.59
PESO DE RECIP. + S.S.	34.28	37.29	40.05
PESO RECIPIENTE	14.55	14.24	14.37
PESO AGUA	6.38	7.38	8.54
PESO SUELO SECO	19.73	23.05	25.68
% HUMEDAD	32.34	32.02	33.26

LÍMITE PLÁSTICO			Humedad Natural
RECIP. No.	32	FF	
PESO DE RECIP. + S.H.	21.57	24.69	642.80
PESO DE RECIP. + S.S.	17.66	20.22	483.40
PESO RECIPIENTE	4.56	4.60	74.70
PESO AGUA	3.91	4.47	159.40
PESO SUELO SECO	13.10	15.62	408.70
% HUMEDAD	29.85	28.62	39.00



GRADACIÓN

Peso inicial:	316.30	gr	Peso final:	234.30 gr	
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3"	76.10				
2 ½"	64.00				
2"	50.80				
1 ½"	38.10				
1"	25.40				100.0%
3/4"	19.00				
1/2"	12.70	7.5	2.4%	2.4%	97.6%
3/8"	9.51	3.9	1.2%	3.6%	96.4%
4	4.76	43.2	13.7%	17.3%	82.7%
8	2.38	55.1	17.4%		
10	2.00	11.5	3.6%	38.3%	61.7%
12	1.68	19.5	6.2%		
16	1.19	9.9	3.1%		
30	0.59	48.7	15.4%		
40	0.42	17.5	5.5%	68.5%	31.5%
50	0.30	3.2	1.0%		
80	0.18	6.9	2.2%		
100	0.15	2.4	0.8%	72.5%	27.5%
200	0.07	5.0	1.6%	74.1%	25.9%
Pasa 200		82.0	25.9%	100.0%	0.0%
Total		316.3			



RESULTADOS

Límite Líquido	32.5	%
Límite Plástico	29.2	%
Índice Plastico	3.3	%
Gravas	17.3%	
Arenas	56.8%	
Finos	25.9%	

CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo	0
A.A.S.H.T.O.	A - 2 - 4
U.S.C	SM

OBSERVACIONES:

LAURA LISSETH ESTEBAN BLANCO
Geóloga *Esp*. Geotecnia
REVISÓ

DIEGO ARMANDO CRUZ RUEDA
Laboratorista
REALIZÓ

ConstruTerra S.A.S
GEOTECNIA E INGENIERIA

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN
I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126

Calle 4 No. 7 - 46
Floridablanca, Santander
321 247 74 77
construterrasas@gmail.com

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE AERÓDROMO JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA - SANTANDER PARA DAR CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONÁUTICA CIVIL PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN

ABSCISA:	N.A
SONDEO:	S3
MUESTRA:	M3
PROF:	2,00 - 3,00 mts
FECHA:	Mayo 16 de 2025

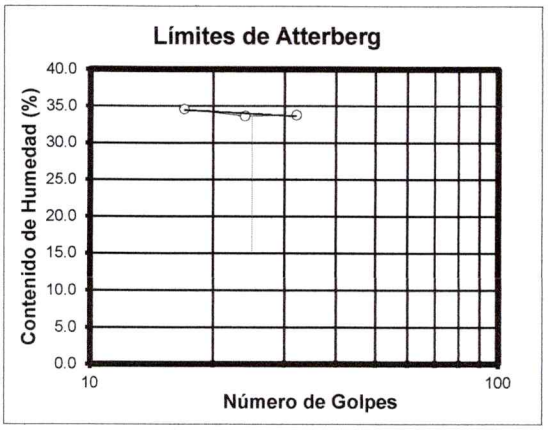
LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO

Determinación No	1	2	3
No GOLPES	32	24	17
RECIP. No.	BH	AK	AM
PESO DE RECIP. + S.H.	40.84	44.69	48.36
PESO DE RECIP. + S.S.	34.16	37.11	39.65
PESO RECIPIENTE	14.4	14.59	14.48
PESO AGUA	6.68	7.58	8.71
PESO SUELO SECO	19.76	22.52	25.17
% HUMEDAD	33.81	33.66	34.60

