145

# FORTALECIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN, ADECUACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CUBIERTA, INSTALACIONES ELÉCTRICAS, SISTEMA DE AGUAS LLUVIAS Y ZONAS VERDES DE UN KIOSKO EN LA CASA DEPARTAMENTAL, DEL MUNICIPIO DE ARAUCA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA

**ESTUDIO DE SUELOS**
MEMORIA DE CÁLCULOS

**G & S INGENIERÍA**
Ing. DANIEL FERNANDO GARCÍA SOSA
T.P. No. 54202-339520 NTS

Cúcuta – NTS

**Octubre de 2024**

## CONTENIDOS

1. DESCRIPCIÓN GENERAL ..... 11
1.1 Prólogo de la situación actual ..... 11
1.2 Localización ..... 11
1.3 Número mínimo de sondeos y profundidad ..... 13
1.3.1 Definición de los sondeos ..... 14
1.3.2 Requisitos complementarios ..... 15
1.4 Diseño geotécnico ..... 16
1.4.1 Condiciones y materiales de excavación ..... 16
1.4.2 Estados límites ..... 16
1.4.3 Parámetros geotécnicos de diseño ..... 16
1.4.4 Empujes de tierra ..... 17
2. INFORMACIÓN GEOLÓGICA ..... 17
2.1 Geología general ..... 18
2.2 Unidades estratigráficas ..... 20
2.2.1 Rocas sedimentarias ..... 20
2.2.2 Depósitos aluviales del cuaternario (Q-al) ..... 20
2.2.2.1 Otras características ..... 21
2.3 Análisis de la morfología del departamento ..... 21
2.3.1 Geomorfología ..... 21
2.3.2 Amenazas por sismicidad ..... 22
2.3.3 Amenazas por inundaciones ..... 23
2.4 Características ambientales ..... 23
2.4.1 Clima ..... 23
2.4.2 Hidrografía ..... 24
2.4.3 Fauna y flora ..... 24
3. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS ..... 25
3.1 Clasificación del suelo ..... 25
3.2 Parámetros mecánicos del suelo ..... 27
3.2.1 Marco conceptual y normatividad ..... 27

Ing. Daniel Fernando García Sosa T.P. No. 54202-339520 NTS
Cel.: 3108333100 Correo: skyfot 94@hotmail.com

3.2.1.1 Humedad natural ..... 27
3.2.1.1.1 Normativa ..... 27
3.2.1.1.2 Equipo ..... 27
3.2.1.1.3 Procedimiento ..... 27
3.2.1.2 Gravedad específica ..... 28
3.2.1.2.1 Normativa ..... 28
3.2.1.2.2 Equipo ..... 28
3.2.1.2.3 Procedimiento ..... 28
3.2.1.3 Granulometría y clasificación ..... 30
3.2.1.3.1 Normativa ..... 30
3.2.1.3.2 Equipo ..... 30
3.2.1.3.3 Procedimiento ..... 31
3.2.1.4 Límites de Atterberg ..... 32
3.2.1.4.1 Normativa ..... 32
3.2.1.4.2 Equipo ..... 32
3.2.1.4.3 Procedimiento Límite Líquido ..... 33
3.2.1.4.4 Procedimiento Límite Plástico ..... 34
3.2.1.5 Masa unitaria ..... 35
3.2.1.5.1 Normativa ..... 35
3.2.1.5.2 Equipo ..... 35
3.2.1.5.3 Procedimiento ..... 35
3.2.2 Cálculo y resultados ..... 36
3.2.2.1 Densidades ..... 36
3.2.2.2 Humedad ..... 36
3.2.2.3 Gravedad de partículas ..... 36
3.2.2.4 Relación de vacíos y porosidad ..... 37
3.2.2.5 Saturación ..... 38
3.2.2.6 Ángulo de fricción interna ..... 38
3.2.2.7 Cohesión ..... 39
3.2.2.8 Límites de Atterberg ..... 39
3.2.2.9 Relación de deformaciones tridimensionales (Coeficiente de Poisson) .. 39
3.2.2.10 Módulos de Elasticidad y Cortante ..... 41
3.2.2.11 Coeficientes de pre-consolidación y consolidación ..... 42
3.3 Resumen de parámetros geotécnicos ..... 43
3.3.1 Perfil estratigráfico ..... 44
4. SISMOLOGÍA ..... 45
4.1 Vulnerabilidad sísmica de la estructura ..... 45
4.2 Clasificación del suelo según NSR-10 ..... 45

4.2.1 Velocidad de onda cortante ..... 45
4.2.2 Perfil sísmico del suelo ..... 46
4.3 Parámetros sísmicos locales ..... 47
4.3.1 Factores sísmicos de interacción suelo-sitio ..... 47
4.4 Espectro de pseudo-aceleración sísmica ..... 48
5. CAPACIDAD PORTANTE ..... 49
5.1 Definición de la profundidad de cimentación o de emplazamiento ..... 49
5.1.1 Sobrecarga o carga básica resistida por el suelo ..... 49
5.2 Formulación de la capacidad última del suelo ..... 50
5.2.1 Parámetros de resistencia por capacidad portante ..... 51
5.3 Carga admisible (capacidad portante) ..... 51
6. ASENTAMIENTOS ..... 53
6.1 Asentamientos absolutos ..... 53
6.1.1 Por consolidación ..... 54
6.1.2 Elásticos ..... 54
6.2 Control de asentamientos ..... 55
6.3 Revisión de asentamientos diferenciales ..... 56
7. RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS ..... 57
CONCLUSIONES ..... 58
BIBLIOGRAFÍA ..... 60
ANEXOS ..... 61
Matrícula profesional ..... 64

# LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción Con base en la categoría de la unidad de construcción. Fuente: (2) Tabla H.3.2-1 ..... 13
Tabla 2. Clasificación de las unidades de construcción por categorías. Fuente: (2) Tabla H.3.1-1 ..... 13
Tabla 3. Localización puntual del(os) apique(s) realizado(s). Fuente: Propia (2024) ..... 15
Tabla 4. Descripción de las siglas según la clasificación de la USC. Fuente: ASTM Norma D-2488 (2000) ..... 26
Tabla 5. Clasificación del suelo en base a la gravedad específica de la muestra. Fuente: NTC 1528 (1963) ..... 30
Tabla 6. Densidades húmeda y seca del terreno. Fuente: Propia (2024) ..... 36
Tabla 7. Humedad del terreno. Fuente: Propia (2024) ..... 36
Tabla 8. Gravedad de partículas del terreno. Fuente: Propia (2024) ..... 37
Tabla 9. Relación de vacíos del terreno. Fuente: Propia (2024) ..... 37
Tabla 10. Porosidad del terreno. Fuente: Propia (2024) ..... 38
Tabla 11. Densidades y relación de vacíos del terreno. Fuente: Laboratorios (2024) ..... 38
Tabla 12. Porcentaje de saturación del terreno. Fuente: Propia (2024) ..... 38
Tabla 13. Ángulo de fricción interna del terreno. Fuente: Propia (2024) ..... 38
Tabla 14. Cohesión del terreno. Fuete: Propia (2024) ..... 39
Tabla 15. Límites de Atterberg del terreno. Fuente: Laboratorios (2024) ..... 39
Tabla 16. Cálculo de los coeficientes de Poisson en ambos sentidos del plano lateral del terreno. Fuente: Laboratorios (2024) ..... 41
Tabla 17. Coeficiente de Poisson por terreno. Fuente: Propia (2024) ..... 41
Tabla 18. Módulos de Elasticidad típicos. Fuente: (4) ..... 41
Tabla 19. Módulos de Elasticidad y Cortante del terreno. Fuente: Propia (2024) ..... 42
Tabla 20. Coeficientes de pre-consolidación y consolidación del suelo. Fuente: (4) ..... 42
Tabla 21. Valores de Cc por diversos criterios del terreno. Fuente: Propia (2024) ..... 43
Tabla 22. Valores de Cr por diversos criterios del terreno. Fuente: Propia (2024) ..... 43
Tabla 23. Valores de Cc y Cr del terreno. Fuente: Propia (2024) ..... 43
Tabla 24. Resumen de parámetros mecánicos del terreno. Fuente: Propia (2024) ..... 43
Tabla 25. Velocidad de onda cortante del terreno. Fuente: Propia (2024) ..... 45
Tabla 26. Clasificación de los perfiles de suelo. Fuente: (2) Tabla A.2.4-1 ..... 46
Tabla 27. Valores sísmicos locales para el municipio de Arauca, Arauca. Fuente: (2) Apéndice A-4 ..... 47
Tabla 28. Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro. Fuente: (2) Tabla A.2.4-3 ..... 47

Tabla 29. Valores del coeficiente Fv, para la zona de períodos intermedios del espectro. Fuente: (2) Tabla A.2.4-4 ..... 47
Tabla 30. Parámetros de capacidad portante del terreno. Fuente: Propia (2024) ..... 51
Tabla 31. Factores de seguridad básicos mínimos directos. Fuente: (2) Tabla H.2.4-1 ..... 52
Tabla 32, factores de seguridad indirectos FSICP mínimos. Fuente: (2) Tabla H.4.7-1 ..... 52
Tabla 33, Asentamiento por consolidación de la estructura propuesta. Fuente: Propia (2024) ..... 54
Tabla 34, Asentamiento elástico de la estructura propuesta. Fuente: Propia (2024) ..... 55
Tabla 35. Valores máximos de asentamientos diferenciales calculados, expresados en función de la distancia entre apoyos o columnas, l. Fuente: (2) Tabla H.4.9-1 ..... 56

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Demarcación del área a intervenir, dentro del predio. Fuente: Google Maps (2024) ..... 11
Figura 2. Localización geodésica del proyecto. Fuente: Google Maps (2024) ..... 12
Figura 3. Caracterización física del suelo de la zona de intervención. Fuente: Propia (2024) ..... 12
Figura 4. Localización puntual de los apiques realizados – ver tabla adyacente. Fuente: Google Maps (2024) ..... 14
Figura 5. Ubicación del municipio de Arauca en el departamento de Arauca. Fuente: Geografía Nacional (2024) ..... 18
Figura 6. Unidades estratigráficas generales. Fuente: INGEOMINAS, Mapa Geológico generalizado del departamento de Arauca (2003) ..... 19
Figura 7. Polígonos morfológicos del departamento de Arauca. Fuente: INGEOMINAS, Mapa Geológico generalizado del departamento de Arauca (2003) ..... 21
Figura 8. Mapa de susceptibilidad sísmica. Fuente: INGEOMINAS, Mapa Geológico generalizado del departamento de Arauca (2003) ..... 22
Figura 9. Mapa de amenaza por inundación. Fuente: INGEOMINAS, Mapa Geológico generalizado del departamento de Arauca (2003) ..... 23
Figura 10. Clasificación de suelos en función de los límites de Atterberg (Carta de Casagrande). Fuente: ASTM Norma D-2488 (2000) ..... 26
Figura 11. Cubo de ensayo con la denominación de sus lados. Fuente: Propia (2024) ..... 40
Figura 12. Deformada de la muestra de suelo del terreno superior. Fuente: Laboratorios (2024) ..... 40
Figura 13. Deformada de la muestra de suelo del terreno inferior. Fuente: Laboratorios (2024) ..... 40
Figura 14. Perfil estratigráfico del terreno a intervenir. Fuente: Propia (2024) ..... 44
Figura 15. Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g. Fuente: (2) Figura A.2.6-1 ..... 48
Figura 16. Espectro de pseudo-aceleración de diseño. Fuente: Propia (2024) ..... 49
Figura 17. Variación del esfuerzo vertical con respecto a la profundidad para el terreno. Fuente: Propia (2024) ..... 50

# LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Índice de plasticidad. Fuente: Genérica (No data)..... 25
Ecuación 2. Cálculo de la humedad natural de la muestra. Fuente: NTC 1495. INV E-122-13 (1963)..... 28
Ecuación 3. Cálculo de la gravedad de partículas de la muestra. Fuente: NTC 1528 (1963) ..... 30
Ecuación 4. Cálculo del porcentaje que pasa cada tamiz. Fuente: NTC 1504. INV E-123-13 (1963)..... 32
Ecuación 5. Densidades húmeda y seca. Fuente: Genérica (No data)..... 36
Ecuación 6. Porcentaje de humedad de la muestra. Fuente: Genérica (No data)..... 36
Ecuación 7. Cálculo de la gravedad de partículas. Fuente: Genérica (No data)..... 37
Ecuación 8. Relación de vacíos. Fuente: Genérica (No data) ..... 37
Ecuación 9. Porosidad del suelo. Fuente: Genérica (No data) ..... 37
Ecuación 10. Densidad seca y húmeda en función de los parámetros mecánicos del suelo. Fuente: (6)..... 38
Ecuación 11. Porcentaje de saturación del suelo. Fuente: Propia (2024)..... 38
Ecuación 12. Cohesión del suelo según el ensayo de corte directo. Fuente: Genérica (No data) ..... 39
Ecuación 13. Coeficiente de Poisson: la relación entre las deformaciones lateral y vertical. Fuente: (6)..... 39
Ecuación 14. Módulo cortante del suelo. Fuente: (4)..... 42
Ecuación 15. Velocidad de onda cortante del suelo. Fuente: (2) ..... 45
Ecuación 16. Carga última del suelo. Fuente: Terzaghi (1986) ..... 50
Ecuación 17. Carga última del terreno en función de la profundidad de cimentación y de la base de la misma para cimientos rectangulares, para $0{,}25m < z < 1{,}10m$. Fuente: Propia (2024)..... 50
Ecuación 18. Carga última del terreno en función de la profundidad de cimentación y de la base de la misma para cimientos rectangulares, para $1{,}10m < z < 1{,}70m$. Fuente: Propia (2024)..... 50
Ecuación 19. Carga última del terreno en función de la profundidad de cimentación y de la base de la misma para cimientos rectangulares, para $1{,}70m < z < 2{,}60m$. Fuente: Propia (2024)..... 51
Ecuación 20. Factores modificadores de sobrecarga, cohesión y peso unitario de la capacidad de carga. Fuente: Terzaghi (1986)..... 51
Ecuación 21. Carga admisible del terreno en función de la profundidad de cimentación y de la base de la misma para cimientos rectangulares, para $0{,}25m < z < 1{,}10m$. Fuente: Propia (2024)..... 53

Ecuación 22. Carga admisible del terreno en función de la profundidad de cimentación y de la base de la misma para cimientos rectangulares, para $1{,}10m < z < 1{,}70m$. Fuente: Propia (2024)..... 53
Ecuación 23. Carga admisible del terreno en función de la profundidad de cimentación y de la base de la misma para cimientos rectangulares, para $1{,}70m < z < 2{,}60m$. Fuente: Propia (2024)..... 53
Ecuación 24. Asentamiento por consolidación primaria en suelos pre-consolidados. Fuente: (6)..... 54
Ecuación 25. Asentamiento elástico. Fuente: (6) ..... 55

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Cálculos generales ..... 61
Anexo 2. Laboratorios ..... 61
Anexo 3. Registro fotográfico ..... 61

# 1. DESCRIPCIÓN GENERAL

## 1.1 Prólogo de la situación actual

La gobernación del departamento de Arauca ha definido llevar a cabo el fortalecimiento de la infraestructura física de la casa departamental, mediante la construcción, adecuación y mantenimiento de un kiosko, un espacio para eventos y convenciones. Para ello, se realiza el diseño de la estructura, para lo cual se levanta primeramente este estudio de suelos con enfoque a edificación de 1 piso + cubierta, regida por lo tanto por el título E de la NSR-10.

El espacio a intervenir – demarcado por las vigas de piso perimetrales – abarca un área de 115.29 $m^2$ y se encuentra al interior de la casa departamental, dentro del casco urbano del municipio, predio institucional colindante con zonas comerciales del sector.

## 1.2 Localización

El área a intervenir se encuentra ubicada al interior del predio de la casa departamental, sobre la calle 21 con carrera 21 esquina (diagonal a la plaza) del barrio El Centro, dentro del casco urbano del municipio de Arauca – departamento de Arauca, en las coordenadas 7°05'8.83"N con 70°45'30.02"W (centro del kiosko) como se muestra a continuación.




**Figura 1. Demarcación del área a intervenir, dentro del predio. Fuente: Google Maps (2024)**

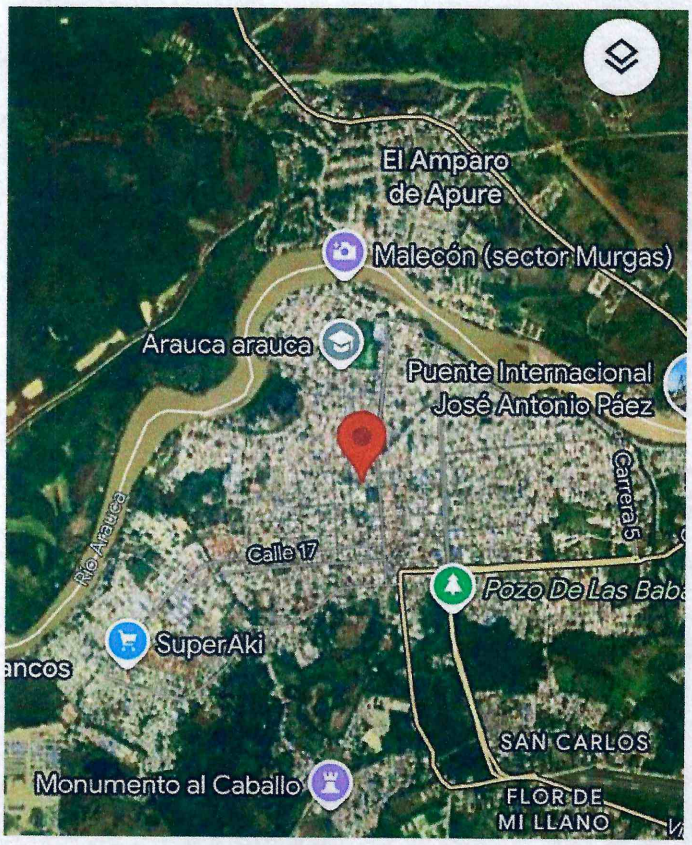



**Figura 2. Localización geodésica del proyecto. Fuente: Google Maps (2024)**



**Figura 3. Caracterización física del suelo de la zona de intervención. Fuente: Propia (2024)**

## 1.3 Número mínimo de sondeos y profundidad

Con base en el artículo H.3.2.3 de (2), el número mínimo de sondeos de exploración que deberán efectuarse en el terreno donde se desarrollará el proyecto se definen en la tabla que sigue.

**Tabla 1. Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción Con base en la categoría de la unidad de construcción. Fuente: (2) Tabla H.3.2-1**

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

Teniendo en cuenta que la clasificación de la categoría obedece a:

**Tabla 2. Clasificación de las unidades de construcción por categorías. Fuente: (2) Tabla H.3.1-1**

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

Sin embargo, dado que la estructura proyectada comprende 1 solo piso, se rige por los lineamientos del título E de la misma referencia, teniendo en cuenta que la sección E.2.1.1 – INVESTIGACIÓN MÍNIMA determina que:

*En todos los casos se deben cumplir los siguientes requisitos mínimos, los cuales deberán quedar consignados en un Memorial de Responsabilidad suscrito por el profesional responsable de la licencia de construcción:*

a) *Verificar el comportamiento de casas similares en las zonas aledañas constatando que no se presenten asentamientos diferenciales, agrietamientos, pérdida de verticalidad, compresibilidad excesiva, expansibilidad de intermedia a alta, colapsibilidad, etc., que permita concluir que el comportamiento de las casas similares ha sido el adecuado.*
b) *Verificar en inmediaciones del sector a intervenir la ausencia de procesos de remoción en masa, áreas de actividad minera activa, en recuperación o suspendida, erosión, cuerpos de aguas u otros que puedan afectar la estabilidad y funcionalidad de las casas.*

c) *Se debe realizar mínimo un apique por cada tres unidades construidas o por cada 300 m2 de construcción, hasta una profundidad mínima de 2.0 m, en el que se constate la calidad razonable del suelo de cimentación.*

d) *En los apiques indicados en (c) deberán quedar determinados los espesores de los materiales inconvenientes para el apoyo directo y superficial de la cimentación, como son: descapote, escombros, materia orgánica, etc., los cuales deberán ser retirados durante la construcción.*

*En caso de que los resultados de la investigación mínima indiquen condiciones inadecuadas para la estabilidad del proyecto, se deberán realizar los estudios geotécnicos indicados en el numeral E.2.1.2.*

### 1.3.1 Definición de los sondeos

Según el tipo de la edificación y la visita de inspección técnica al sitio, se realiza 1 apique a 2.00m de profundidad, medidos a partir del terreno descapotado libre de relleno misceláneo o geomaterial contaminado. Dichos sondeos han sido tomados en las coordenadas específicas que se muestran a continuación:

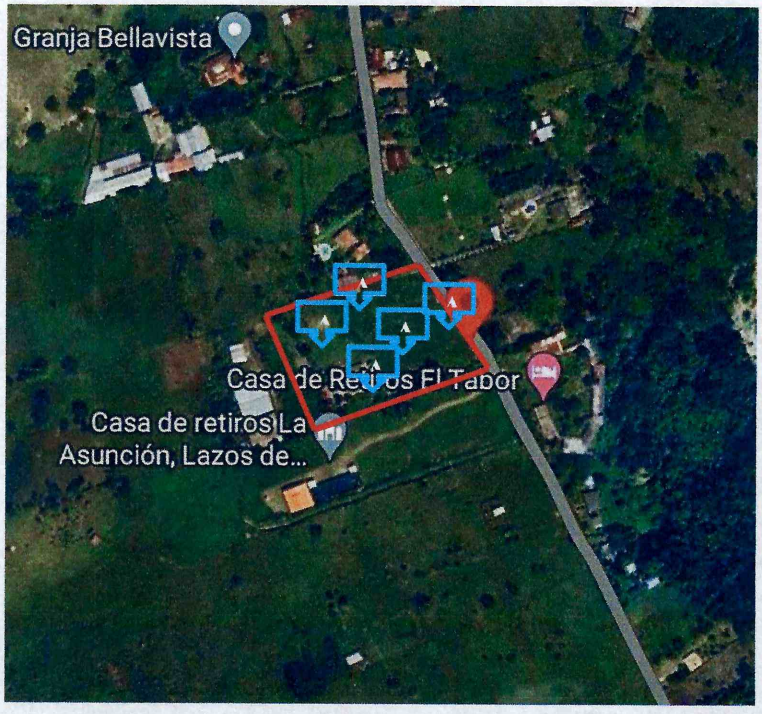



**Figura 4. Localización puntual de los apiques realizados – ver tabla adyacente. Fuente: Google Maps (2024)**

**Tabla 3. Localización puntual del(os) apique(s) realizado(s). Fuente: Propia (2024)**

| | | Localización | | |
|---|---|---|---|---|
| No. | Tipo | Latitud | Longitud | Prof. (m) |
| A1 | Apique con recuperación de muestras | 7°05'8.83"N | 70°45'30.02"W | 2.34 |

Total: 1

### 1.3.2 Requisitos complementarios

En el sitio no se percibió material orgánico, ya que el terreno ya se encuentra descapotado; sin embargo, cualquier geomaterial contaminado o relleno misceláneo que se evidencie en el proceso de excavación deberá ser removido del sitio de la construcción.

Se describe la caracterización de materiales en lo referente a las propiedades físicas y mecánicas de los suelos existentes y se evalúan algunos fenómenos asociados con los parámetros sísmicos locales. Adicionalmente antes de realizar la investigación, se recopilaron y evaluaron todos los datos disponibles sobre las condiciones del sitio y las características del proyecto. Para el efecto se realizaron varias inspecciones de campo, se solicitaron las características del proyecto para evaluar todos parámetros concernientes de la construcción del mismo.

Además, se tuvo en cuenta el artículo H.3.2.4 de (2) (características y distribución de los sondeos) en el que se describen las características y distribución de los sondeos, citando que deben cumplir las siguientes disposiciones además de las ya enunciadas en los artículos H.3.1-1 y H.3.2-1 de (2):

a) Los sondeos con recuperación de muestras deben constituir como mínimo el 50% de los sondeos practicados en el estudio definitivo.
b) En los sondeos con muestreo se deben tomar muestras cada metro en los primeros 5m de profundidad y a partir de esta profundidad, en cada cambio de material o cada 1.5m de longitud del sondeo.
c) Al menos el 50% de los sondeos deben quedar ubicados dentro de la proyección sobre el terreno de las construcciones.
d) Los sondeos practicados dentro del desarrollo del estudio preliminar pueden incluirse como parte del estudio definitivo - de acuerdo con esta normativa - siempre y cuando hayan sido ejecutados con la misma calidad y siguiendo las especificaciones dadas en el presente título del reglamento.
e) El número de sondeos finalmente ejecutados para cada proyecto, debe cubrir completamente el área que ocuparán la unidad o unidades de construcción contempladas en cada caso, así como las áreas que no quedando ocupadas

directamente por las estructuras o edificaciones, serán afectadas por taludes de cortes u otros tipos de intervención que deban ser considerados para evaluar el comportamiento geotécnico de la estructura y su entorno.

f) En registros de perforaciones en ríos o en el mar, es necesario tener en cuenta el efecto de las mareas y los cambios de niveles de las aguas, por lo que se debe reportar la elevación (y no la profundidad solamente) del estrato, debidamente referenciada a un datum preestablecido.