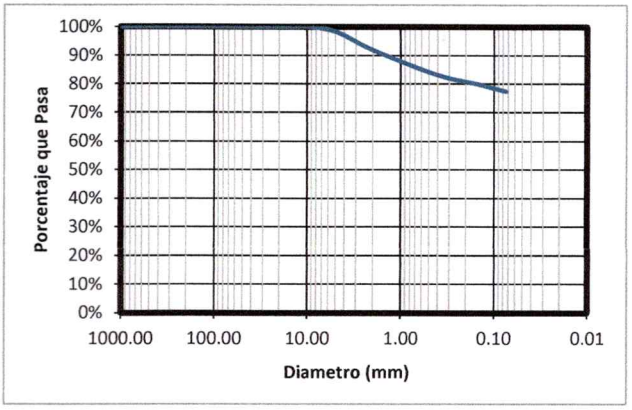
LÍMITE PLÁSTICO

			Humedad Natural
RECIP. No.	CC	44	
PESO DE RECIP. + S.H.	21.47	24.65	666.20
PESO DE RECIP. + S.S.	17.61	20.25	513.40
PESO RECIPIENTE	4.66	4.62	73.90
PESO AGUA	3.86	4.40	152.80
PESO SUELO SECO	12.95	15.63	439.50
% HUMEDAD	29.81	28.15	34.77



GRADACIÓN

Peso inicial:	282.90	gr	Peso final:	64.20 gr	
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3"	76.10				
2 ½"	64.00				
2"	50.80				
1 ½"	38.10				
1"	25.40				100.0%
3/4"	19.00				
1/2"	12.70				100.0%
3/8"	9.51				100.0%
4	4.76	5.4	1.9%	1.9%	98.1%
8	2.38	13.9	4.9%		
10	2.00	3.5	1.2%	8.1%	91.9%
12	1.68	4.9	1.7%		
16	1.19	2.9	1.0%		
30	0.59	12.2	4.3%		
40	0.42	4.6	1.6%	16.8%	83.2%
50	0.30	2.2	0.8%		
80	0.18	4.7	1.7%		
100	0.15	2.6	0.9%	20.1%	79.9%
200	0.07	7.3	2.6%	22.7%	77.3%
Pasa 200		218.7	77.3%	100.0%	0.0%
Total		282.9			



RESULTADOS

Límite Líquido	34.0	%
Límite Plástico	29.0	%
Índice Plastico	5.0	%
Gravas	1.9%	
Arenas	20.8%	
Finos	77.3%	

CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo	4
A.A.S.H.T.O.	A - 4
U.S.C	ML

OBSERVACIONES:

LAURA LISSETH ESTEBAN BLANCO
Geóloga *Esp*. Geotecnia
REVISÓ

DIEGO ARMANDO CRUZ RUEDA
Laboratorista
REALIZÓ

ConstruTerra S.A.S
GEOTECNIA E INGENIERIA

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS
LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN
I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126

Calle 4 No. 7 - 46
Floridablanca, Santander
321 247 74 77
construterrasas@gmail.com

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE AERÓDROMO JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA - SANTANDER PARA DAR CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONÁUTICA CIVIL PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN

ABSCISA:	N.A
SONDEO:	S3
MUESTRA:	M5
PROF:	4,00 - 5,00 mts
FECHA:	Mayo 16 de 2025

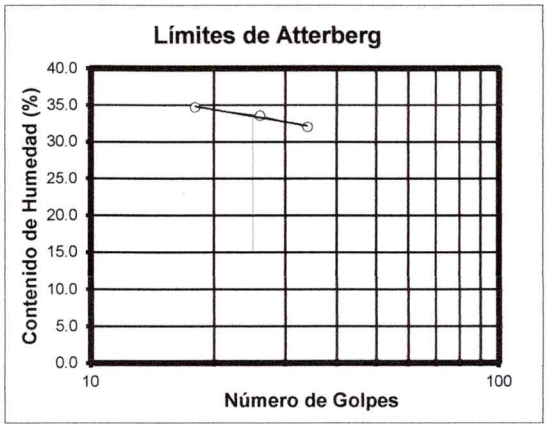
LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO

Determinación No	1	2	3
No GOLPES	34	26	18
RECIP. No.	FS	BI	AO
PESO DE RECIP. + S.H.	40.64	44.41	48.2
PESO DE RECIP. + S.S.	34.28	36.82	39.56
PESO RECIPIENTE	14.41	14.2	14.68
PESO AGUA	6.36	7.59	8.64
PESO SUELO SECO	19.87	22.62	24.88
% HUMEDAD	32.01	33.55	34.73