## 1.4 Diseño geotécnico

### 1.4.1 Condiciones y materiales de excavación

Toda excavación debe mantenerse estable, por sí misma o soportada en forma adecuada, para los fines de diseño, construcción y operación. No se puede presumir estabilidad de la excavación en suelos duros o materiales rocosos sin investigaciones y estudios previos.

### 1.4.2 Estados límites

El diseño de toda excavación debe realizarse evaluando las condiciones predominantes más críticas que puedan presentarse durante la construcción y vida útil de la estructura para los dos estados límites que se especifican:

a) Estado límite de falla: Cuando se desarrolla un mecanismo de falla en el terreno u ocurren deformaciones causantes de la pérdida de equilibrio estático o de la rotura del terreno, estructuras u obras vecinas.
b) Estado límite de servicio. Cuando el terreno sufre deformaciones responsables de daños o pérdidas fundamentales en él mismo o en obras aledañas.

### 1.4.3 Parámetros geotécnicos de diseño

Los parámetros geotécnicos de suelos y rocas que se empleen en el diseño para excavaciones y/o para sus estructuras de contención (peso unitario, resistencia, deformabilidad, permeabilidad, etc.) deben justificarse plenamente y provenir de ensayos

in-situ y/o de laboratorio. Para excavaciones con grado de dificultad alto es indispensable emplear, en forma adicional a otro tipo de parámetros o en forma única, parámetros efectivos de resistencia y de deformabilidad. En las excavaciones con grado de dificultad bajo, medio y medio alto, el ingeniero debe juzgar la necesidad de utilizar parámetros en esfuerzos efectivos dependiendo de la duración de la obra.

### 1.4.4 Empujes de tierra

En el caso de obras de contención, tales como muros de gravedad, muros en voladizo, pantallas ancladas, entibados, etc., los empujes de tierra que actúan sobre la estructura deben calcularse, según lo estipulado en el literal H.4.2 de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-10, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998 o los decretos que lo reemplacen o complementen.

## 2. INFORMACIÓN GEOLÓGICA

En el departamento de Arauca afloran rocas sedimentarias que varían desde el paleozoico superior hasta el reciente; las rocas más antiguas afloran en la parte occidental, en la zona montañosa, y las más jóvenes, en el piedemonte; hacia el oriente se presenta una fisiografía plana, donde afloran rocas del cuaternario. En la zona de piedemonte, están en contacto rocas de distintas edades como consecuencia de la acción de grandes fallas de cabalgamiento; éstas presentan una orientación preferencial NE-SW y bajos ángulos de inclinación, lo que refleja una tectónica de escamas delgadas y la generación de pliegues apretados.

Los recursos minerales más importantes corresponden a yacimientos de gran magnitud de petróleo y gas, mientras que hay mantos de carbón, roca fosfórica, hierro y calizas. Respecto a materiales para la construcción, se presentan pétreos.

En cuanto a recursos hídricos, hay buenas perspectivas para aguas subterráneas, pero la gran abundancia de aguas superficiales no ha hecho necesaria una exploración o explotación cuidadosa.

En cuanto a riesgos geológicos, en el departamento se puede mencionar la geotectónica, sismos que actúan intensamente. Igualmente, la explotación de hidrocarburos aporta un factor de contaminación importante especialmente por los derrames de crudo.

El departamento de Arauca está constituido por las cuencas del borde llanero y los llanos orientales, en las que se desarrollaron secuencias sedimentarias del paleozoico superior, cretácico y cenozoico.

Este conocimiento es útil para establecer con que cuenta el municipio en materia de Recursos Minerales y determinar los procesos geológicos que han actuado en el pasado y han modificado el paisaje, con base en lo anterior determinar cuál de estos procesos pueden ser fuente de amenaza para el municipio y así determinar la utilización más adecuada del subsuelo y la capacidad de soportar actividades humanas. (1)

El municipio de Arauca está ubicado en la república de Colombia sobre la margen sur del río Arauca en el sector norte y oriente del departamento de Arauca con una extensión territorial de aproximadamente de 5.841km$^2$, con una altitud media de 125msnm.

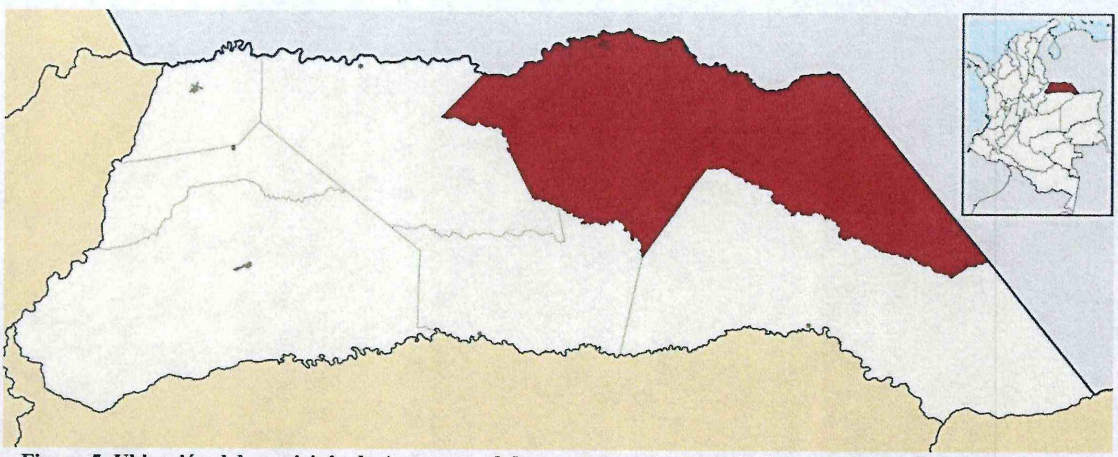


**Figura 5. Ubicación del municipio de Arauca en el departamento de Arauca. Fuente: Geografía Nacional (2024)**

## 2.1 Geología general

*Tomado de (1).*

El área de trabajo se localiza en el municipio de Arauca – departamento de Arauca en los dominios del piedemonte llanero de la cordillera oriental, en cuya conformación básica se distinguen un cinturón deformado (zona montañosa occidental), y una cuenca sedimentaria activa (zona de llanuras). El piedemonte llanero está conformado por un cinturón deformado (sector montañoso), cuenca sedimentaria activa (zona de llanuras) y el cratón. El

desarrollo de esta configuración tectónica, produce morfologías propias que responden a procesos diferentes con una génesis común. Una zona dentro de la gran región denominada piedemonte llanero, en donde se observan claros ejemplos entre geo formas, tipos de rocas y procesos tectónicos regionales. La geología de los llanos orientales, se encuentra relacionada con la complejidad geológica a que ha sido sometida la cordillera oriental colombiana constituida principalmente por formaciones de origen sedimentario, con edades que van desde el cretácico inferior hasta el cuaternario reciente. En varios lugares estas formaciones han sido enrodadas, transportadas y depositadas en las planicies y los valles aluviales ubicados al oriente, como también abanicos aluviales, resultado del proceso de descarga que realizan los ríos en los cambios de pendiente, y con ellos su comportamiento en la transición de la montaña hacia la llanura.

La mayor parte de la erosión de la cordillera, fue precedida de un gran levantamiento y numerosas glaciaciones, que cubrieron parte de la cordillera oriental, dichos glaciares actuaron y generaron una fuerte erosión en la cordillera, removiendo grandes cantidades de materiales, las cuales fueron arrastradas hasta los llanos orientales, originando una amplia cobertura aluvial que se extendía hasta el río Orinoco. Después del pleistoceno, los depósitos aluviales fueron afectados por movimientos tectónicos que dieron origen a la formación y definición de diferentes niveles.

Desde el punto de vista geológico en el departamento de Arauca es posible encontrar en profundidad rocas sedimentarias detríticas poco consolidadas, de edad neogeno, que están cubiertas discordantemente por amplios depósitos del cuaternario (torrenciales, aluviales y fluvio-lacustres), típicos de la amplia cuenca orinoquense.

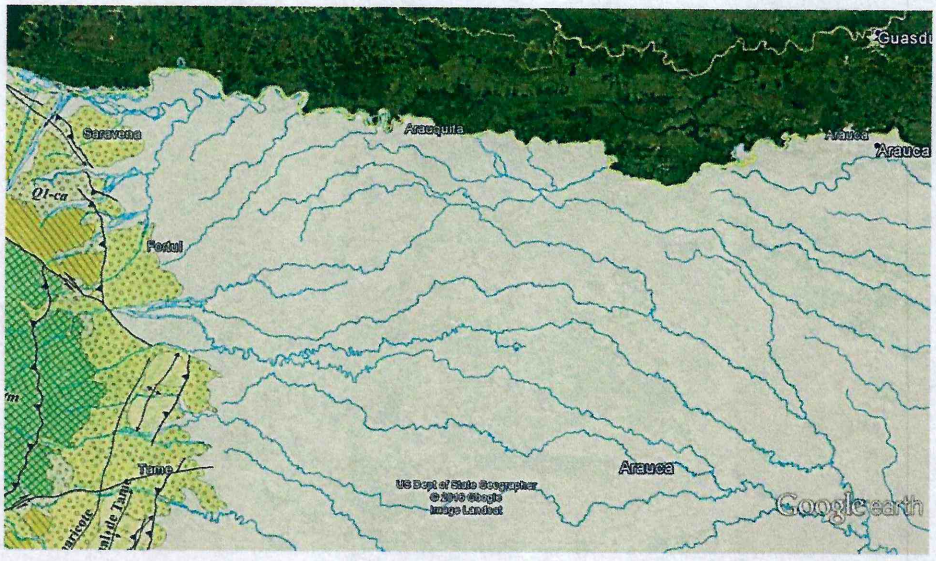



**Figura 6. Unidades estratigráficas generales. Fuente: INGEOMINAS, Mapa Geológico generalizado del departamento de Arauca (2003)**

La unidad tiene relieve plano con pendientes levemente inclinadas hacia el este, extremadamente largas y rectas, por las que pasan drenajes paralelos, de baja densidad pero muy largos, que van generalmente en la misma dirección de las laderas.

## 2.2 Unidades estratigráficas

Las unidades roca de superficie observada en el área de estudio, corresponden principalmente a unidades sedimentarias no litificadas, con poco a leve tectonismo, el cual afecta en parte la red natural de drenaje. En superficie se presentan sedimentos no consolidados de edad reciente (cuaternario Q-ca.), depositados en ambiente continental de tipo aluvial; así mismo se presentan también en la parte superficial de la secuencia sedimentaria sedimentos aluviales y algunos depósitos de tipo coluvial.

### 2.2.1 Rocas sedimentarias

Este tipo de rocas representan en conjunto la mayor extensión y expresión superficial de unidades geológicas del municipio de Arauca, los depósitos recientes que comprenden la unidad sedimentaria han sido formados en ambientes de tipo aluvial de mediana a baja energía y ambientes lacustre y eólico básicamente.

### 2.2.2 Depósitos aluviales del cuaternario (Q-al)

Son los depósitos aluviales típicos y ampliamente distribuidos en la cuenca del Orinoco, conformados por horizontes poco consolidados dejados por los principales ríos, formados por arenas, limos y fragmentos de roca de las unidades que conforman el piedemonte llanero. Yacen en una topografía plana y se ubican a lo largo y ancho del río en forma de terrazas. Los principales depósitos son dejados por los ríos Arauca, Casanare, Ele, Cravo Norte, Cusay, Bojabá y Banadía. Existen otros depósitos inter montanos recientes, como los formados por el río Purare; estos depósitos fueron identificados fotogeológica y geomorfológicamente.

El espesor conjunto de los depósitos recientes es variable y puede alcanzar los 80m, estos depósitos corresponden básicamente a texturas tipo arenas, arcillas y limos con moderados a altos contenidos de materia orgánica, restos de raíces y plantas.

2.2.2.1 Otras características

Capacidad portante moderada a baja, nivel freático alto y fluctuante, (superficial a sub-superficial), baja litificación (baja dureza), con alta susceptibilidad a los procesos erosivos por socavación lateral de corrientes de agua (ríos y quebradas).

## 2.3 Análisis de la morfología del departamento

### 2.3.1 Geomorfología

Geomorfológicamente, el departamento de Arauca puede dividirse en tres sectores: un sector occidental montañoso, el sector de piedemonte y el sector de llanura.

El sector occidental, el cual hace parte del sistema montañoso de la cordillera oriental, se caracteriza por presentar rocas sedimentarias de origen marino y continental con edades que van desde el paleozoico al neógeno. Este sector posee un rango de alturas que van desde los 1.000 msnm hasta los 4.000 msnm.

El sector del piedemonte, comprendido entre la falla de Guaicáramo y la falla frontal de borde llanero, está constituido por rocas de edad neógeno, terrazas altas y abanicos aluviales, con alturas entre 200 msnm y 1.000 msnm.; y finalmente, el sector de llanura, que conforma cerca del 85% del área total del departamento, se extiende hasta el límite con Venezuela; está integrado por depósitos fluviales recientes y presenta elevaciones menores a los 200 msnm. (1)

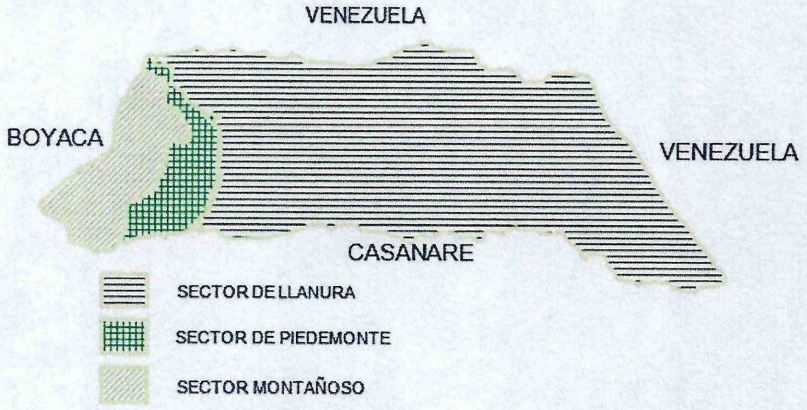



**Figura 7. Polígonos morfológicos del departamento de Arauca. Fuente: INGEOMINAS, Mapa Geológico generalizado del departamento de Arauca (2003)**

### 2.3.2 Amenazas por sismicidad

Varios trabajos han sido publicados sobre la gran actividad geotectónica a lo largo del sistema de falla frontal del borde llanero (Paris & Sarria, 1988; Robertson, 1989) que se extiende hasta los Andes venezolanos (Soulas, 1981). Entre los municipios de Paz de Ariporo (Casanare) y Tame (Arauca) se reporta falla entre depósitos de gravas cuaternarios con algunas terrazas sobrepuestas, basculadas, originadas por varias pulsaciones de la Falla Frontal, las cuales se manifiestan en los depósitos de los ríos Casanare y Tame, donde existen numerosos niveles de terrazas escalonadas. Plegamientos dentro de depósitos aluviales, que forman anticlinales y sinclinales muy amplios, se presentan entre Hato Corozal y Tame.

No obstante lo anterior, en el departamento de Arauca, en los últimos años, no se han presentado fenómenos telúricos importantes y sólo en 1996 se registraron dos sismos, el primero de los cuales tuvo una magnitud de 2,9 en la localidad de Los Chorros (enero 10) y el segundo registrado en marzo 25 en el Municipio de Tame, cuya magnitud fue de 3.5 (INGEOMINAS, 1996). (1)

En la figura siguiente se presenta un esquema cualitativo de la amenaza por sismicidad en el departamento.

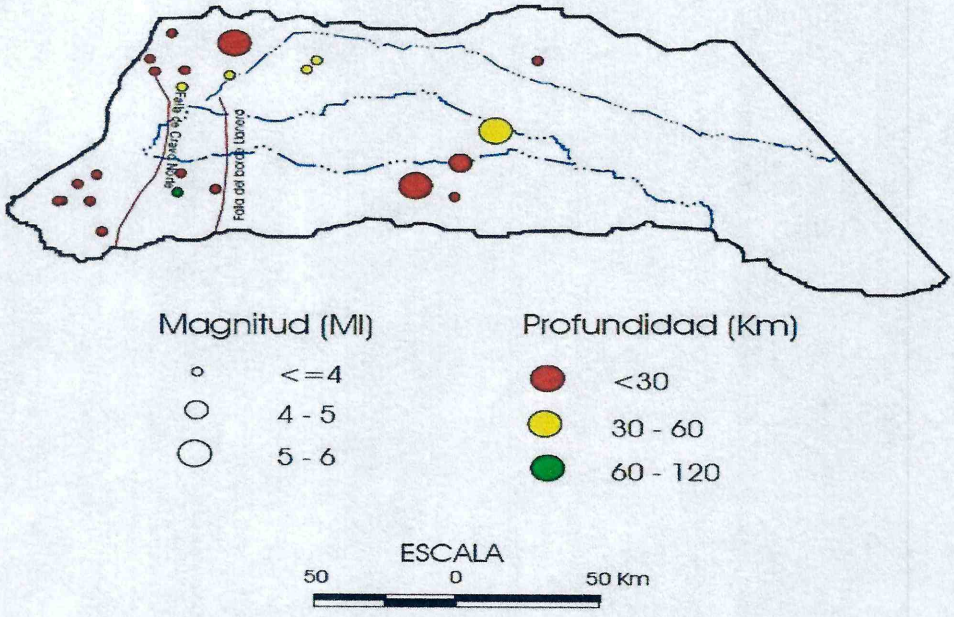



**Figura 8. Mapa de susceptibilidad sísmica. Fuente: INGEOMINAS, Mapa Geológico generalizado del departamento de Arauca (2003)**

Adicional a esto, es de agregar que, con base en la NSR-10, el municipio de Arauca corresponde a una zona de amenaza sísmica **Intermedia** (ver (2)), como se presenta en la sección 4.3 de este documento.

### 2.3.3 Amenazas por inundaciones

En épocas lluviosas, en el departamento de Arauca, se presentan frecuentes tempestades e inundaciones relacionadas con los ríos Casanare y Arauca, principalmente, y a quebradas como La Calafita. Las ciudades más afectadas son Arauca, Puerto Rondón, Arauquita y Saravena. Estos datos permiten asumir dos áreas que presentan amenazas potenciales por inundaciones, en especial en lluviosas. Hacia el piedemonte, las lluvias ocasionan deslizamientos importantes, especialmente cerca al municipio de Saravena. (1)

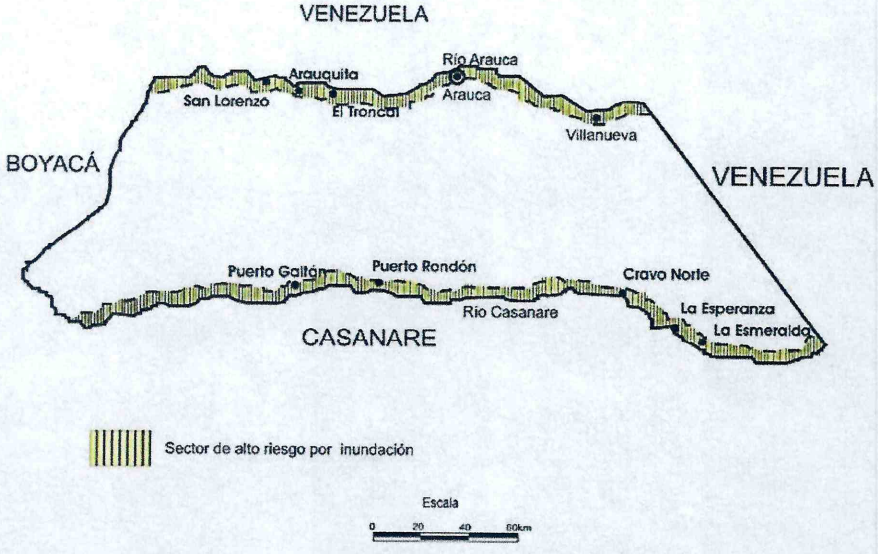



**Figura 9. Mapa de amenaza por inundación. Fuente: INGEOMINAS, Mapa Geológico generalizado del departamento de Arauca (2003)**

## 2.4 Características ambientales

### 2.4.1 Clima

En términos generales, en la región oriental del país se registra un período seco de diciembre a marzo, un período durante los meses de abril y mayo en los que son

característicos los aguaceros intermitentes, y un período de máximas lluvias en los meses de junio a septiembre. En los meses de octubre y noviembre se presentan lluvias de menor intensidad.

Durante los meses de mayo a octubre son comunes las inundaciones en los llanos orientales. En términos promedios, se tienen precipitaciones de 3200 mm/año para la zona de montaña y 1800 mm/año en la sabana. (1)

### 2.4.2 Hidrografía

El municipio de Arauca pertenece a la cuenca del río Orinoco. Cuenta con abundantes cursos de agua, que nacen en su mayoría en la cordillera oriental y corren en dirección este a través de un terreno plano, lo que origina en su trayecto numerosos ríos y caños secundarios. La gran riqueza hídrica representada lagunas y humedales así como en numerosos ríos, caños y quebradas que bañan el municipio. Entre los principales ríos o caños están el río Arauca, el Lipa, el Ele y el río Caranal; estas arterias fluviales conforman las principales cuencas y subcuencas presentes en el municipio subdivididas así: la sub cuenca del río Arauca, localizada al norte del municipio a al cual drenan algunos caños de moderada importancia como son: El Caño Salibón o Jujú, El Curitero, el Troncal, Brazo Bayonero, Brazo Gaviotas y Caño Agua limón, entre los principales, otros de menor importancia el Terciario y el Matapalito. (1)

### 2.4.3 Fauna y flora

Hasta los años 70, el municipio poseía diferentes variedades de árboles y plantas pero a causa del proceso colonizador esta riqueza se ve menguada, aumentó considerablemente la tala indiscriminada y la explotación desmedida por parte de ambiciosos madereros. Sin embrago, todavía se pueden considerar en el inventario forestal árboles como: Flor amarillo, oloroso, pardillo, Ceiba, Tolúa, comino, balso y otras plantas no maderables como la guadua, cañabrava, palma real, yarumo, palma seje, palma sarare y guamo.

Al igual que la flora era muy abundante antes de la colonización, sin embargo se conservan algunas especies salvajes y otras relativamente domesticables como el chigüiro, el cerdo de monte o chacharo, tigrillo, lapas, picures, venados, armadillos, osos, zorros y micos además de serpientes y peces, entre las aves podemos destacar, garzas, guacamayas, pericos, guacharacas, tucanes, loros y pavas. (1)

# 3. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

La exploración del subsuelo se define como la actividad dentro de la práctica de la ingeniería geotécnica, que busca establecer las características de disposición espacial y propiedades físicas de un medio geológico que tienen influencia en la respuesta de éste a las solicitaciones planteadas por un proyecto específico en sus diferentes instancias de desarrollo: diseño, construcción y operación. Para el cumplimiento de esta definición es posible la realización de diferentes actividades de exploración entre las que se cuentan los apiques y los sondeos, complementados con las labores de correlación geomorfológica realizada a través de las visitas de campo.

Los objetivos específicos que comprende un programa de exploración del subsuelo son:

- Evaluar la viabilidad general del sitio propuesto para el proyecto.
- Fundamentar las bases de un diseño económico y adecuado.
- Describir de manera detallada los diferentes estratos geológicos que conforman la rasante del proyecto.
- Observar y analizar las dificultades que pueden surgir durante la construcción debido al terreno o a otra condición local.

## 3.1 Clasificación del suelo

A partir de los límites de Atterberg, y hallando el Índice de Plasticidad como sigue, se pueden clasificar los suelos con porcentaje significativo de finos (50% o más pasa por el tamiz No. 200) por el método de la USC.

**Ecuación 1. Índice de plasticidad. Fuente: Genérica (No data)**

$$IP = LL - LP$$

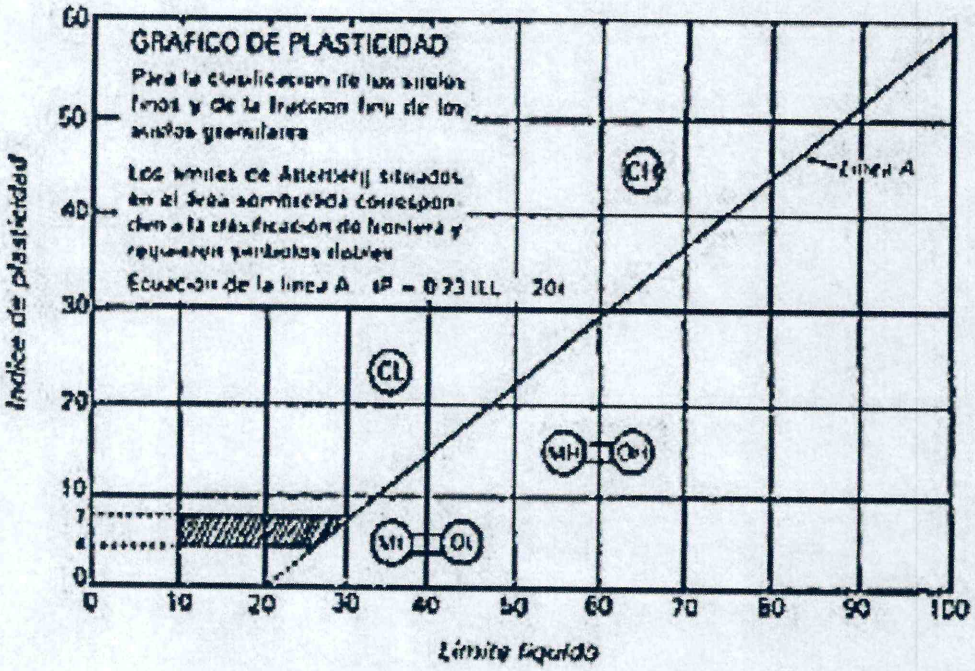



**Figura 10. Clasificación de suelos en función de los límites de Atterberg (Carta de Casagrande). Fuente: ASTM Norma D-2488 (2000)**

La gráfica anterior permite apreciar, con base en los límites de Atterberg, que el suelo se clasifica como Arena limosa SM (USC), A-2-4, en la que menos del 50% del material pasa por el tamiz No. 200, como sigue.