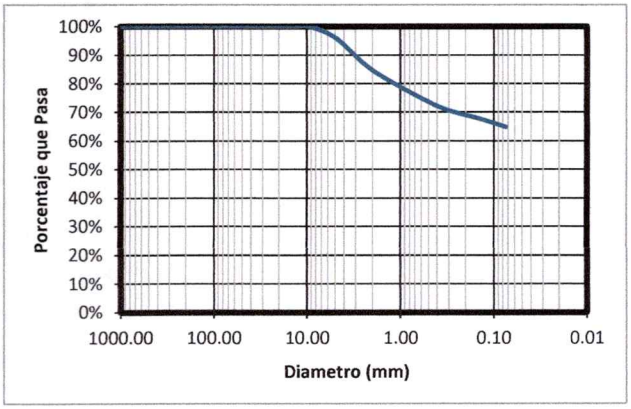
LÍMITE PLÁSTICO

			Humedad Natural
RECIP. No.	29	RR	
PESO DE RECIP. + S.H.	21.90	24.37	454.10
PESO DE RECIP. + S.S.	17.80	20.17	395.60
PESO RECIPIENTE	4.46	4.52	60.30
PESO AGUA	4.10	4.20	58.50
PESO SUELO SECO	13.34	15.65	335.30
% HUMEDAD	30.73	26.84	17.45



GRADACIÓN

Peso inicial:	266.50	gr	Peso final:	93.80 gr	
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3"	76.10				
2 ½"	64.00				
2"	50.80				
1 ½"	38.10				
1"	25.40				100.0%
3/4"	19.00				
1/2"	12.70				100.0%
3/8"	9.51				100.0%
4	4.76	11.3	4.2%	4.2%	95.8%
8	2.38	24.1	9.0%		
10	2.00	5.2	2.0%	15.2%	84.8%
12	1.68	7.4	2.8%		
16	1.19	3.9	1.5%		
30	0.59	15.9	6.0%		
40	0.42	5.8	2.2%	27.6%	72.4%
50	0.30	2.9	1.1%		
80	0.18	6.0	2.3%		
100	0.15	3.1	1.2%	32.1%	67.9%
200	0.07	8.2	3.1%	35.2%	64.8%
Pasa 200		172.7	64.8%	100.0%	0.0%
Total		266.5			



RESULTADOS

Límite Líquido	33.4	%
Límite Plástico	28.8	%
Índice Plastico	4.6	%
Gravas	4.2%	
Arenas	31.0%	
Finos	64.8%	

CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo	2
A.A.S.H.T.O.	A - 4
U.S.C	ML

OBSERVACIONES:

LAURA LISSETH ESTEBAN BLANCO
Geóloga *Esp*. Geotecnia
REVISÓ

DIEGO ARMANDO CRUZ RUEDA
Laboratorista
REALIZÓ

Bucaramanga, junio 06 de 2025

MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo, Elkin Suárez Calderón, identificado con la cédula de ciudadanía No. 91.283.982 de Bucaramanga, Ingeniero Civil con Matrícula Profesional No. 68202-170182 del Consejo Profesional de Ingeniería del 21 de mayo de 2009.

CERTIFICO:

Que realicé el estudio de suelos del proyecto denominado **ESTUDIO DE SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE AERÓDROMO JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA – SANTANDER, PARA DAR CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONÁUTICA CIVIL PARA LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN.** Declaro que el estudio de suelos está hecho cumpliendo con la Norma NSR 10 y cuyos resultados se encuentran consignados tanto en las memorias del informe como en los ensayos de laboratorio, que anexo debidamente firmados.

Para los fines pertinentes, anexo copia de mi Tarjeta o Matrícula profesional, certificado de vigencia de la misma y copia de la cédula de ciudadanía.

Atentamente,

Elkin suárez calderón

ELKIN SUÁREZ CALDERÓN
Ingeniero Civil
M.P 68202-170182 STD
CC 91.283.982 de Bucaramanga

ESTUDIO DE SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE AERÓDROMO
JERÓNIMO DE AGUAYO DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA – SANTANDER,
PARA DAR CUMPLIMIENTO AL REQUERIMIENTO DE LA UNIDAD
ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA AERONAUTICA CIVIL PARA LA
OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN DE OPERACIÓN



REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2025-3644504

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que ELKIN SUAREZ CALDERON, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 91283982, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 68202-170182 desde el 21 de Mayo de 2009, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 571.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los veintinueve (29) días del mes de Mayo del año dos mil veinticinco (2025).

Rubén Dario Ochoa Arbeláez

Elkin Suárez Calderón
Firmal del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado
El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.
Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.