**Tabla 4. Descripción de las siglas según la clasificación de la USC. Fuente: ASTM Norma D-2488 (2000)**

| USC | Descripción |
|---|---|
| GW | Grava arenosa bien gradada, con pocos o sin finos |
| GP | Grava arenosa mal gradada, con pocos o sin finos |
| CH | Arcilla inorgánica de alta plasticidad |
| CL | Arcilla inorgánica de baja plasticidad |
| GC | Grava arcillosa, mezcla de grava, arena y arcilla |
| GM | Grava limosa, mezcla de grava, arena y limo |
| MH | Limo inorgánico, arena muy fina, polvo de roca |
| ML | Limo inorgánico, arena muy fina, polvo de roca |
| OH | Arcilla orgánica de alta plasticidad |
| OL | Limo orgánico de baja plasticidad |
| PT | Turba, estiércol y otros suelos altamente orgánicos |
| SC | Arena arcillosa |
| SM | Arena limosa |
| SP | Arena gravosa mal gradada, con pocos o sin finos |
| SW | Arena gravosa bien gradada, con pocos o sin finos |

### 3.2 Parámetros mecánicos del suelo

Con base en los datos tomados en los laboratorios:

- NTC 1493. Suelos. Ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad. Límites de Attemberg.
- NTC 1494. Suelos. Ensayo para determinar el límite líquido. Cazuela de Casagrande.
- NTC 1495. Suelos. Ensayo para determinar el contenido de humedad.
- NTC 1504. Suelos. Granulometría y Clasificación para propósitos de ingeniería.
- NTC 1528. Suelos. Ensayo para determinar la masa unitaria en el terreno. Laboratorio de densidades.
- NTC 1917. Suelos. Determinación de la resistencia al corte. Método de corte directo. Valores de cohesión y ángulo de fricción interna mediante el círculo de Mohr.

#### 3.2.1 Marco conceptual y normatividad

3.2.1.1 Humedad natural

3.2.1.1.1 Normativa

NTC 1495. INV E-122-13. Suelos. Ensayo para determinar el contenido de humedad.

3.2.1.1.2 Equipo

- Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en 110° ± 5° C.
- Balanza de precisión 0.01 g
- Herramientas y accesorios. Recipientes de porcelana, guantes, espátula y brocha.

3.2.1.1.3 Procedimiento

Se toma una muestra representativa de suelo, de acuerdo al tamaño máximo de las partículas A continuación, se coloca la muestra húmeda en un recipiente previamente pesado (Mr), para proceder a pesar la muestra húmeda más el recipiente, obteniendo Mh.

Luego se coloca el conjunto dentro del horno durante 24 horas, a una temperatura de 110° ± 5° C. Transcurrido dicho tiempo, se determina el peso del recipiente con la muestra seca (Ms), y posteriormente se calcula el contenido de humedad (w) de la muestra.

**Ecuación 2. Cálculo de la humedad natural de la muestra. Fuente: NTC 1495. INV E-122-13 (1963)**

$$w = \frac{Mh - Ms}{Ms - Mr} * 100\%$$

Dónde:

- *Mh* : peso recipiente más la muestra de suelo húmedo [g]
- *Ms* : peso recipiente más la muestra de suelo seca [g]
- *Mr* : peso recipiente [g]

3.2.1.2 Gravedad específica

3.2.1.2.1 Normativa

NTC 1528. Suelos. Ensayo para determinar la masa unitaria en el terreno. Laboratorio de densidades.

3.2.1.2.2 Equipo

- Frasco volumétrico, preferiblemente de 250 o 500mL.
- Bomba de vacío o aspirador para producir vacío.
- Mortero y mando para morterear.
- Balanza de precisión 0.1g.
- Suministro de agua desaireada con temperatura estabilizada.
- Opcional: recipiente de agua helada y mezclador mecánico (de refrescos)

3.2.1.2.3 Procedimiento

Mezclar entre 100 y 120g (el peso exacto no es importante en este punto) de suelo secado al aire con agua en un recipiente evaporador hasta formar una pasta cremosa. Si no se utiliza un mezclador eléctrico, remojar el suelo entre 20 y 30 minutos (la ASTM sugiere 12h. Para muestras secadas al horno).

Opcional: transferir la pasta al vaso del mezclador eléctrico de refrescos y añadir agua hasta formar una mezcla de cerca de 200mL de suelo-agua. Batir estas mezclas durante 5 a 10 minutos. Si se hace este paso, es necesario utilizar un frasco volumétrico de 500mL.

Pesar el frasco volumétrico vacío, a continuación llenar el frasco hasta la marca con agua desaireada, tener mucho cuidado en no introducir aire nuevamente al agua por agitación excesiva. Como alternativa, es posible aplicar vacío por unos cuantos minutos después de haber llenado el frasco hasta ¾ de su capacidad. Cuando el nivel de agua se encuentra en la marca volumétrica (no el menisco) y el cuello por encima de esa marca se encuentra totalmente seco, pesar el frasco y registrar el peso Wbw. registrar la temperatura de manera que la mezcla agua-suelo se encuentre a la misma temperatura aproximadamente dentro de 1°C. Esta operación puede hacerse mientras el suelo se encuentre en saturación o está siendo mezclado con la batidora eléctrica. Este paso se puede omitir si existe una curva de calibración para el frasco.

Luego de 15 a 30 minutos, transferir el suelo saturado del plato evaporador al frasco volumétrico. Tener cuidado de que no queden partículas de suelo en el recipiente evaporador. Añadir suficiente agua con temperatura estabilizada para completar 2/3 a ¾ de la capacidad del frasco volumétrico. No se debe llevar completo debido a que la eficiencia del trabajo del vacío en la desaireación se puede reducir marcadamente.

Conectar el frasco a un ducto de vacío por un espacio de por lo menos 10 minutos. Durante este tiempo agitar suavemente la mezcla moviendo cuidadosamente la botella. Observar que la reducción en la presión del aire dentro del frasco produce "la ebullición" del agua. Verificar la eficiencia del vacío. Si al final del periodo no se ha extraído totalmente el aire, se debe dejar sedimentar la solución, por espacio de unos pocos minutos de forma que se aclare el agua superficial y se pueda extraer suficiente para permitir que el vacío trabaje eficientemente. Este paso puede tomar varias horas, sin embargo, en laboratorios para estudiantes, el instructor ordenará continuar con el paso siguiente después de un tiempo razonable.

Cuando el proceso de desaireamiento se haya completado (o terminado), se debe añadir cuidadosamente agua hasta que la base del menisco se encuentre exactamente en la marca del frasco volumétrico. Se debe hacer esta operación con mucho cuidado para no reintroducir aire en el frasco. El agua utilizada debe provenir de un suministro desaireado y con temperatura estabilizada. Se debe a continuación secar cuidadosamente el cuello del

frasco por encima de la marca de calibración por un papel enrollado o por algún método similar.

Pesar la botella y su contenido con una aproximación de 0.01g (estimado) para obtener Wbws. Asegurarse de que la temperatura se encuentra dentro de 1°C de la temperatura utilizada para obtener Wbw (a menos que se utilice una curva de calibración).

Vaciar el frasco volumétrico y su contenido en un plato evaporador profundo u otro recipiente similar y secarlo al horno. Es necesario tener mucho cuidado de no perder nada del suelo en este proceso. Pesar el suelo secado al horno para obtener Ws.

Calcular Gs utilizando las ecuaciones:

**Ecuación 3. Cálculo de la gravedad de partículas de la muestra. Fuente: NTC 1528 (1963)**

$$Gs = \frac{Ws}{Ww} \quad con \quad Ww = Wt - Wbws \quad con \quad Wt = Wbw + Ws$$

Finalmente, registrar el valor de Gs y proceder a la clasificación del suelo según la siguiente tabla:

**Tabla 5. Clasificación del suelo en base a la gravedad específica de la muestra. Fuente: NTC 1528 (1963)**

| Tipo de suelo | Gs |
|---|---|
| Arena | 2.65-2.67 |
| Arena limosa | 2.67-2.70 |
| Arcilla inorgánica | 2.70-2.80 |
| Suelos con micas o hierro | 2.75-3.00 |
| Suelos orgánicos | Variable, puede ser inferior a 2.00 |

3.2.1.3 Granulometría y clasificación

3.2.1.3.1 Normativa

NTC 1504. INV E-123-13. Suelos. Granulometría y Clasificación para propósitos de ingeniería.

3.2.1.3.2 Equipo

- Juego de tamices.
- Mortero y mano de mortero o un pulverizador mecánico de suelo.
- Balanza de sensibilidad 0.1g.

3.2.1.3.3 Procedimiento

Cada grupo debe obtener exactamente 500g (200g a discreción del instructor, pero las muestras mayores son estadísticamente representativas) de suelo secado al horno tomado de una bolsa de muestra obtenida en el terreno. Si la muestra debe lavarse no es necesario pulverizar el suelo, sin embargo el proceso se agiliza considerablemente si se pulveriza el suelo seco y se hace pasar a través de un tamiz N° 200, descartando la fracción menor.

Si la muestra contiene apreciable cantidad de gravas, y muy pocos finos, o a discreción del instructor, el lavado se puede omitir y en este caso seguir el paso 4. Colocar la muestra sobre el tamiz N° 200 y lavar cuidadosamente el material a través del tamiz utilizando agua común hasta cuando el agua que pasa a través del tamiz mantenga su transparencia. Es necesario ser muy cuidadoso en este proceso para evitar daños en el tamiz y la pérdida del suelo que eventualmente pueda salpicar fuera del tamiz.

Verter cuidadosamente el residuo, con ayuda de agua, en un gran recipiente desecador, y permitirle sedimentar por un periodo de tiempo suficiente hasta lograr que el agua en la parte superficial de la suspensión se vuelva transparente. Botar tanto como se pueda de esta agua transparente, y colocar el recipiente con la suspensión suelo-agua en el horno para secado.

Al día siguiente, regresar al laboratorio y pesar el residuo secado al horno (si no se ha hecho el lavado omitir esto, por supuesto).

A continuación, bien inmediatamente (si no se ha hecho lavado) o al día siguiente (si se ha hecho lavado) hacer pasar la muestra a través de una serie de tamices que varíen desde los diámetros mayores arriba hasta los diámetros inferiores abajo. Como el objetivo de la práctica es lograr una curva semilogarítmica del porcentaje de material más fino contra el tamaño de las partículas, será necesario obtener una distribución razonable de puntos a lo largo del rango potencial de diámetros presentes en la muestra.

Colocar la serie de tamices en un agitador eléctrico automático (si existe uno disponible) y tamizar aproximadamente 5 a 10 minutos, dependiendo de una inspección visual sobre la dificultad probable dada la cantidad de material. En caso de que la serie de tamices no quepa físicamente dentro del agitador automático, es posible hacer el tamizado manual a

través de tamices superiores de diámetro más grueso y removerlos de la serie; colocar el resto de los tamices en el agitador mecánico. si no se dispone de agitador mecánico puede hacerse el tamizado manual por cerca de 10 minutos. Alternar el modo de agitación de forma que los granos sean impulsados a pasar a través de las mallas; no es aconsejable mantener un ritmo fijo durante la agitación.

Quitar la serie de tamices del agitador mecánico y obtener el peso del material que quedó retenido en cada tamiz. Sumar estos pesos y comparar el total con el peso total obtenido en el paso 4.

Calcular el porcentaje en cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos por el peso de la muestra original utilizado en el paso 2. Esto es válido ya que el material que haya pasado a través del tamiz 200 pasaría cualquier otro tamiz por encima del tamiz 200 en la serie

Calcular el porcentaje que pasa comenzando por el 100% y substraer el porcentaje retenido en cada tamiz como un proceso acumulativo. En general el porcentaje que pasa se calcula como:

**Ecuación 4. Cálculo del porcentaje que pasa cada tamiz. Fuente: NTC 1504. INV E-123-13 (1963)**

$$\%\ que\ pasa = \%\ que\ llega - \%\ retenido$$

Teniendo en cuenta que, si menos de 12% del material pasa a través del tamiz N° 200, es necesario calcular los coeficientes Cu y Cc.

### 3.2.1.4 Límites de Atterberg

#### 3.2.1.4.1 Normativa

NTC 1493. INV E-126-13. Suelos. Ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad. Límites de Atterberg para el porcentaje de finos en la muestra.

NTC 1494. INV E-126-13. Suelos. Ensayo para determinar el límite líquido. Cazuela de Casagrande.

#### 3.2.1.4.2 Equipo

- Recipiente para hacer el ensayo del límite líquido con herramientas para hacer la ranura
- Recipientes para contenido de humedad
- Placa de vidrio para hacer el límite plástico.

3.2.1.4.3 Procedimiento Límite Líquido

Se debe pulverizar una cantidad de alrededor de 250 ± 10g, que pase a través del tamiz N° 40, no es conveniente secar el suelo al horno para pasarlo a través del tamiz N° 40 pues esta práctica reduce el valor real de los limites líquidos y plástico del suelo.

A continuación cada grupo debe verificar que la altura de la máquina del límite líquido que va a utilizar sea exactamente de 1 cm (±0.1 mm). Para esta operación se puede utilizar la cabeza en forma de dado de 1 cm en el extremo superior del ranurador-patrón. Hacer la calibración respecto a la marca de desgaste que se nota en la parte inferior de la cazuela, y no con respecto a la mínima distancia. Si la altura de la caída nos e calibra dentro de estos límites, es posible introducir un error varias unidades % en la determinación del contenido de humedad. Si la maquina se encuentra en condiciones inadecuadas o tiene un gran desajuste debe verificarse con el instructor para las reparaciones o cambios de partes correspondientes.

Colocar los 250 g de suelo en un recipiente de porcelana, añadir una pequeña cantidad de agua y mezclar cuidadosamente el suelo hasta obtener un color uniforme. Cuando el color es uniforme en toda la mezcla y ésta adquiere una apariencia cremosa, su estado es adecuado en general. Se debe continuar añadiendo pequeñas cantidades de agua y mezclando cada vez hasta obtener una mezcla homogénea. Cuando se encuentre el suelo en un punto de consistencia (pegajosidad) tal que se pueda estimar (o simplemente hacer un ensayo de prueba) que tomará alrededor de 50 golpes para cerrar en una longitud de 12.7mm la ranura, remover alrededor de 20 g de esta muestra adecuadamente mezclada del plato en el que se está trabajando para determinación posterior del límite plástico. A continuación se debe añadir un poco más de aguade manera que la consistencia resultante permita un número de golpes para la falla en el rango 30 a 40.

Remover la cazuela de bronce del aparato del límite líquido y colocar dentro de la cazuela una pequeña cantidad de suelo hasta la profundidad adecuada para el trabajo de la herramienta ranuradora, bien centrada en la cazuela con respecto al pasador. A continuación se debe emparejar la superficie de la pasta de suelo cuidadosamente con una espátula, y mediante el uso de la herramienta ranuradora, corta una ranura clara, recta, que

separe completamente la masa de suelo en dos partes. La mayor profundidad del suelo en la pasta deberá ser aproximadamente igual a la altura de la cabeza de la herramienta patrón de la ASTM. Si se utiliza la herramienta de Casagrande, se debe mantener firmemente perpendicular a la tangente instantánea a la superficie de la cazuela y la herramienta, de forma que la profundidad de la ranura sea homogénea en toda su longitud. el suelo no debe prácticamente ser alterado por los "hombros" de la herramienta. Después de esto se hará el conteo de los golpes evitando demoras.

Tomar una muestra para medir contenido de humedad (tan grande como sea posible y cercana a los 40g) y colocarla en una lata o recipiente para humedad cuyo peso debió determinarse con anterioridad, limpiar la cazuela.

Añadir una pequeña cantidad de agua al recipiente de porcelana de preparación de suelo y mezclar cuidadosamente hasta obtener una coloración homogénea y consistente para obtener un número de golpes entre 25 y 30 aproximadamente. Repetir los pasos 4 y 5.

Repetir la secuencia para dos ensayos adicionales con número de golpes entre 20 y 25 y entre 15 y 20, respectivamente para un total de cuatro determinaciones en el ensayo.

Pesar las cuatro muestras de humedad obtenidas en los diferentes ensayos, remover las tapas, y colocar los recipientes en un horno a 110°C para que se seque durante la noche.

### 3.2.1.4.4 Procedimiento Límite Plástico

Dividir en varios pedazos o porciones pequeñas la muestra de 20 a 30 g de suelo que se había separado con anterioridad durante la preparación de la muestra para límite líquido.

Enrollar el suelo con la mano extendida sobre la placa de vidrio o sobre un pedazo de papel colocado a su vez sobre una superficie lisa, con presión suficiente para moldearlo en forma de cilindro o hilo de diámetro uniforme por la acción de unos 80 a 90 golpes o movimientos de mano por minuto (un golpe = movimiento hacia adelante y hacia atrás). Cuando el diámetro del hilo o cilindro de suelo llegue a 3 mm (1/8") se debe romper en pequeños pedazos, y con ellos moldear nuevamente unas bolas o masas que a su vez vuelvan a enrollarse. El proceso de hacer bolas o masas de suelo y enrollarlas debe continuarse alternativamente hasta cuando el hilo o cilindro de suelo se rompa bajo la presión de enrollamiento y no permita que se le enrolle adicionalmente.

Esta secuencia debe repetirse el número de veces que se requiera para producir suficientes pedazos de cilindro que permitan llenar un recipiente de humedad. Pesar el recipiente cubierto, remover su tapa y colocarlo dentro del horno.

3.2.1.5 Masa unitaria

3.2.1.5.1 Normativa

NTC 1528. Suelos. Ensayo para determinar la masa unitaria en el terreno. Laboratorio de densidades.

3.2.1.5.2 Equipo

- Recipiente o cilindro de compactación de la muestra.
- Varilla de compactación por golpes.
- Balanza de sensibilidad 0.1g.

3.2.1.5.3 Procedimiento

Se determina la masa del recipiente vacío (cilindro) y se registra ese valor.

Se llena el recipiente con la muestra hasta un tercio de su capacidad y se nivela la superficie.

Se efectúa la compactación de la capa del material mediante 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente en toda la superficie del material.

Se continúa el llenado del recipiente hasta 2/3 de su capacidad y se compacta esta segunda capa con 25 golpes de varilla, sin penetrar en la capa previa ya compactada.

Finalmente, se vuelve a llenar el recipiente hasta que desborde y se compacta con 25golpes de la varilla, sin penetrar en la capa previa ya compactada.

Se nivela la capa superficial del material en forma manual utilizando la varilla, de manera de enrasarla con el borde superior del recipiente.

Se determina la masa del recipiente más su contenido (cilindro + material) y se registra este valor.

### 3.2.2 Cálculo y resultados

Siguiendo los procedimientos y normativas citados y referenciados en la sección anterior, se determina:

#### 3.2.2.1 Densidades

Con base en:

**Ecuación 5. Densidades húmeda y seca. Fuente: Genérica (No data)**

$$\gamma_s = \frac{m_s}{V_s} \qquad \gamma_d = \frac{m_d}{V_d}$$

Dónde:

$m_s$ : masa de la muestra húmeda (g)
$V_s$ : volumen de la muestra húmeda ($cm^3$)
$m_d$ : masa de la muestra seca (g)
$V_d$ : volumen de la muestra seca ($cm^3$)

**Tabla 6. Densidades húmeda y seca del terreno. Fuente: Propia (2024)**

| DENSIDAD (gr/cm3) | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---|---|---|---|
| **Húmeda** | 1,881 | 1,880 | 1,884 |
| **Seca** | 1,709 | 1,711 | 1,709 |

#### 3.2.2.2 Humedad

Con base en:

**Ecuación 6. Porcentaje de humedad de la muestra. Fuente: Genérica (No data)**

$$\%w = \frac{m_s - m_d}{m_d} * 100\%$$

**Tabla 7. Humedad del terreno. Fuente: Propia (2024)**

| | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---|---|---|---|
| **HUMEDAD** | 10,04% | 9,87% | 10,21% |

3.2.2.3 Gravedad de partículas

Para trabajar la densidad del agua se realizó ensayo de densidad para una muestra de agua del sitio de práctica de laboratorios obteniéndose un valor de 0,9964gr/cm$^3$. Con base en:

**Ecuación 7. Cálculo de la gravedad de partículas. Fuente: Genérica (No data)**

$$V_w = \frac{m_s - m_d}{\rho_w} \qquad V_p = V_s - V_w \qquad G_s = \frac{m_d}{V_p}$$

Donde:

$V_w$ : volumen de agua en la muestra (cm$^3$)
$\rho_w$ : densidad del agua (gr/cm$^3$)
$V_p$ : volumen de partículas en la muestra (cm$^3$)
$G_s$ : gravedad de partículas (-)

**Tabla 8. Gravedad de partículas del terreno. Fuente: Propia (2024)**

| | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---|---|---|---|
| **Gs (-)** | 2,66 | 2,66 | 2,66 |

3.2.2.4 Relación de vacíos y porosidad

Con base en:

**Ecuación 8. Relación de vacíos. Fuente: Genérica (No data)**

$$e = \frac{V_w}{V_p}$$

**Ecuación 9. Porosidad del suelo. Fuente: Genérica (No data)**

$$n = \frac{1}{e}$$

**Tabla 9. Relación de vacíos del terreno. Fuente: Propia (2024)**

| | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---|---|---|---|
| **e (-)** | 0,551 | 0,549 | 0,551 |

**Tabla 10. Porosidad del terreno. Fuente: Propia (2024)**

| | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---|---|---|---|
| **n (-)** | 35,5% | 35,4% | 35,5% |

### 3.2.2.5 Saturación

Con base en:

**Ecuación 10. Densidad seca y húmeda en función de los parámetros mecánicos del suelo. Fuente: (6)**

$$\gamma_d = \frac{G_s}{1+e}\gamma_w \qquad \gamma_s = \gamma_d(1+w_n)$$

**Ecuación 11. Porcentaje de saturación del suelo. Fuente: Propia (2024)**

$$Sr = \frac{w_n * G_s}{e} * 100\%$$

**Tabla 11. Densidades y relación de vacíos del terreno. Fuente: Laboratorios (2024)**

| | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---|---|---|---|
| ρs (gr/cm3) | 1,881 | 1,880 | 1,884 |
| ρd (gr/cm3) | 1,709 | 1,711 | 1,709 |
| ρw (gr/cm3) | 0,9964 | 0,9964 | 0,9964 |
| e (-) | 0,551 | 0,549 | 0,551 |

**Tabla 12. Porcentaje de saturación del terreno. Fuente: Propia (2024)**

| | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---|---|---|---|
| **Sr (%)** | 48,49% | 47,81% | 49,32% |

### 3.2.2.6 Ángulo de fricción interna

Obtenida por medio del ensayo de corte directo.

**Tabla 13. Ángulo de fricción interna del terreno. Fuente: Propia (2024)**

| | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---|---|---|---|
| **ϕ (°)** | 29,24 | 30,44 | 29,85 |

3.2.2.7 Cohesión

Con base en que, en el ensayo de corte directo:

**Ecuación 12. Cohesión del suelo según el ensayo de corte directo. Fuente: Genérica (No data)**

$$C_u = \frac{F_{corte}}{A_{corte}}$$

**Tabla 14. Cohesión del terreno. Fuete: Propia (2024)**

| | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---|---|---|---|
| **Cu (kg/cm2)** | 0,02 | 0,02 | 0,02 |

3.2.2.8 Límites de Atterberg

Con base en los datos de laboratorio y a la Ecuación 1, se calculan los límites de Atterberg para la fracción fina del suelo únicamente para propósitos de clasificación, teniendo en cuenta que para suelos granulares estos valores no son representativos para la masa total.

**Tabla 15. Límites de Atterberg del terreno. Fuente: Laboratorios (2024)**

| | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---|---|---|---|
| **Límite Líquido (%)** | 13,02% | 13,02% | 13,02% |
| **Límite Plástico (%)** | 9,81% | 9,81% | 9,81% |
| **Índice de Plasticidad (%)** | 3,21% | 3,21% | 3,21% |

3.2.2.9 Relación de deformaciones tridimensionales (Coeficiente de Poisson)

Con base en:

**Ecuación 13. Coeficiente de Poisson: la relación entre las deformaciones lateral y vertical. Fuente: (6)**

$$\mu = -\frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_v}$$

Donde:

$\varepsilon_L$ : deformación lateral (-)
$\varepsilon_v$ : deformación vertical (-)

Teniendo como denominación de variables para los lados iniciales del cubo de la muestra de suelo del ensayo para cada terreno:

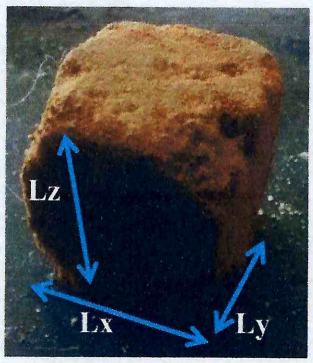



**Figura 11. Cubo de ensayo con la denominación de sus lados. Fuente: Propia (2024)**

Se obtuvieron las deformadas finales de la muestra de cada terreno, como se evidencia:



**Figura 12. Deformada de la muestra de suelo del terreno superior. Fuente: Laboratorios (2024)**



**Figura 13. Deformada de la muestra de suelo del terreno inferior. Fuente: Laboratorios (2024)**

**Tabla 16. Cálculo de los coeficientes de Poisson en ambos sentidos del plano lateral del terreno. Fuente: Laboratorios (2024)**

| | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---|---|---|---|
| Lado inicial x (cm) | 1,95 | 2,05 | 2,15 |
| Lado inicial y (cm) | 2,10 | 2,21 | 2,32 |
| Lado incial z (cm) | 2,50 | 2,63 | 2,76 |
| Lado final x (cm) | 2,10 | 2,21 | 2,32 |
| Lado final y (cm) | 2,30 | 2,42 | 2,54 |
| Lado final z (cm) | 2,05 | 2,15 | 2,26 |
| δx (cm) | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| δy (cm) | 0,10 | 0,11 | 0,11 |
| δz (cm) | -0,45 | -0,48 | -0,50 |
| εx (-) | 0,038 | 0,038 | 0,038 |
| εy (-) | 0,048 | 0,048 | 0,048 |
| εz (-) | -0,180 | -0,181 | -0,180 |
| μx (-) | 0,214 | 0,213 | 0,214 |
| μy (-) | 0,265 | 0,263 | 0,264 |

**Tabla 17. Coeficiente de Poisson por terreno. Fuente: Propia (2024)**

| | **Muestra 1** | **Muestra 2** | **Muestra 3** |
|---|---|---|---|
| **μ (-)** | 0,24 | 0,24 | 0,24 |

### 3.2.2.10 Módulos de Elasticidad y Cortante

Con base en:

**Tabla 18. Módulos de Elasticidad típicos. Fuente: (4)**

| Tipo de Suelo | | Módulo deElasticidad (E) Mpa |
|---|---|---|
| Arcilla | | |
| Arcilla | Muy blanda | 2-15 |
| | Blanda | 5-25 |
| | Media | 15-50 |
| | Dura - Firme | 50-100 |
| | Arenosa | 25-250 |
| Limo | | 2-20 |
| Arena | Limosa | 5-20 |
| | Suelta | 10-20 |
| | Media | 20-40 |
| | Densa | 40-80 |

| | |
|---|---|
| Arena y Grava Suelta | 50-150 |
| Densa | 100-200 |

**Ecuación 14. Módulo cortante del suelo. Fuente: (4)**

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

Se tiene:

**Tabla 19. Módulos de Elasticidad y Cortante del terreno. Fuente: Propia (2024)**

| | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---|---|---|---|
| **E (Mpa)** | 15,0 | 15,0 | 15,0 |
| **G (Mpa)** | 6,05 | 6,06 | 6,05 |

3.2.2.11 Coeficientes de pre-consolidación y consolidación

Con base en:

**Tabla 20. Coeficientes de pre-consolidación y consolidación del suelo. Fuente: (4)**

**Typical range of values**

$C_c$ = 0.1 to 0.8
$C_r$ = 0.015 to 0.35; also, $C_r \sim C_c/5$ to $C_c/10$
$C_\alpha/C_c$ = 0.03 to 0.08

| Empirical relationships | Reference |
|---|---|
| $C_c = 0.009(LL - 10)$ | Terzaghi and Peck, 1967 |
| $C_c = 0.40(e_o - 0.25)$ | Azzouz et al., 1976 |
| $C_c = 0.01(w - 5)$ | Azzouz et al., 1976 |
| $C_c = 0.37(e_o + 0.003\,LL - 0.34)$ | Azzouz et al., 1976 |
| $C_c = 0.00234\,LL\,G_s$ | Nagaraj and Murthy, 1986 |
| $C_r = 0.15(e_o + 0.007)$ | Azzouz et al., 1976 |
| $C_r = 0.003(w + 7)$ | Azzouz et al., 1976 |
| $C_r = 0.126(e_o + 0.003\,LL - 0.06)$ | Azzouz et al., 1976 |
| $C_r = 0.000463\,LL\,G_s$ | Nagaraj and Murthy, 1985 |
| $C_c = 1.35\,PI$ (remolded clays) | Schofield and Wroth, 1968 |

$w$ is the natural water content (%), LL is the liquid limit (%), $e_o$ is the initial void ratio, and PI is the plasticity index.

Se calculan estos dos parámetros bajo todos los criterios sugeridos y se promedian los valores más acertados despreciando aquellos que se salen de la banda de confianza.

**Tabla 21. Valores de Cc por diversos criterios del terreno. Fuente: Propia (2024)**

| Criterio | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---|---|---|---|
| Límite Líquido | 0,0272 | 0,0272 | 0,0272 |
| Relación de vacíos | 0,1203 | 0,1197 | 0,1202 |
| Humedad | 0,0504 | 0,0487 | 0,0521 |
| Relación de vacíos y Límite Líquido | 0,0924 | 0,0918 | 0,0924 |
| Límite Líquido y Gravedad de partículas | 0,0810 | 0,0810 | 0,0810 |

**Tabla 22. Valores de Cr por diversos criterios del terreno. Fuente: Propia (2024)**

| Criterio | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---|---|---|---|
| Relación de vacíos | 0,0837 | 0,0834 | 0,0836 |
| Humedad | 0,0511 | 0,0506 | 0,0516 |
| Relación de vacíos y Límite Líquido | 0,0668 | 0,0666 | 0,0667 |
| Límite Líquido y Gravedad de partículas | 0,0160 | 0,0160 | 0,0160 |
| Índice de Plasticidad | 0,0433 | 0,0433 | 0,0433 |

Sin embargo, teniendo en cuenta que el geomaterial del suelo es predominantemente granular, se desprecian los coeficientes de consolidación, de modo que:

**Tabla 23. Valores de Cc y Cr del terreno. Fuente: Propia (2024)**

| | **Muestra 1** | **Muestra 2** | **Muestra 3** |
|---|---|---|---|
| **Cc** | - | - | - |
| **Cr** | - | - | - |

### 3.3 Resumen de parámetros geotécnicos

Para el terreno analizado, se obtienen los valores promedio recopilados de la sección anterior:

**Tabla 24. Resumen de parámetros mecánicos del terreno. Fuente: Propia (2024)**

| | **Muestra 1** | **Muestra 2** | **Muestra 3** |
|---|---|---|---|
| **γs (kN/m3)** | 18,45 | 18,44 | 18,48 |
| **γd (kN/m3)** | 16,77 | 16,78 | 16,77 |
| **wn (%)** | 10,04% | 9,87% | 10,21% |
| **Gs (-)** | 2,66 | 2,66 | 2,66 |
| **e (-)** | 0,551 | 0,549 | 0,551 |

CONSTRUCCIÓN, ADECUACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CUBIERTA DE UN KIOSKO EN LA CASA DEPARTAMENTAL, DEL MUNICIPIO DE ARAUCA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA
Ing. Daniel Fernando García Sosa T.P. No. 54202-339520 NTS
Cel.: 3108333100 Correo: skyfot 94@hotmail.com

| | | | |
|---|---|---|---|
| **n (-)** | 35,51% | 35,45% | 35,51% |
| **Sr (%)** | 48,49% | 47,81% | 49,32% |
| **ϕ (°)** | 29,24 | 30,44 | 29,85 |
| **Cu (kN/m2)** | 1,91 | 1,94 | 1,82 |
| **LL (%)** | 13,02% | 13,02% | 13,02% |
| **LP (%)** | 9,81% | 9,81% | 9,81% |
| **IP (%)** | 3,21% | 3,21% | 3,21% |
| **μ (-)** | 0,24 | 0,24 | 0,24 |
| **E (kN/m2)** | 15000 | 15000 | 15000 |
| **G (kN/m2)** | 6052,72 | 6058,87 | 6053,01 |
| **Cc (-)** | - | - | - |
| **Cr (-)** | - | - | - |

### 3.3.1 Perfil estratigráfico

El apique realizado en el terreno se profundizó hasta 2.34m, en donde no se encontró nivel freático, correspondiendo toda la profundidad sondeada básicamente a una sola textura, con algunas vetas y colores que lo estratifica levemente; siendo además los primeros 8cm geomaterial contaminado que deberá ser removido del sitio de intervención en la labor de descapote perteneciente al capítulo de localización y replanteo de la construcción.

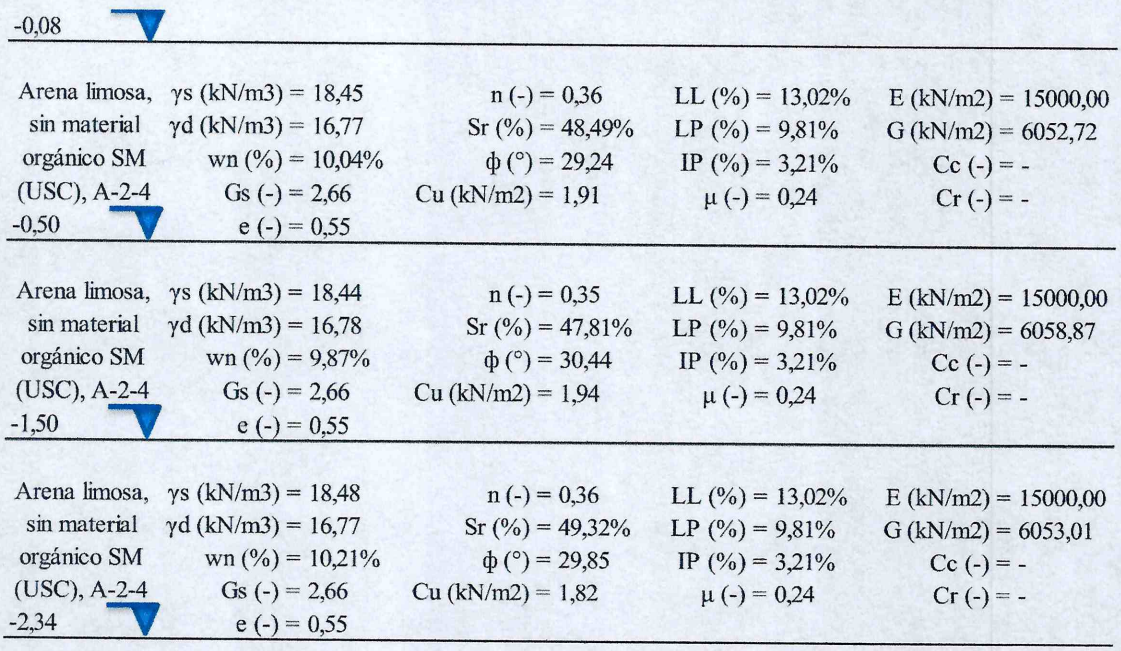



**Figura 14. Perfil estratigráfico del terreno a intervenir. Fuente: Propia (2024)**

# 4. SISMOLOGÍA

Tal como demanda la NSR-10 título A (ver (2)), es indispensable el análisis sismológico del suelo local y su interacción con la estructura, a fin de realizar un diseño sismo-resistente que garantice la vida útil de la estructura y, en especial, salvaguarde la integridad de sus ocupantes.

## 4.1 Vulnerabilidad sísmica de la estructura

Ya que la obra civil a realizar corresponde a una construcción nueva, no aplica un análisis de vulnerabilidad sísmica de estructuras existentes; no obstante, en cuanto al sitio, es necesario tener en cuenta la información referente a amenazas o riesgos por sismicidad de la zona local, consignada en la sección 4.4 de este documento.

## 4.2 Clasificación del suelo según NSR-10

### 4.2.1 Velocidad de onda cortante

Con base en que, de forma aproximada la velocidad de onda cortante del suelo se puede calcular como:

**Ecuación 15. Velocidad de onda cortante del suelo. Fuente: (2)**

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho_s}}$$

Se tiene que, considerando la misma presencia de estrato similar a la profundidad dictada por (2) en el titulo A:

**Tabla 25. Velocidad de onda cortante del terreno. Fuente: Propia (2024)**

| | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---|---|---|---|
| G (kN/m2) | 6052,72 | 6058,87 | 6053,01 |
| γs (kN/m3) | 18,45 | 18,44 | 18,48 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ρs (Tn/m3) | 1,88 | 1,88 | 1,88 |
| Vs (m/s) | 56,73 | 56,77 | 56,69 |

Teniendo en cuenta que en la profundidad inferior a la media superficial (27.66m) se tiene una velocidad de onda cortante de 109.90m/s (en el lecho rocoso hasta los 30m) con base en correlación de la conformación litológica del sector según el mapa geológico del SGC – antes INGEOMINAS, que con una velocidad media en la profundidad sondeada de 56.73m/s, esta produce en promedio ponderado un valor de $V_s$ = 102.91m/s.

### 4.2.2 Perfil sísmico del suelo

Con base en:

$V_s$ = 102.91m/s < 180m/s, con:

**Tabla 26. Clasificación de los perfiles de suelo. Fuente: (2) Tabla A.2.4-1**

| Tipo de perfil | Descripción | Definición |
|---|---|---|
| A | Perfil de roca competente | $\bar{v}_s \geq 1500$ m/s |
| B | Perfil de roca de rigidez media | 1500 m/s > $\bar{v}_s \geq 760$ m/s |
| C | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | 760 m/s> $\bar{v}_s \geq 360$ m/s |
| | perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios | $\bar{N} \geq 50$, o<br>$\bar{s}_u \geq 100$ 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 > $\bar{v}_s \geq 180$ m/s |
| | perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones | 50 > $\bar{N} \geq 15$, o<br>100 kPa (≈1 kgf/cm²) > $\bar{s}_u \geq 50$ kPa (≈0.5 kgf/cm²) |
| E | Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | 180 m/s > $\bar{v}_s$ |
| | perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas | IP > 20<br>w ≥ 40%<br>50 kPa (≈0.50 kgf/cm²) > $\bar{s}_u$ |
| F | Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases:<br>$F_1$ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.<br>$F_2$ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).<br>$F_3$ — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)<br>$F_4$ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m) | |

Se tiene para el terreno en cuestión, un **perfil de suelo E.**

### 4.3 Parámetros sísmicos locales

Para el municipio de Arauca – departamento de Arauca (código de municipio **81001**), (2) precisa una **zona de Amenaza sísmica Intermedia**, y valores **Aa = 0.15**, **Av = 0.15**, **Ae = 0.10**, **Ad = 0.04**.

**Tabla 27. Valores sísmicos locales para el municipio de Arauca, Arauca. Fuente: (2) Apéndice A-4**

| Municipio | Código Municipio | $A_a$ | $A_v$ | Zona de Amenaza Sísmica | $A_e$ | $A_d$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Arauca | 81001 | 0.15 | 0.15 | Intermedia | 0.10 | 0.04 |
| Arauquita | 81065 | 0.20 | 0.15 | Intermedia | 0.07 | 0.03 |
| Cravo Norte | 81220 | 0.05 | 0.05 | Baja | 0.03 | 0.02 |
| Fortul | 81300 | 0.30 | 0.20 | Alta | 0.32 | 0.12 |
| Puerto Rondón | 81591 | 0.15 | 0.15 | Intermedia | 0.14 | 0.05 |
| Saravena | 81736 | 0.30 | 0.25 | Alta | 0.21 | 0.08 |
| Tame | 81794 | 0.25 | 0.20 | Alta | 0.31 | 0.10 |

### 4.3.1 Factores sísmicos de interacción suelo-sitio

Con base en:

**Tabla 28. Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro. Fuente: (2) Tabla A.2.4-3**

| 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 |

**Tabla 29. Valores del coeficiente Fv, para la zona de períodos intermedios del espectro. Fuente: (2) Tabla A.2.4-4**

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

Se obtiene: **Fa = 2.10** y **Fv = 3.35.**

### 4.4 Espectro de pseudo-aceleración sísmica

Con base en las ecuaciones de la figura siguiente se tiene:

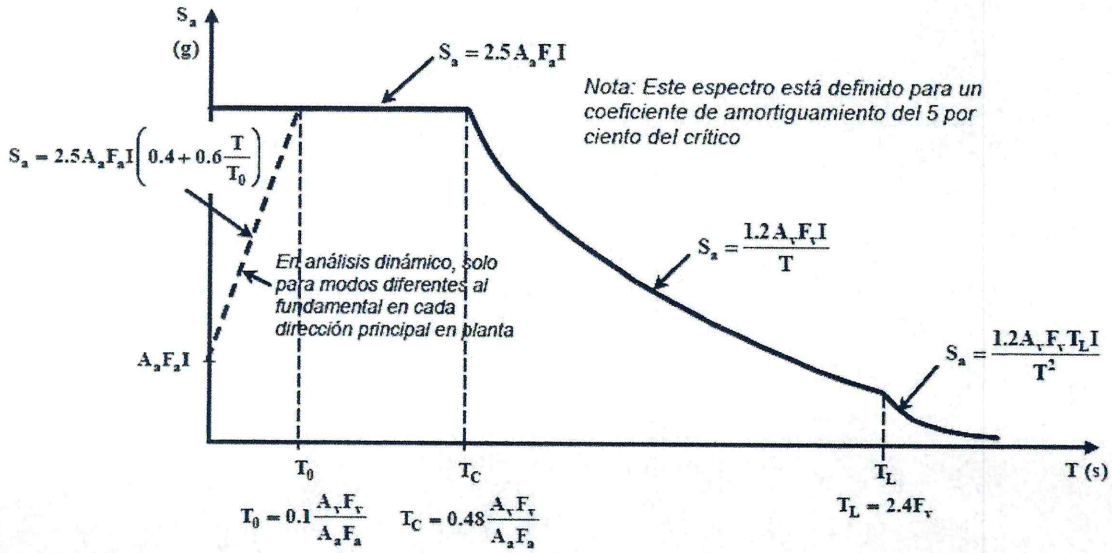



**Figura 15. Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g. Fuente: (2) Figura A.2.6-1**

**To = 0.16s**; **Tc = 0.77s** y **Tl = 8.04s.**

Para una estructura tipo kiosko, utilizada como salón de eventos, teniendo en cuenta que puede cumplir con el requisito del literal (a) de la sección A.2.5.1.3 de la NSR-10, se presenta un valor estimado de la aceleración espectral atribuyéndole la clasificación en el **grupo II** - Estructuras de ocupación especial, dado que es un espacio en el que pueden reunirse más de 200 personas en el mismo salón, agregando que pertenece a un edificio gubernamental (literal (f) de la misma sección), por lo que se toma el coeficiente de importancia **I = 1.10**, de modo que, para un análisis estático de estructuras en el rango elástico se tiene con la demanda mínima de energía:

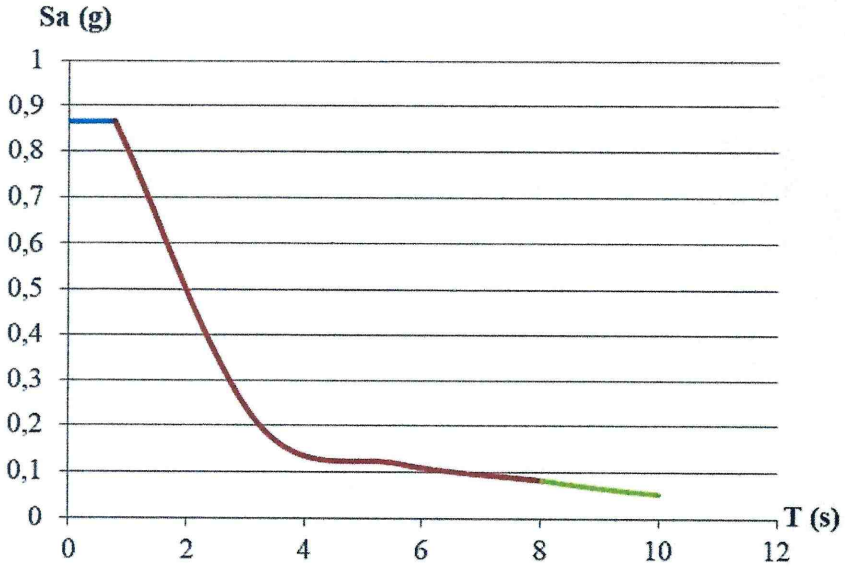



**Figura 16. Espectro de pseudo-aceleración de diseño. Fuente: Propia (2024)**

## 5. CAPACIDAD PORTANTE

### 5.1 Definición de la profundidad de cimentación o de emplazamiento

Dado que a la profundidad sondeada no afloró nivel freático, y que la demanda de resistencia de la estructura en el terreno es baja, se percibe de buenas propiedades geotécnicas para las cargas demandadas, se opta por una profundidad de cimentación **Df = 1.30m**, medidos a partir del terreno descapotado, teniendo en cuenta que el nivel acabado de las vigas de piso debe empalmar con la rasante para que el contrapiso quede sobre la misma evitando problemas de entrada de aguas lluvias.

#### 5.1.1 Sobrecarga o carga básica resistida por el suelo

Sin considerar parámetros de resistencia portante, sino solo el esfuerzo resistido por el suelo en sus condiciones normales, se tiene el diagrama de esfuerzos para el terreno en el

que la presión vertical de tierras varia proporcionalmente con la profundidad, y la presión intersticial permanece nula en la profundidad sondeada (evaluada en los apiques), los esfuerzos vertical y efectivo coinciden en este tramo vertical.

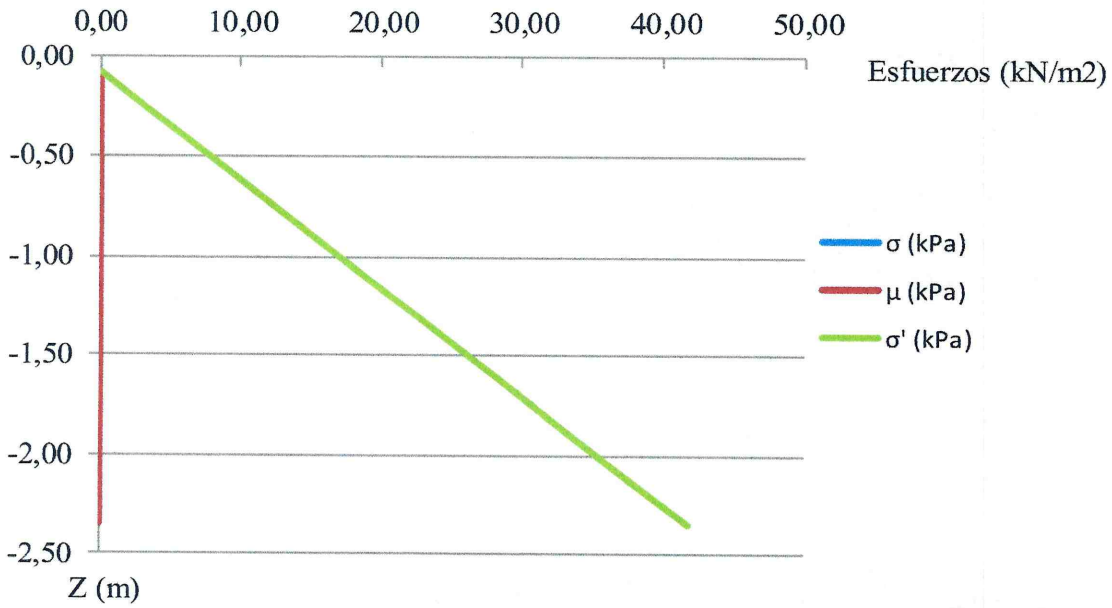



**Figura 17. Variación del esfuerzo vertical con respecto a la profundidad para el terreno. Fuente: Propia (2024)**

## 5.2 Formulación de la capacidad última del suelo

Con base en:

**Ecuación 16. Carga última del suelo. Fuente: Terzaghi (1986)**

$$q_o = c\,N_c + q\,N_q + \frac{\gamma B\,N_\gamma}{2}$$

Se tiene:

**Ecuación 17. Carga última del terreno en función de la profundidad de cimentación y de la base de la misma para cimientos rectangulares, para *0.08m < z < 0.50m*. Fuente: Propia (2024)**

$$q_u = 70{,}48 + 311{,}63D_f + 119{,}32B$$

**Ecuación 18. Carga última del terreno en función de la profundidad de cimentación y de la base de la misma para cimientos rectangulares, para *0.50m < z < 1.50m*. Fuente: Propia (2024)**

$$q_u = 78{,}74 + 356{,}74D_f + 144{,}75B$$