



El futuro  
es de todos

Agencia de  
Renovación  
del Territorio

FACTIBILIDAD  
MUNICIPIO DE  
TARAZA –  
CORREGIMIENTO DE  
GUAIMARO

CONSORCIO  
TERRITORIAL 2019



CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR SOBRE LA QUEBRADA  
URALES EN LA VÍA QUE CONDUCE DEL MUNICIPIO DE TARAZÁ A EL  
CORREGIMIENTO EL GUAIMARO, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.

VOLUMEN X – ESTUDIOS DE SUELOS PARA DISEÑO DE  
CIMENTACIONES PUENTE

Diciembre de 2019

|                                                                                                                                                        |                                                                                            |                  |                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA CIMENTACION</b><br><b>PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NIT No. 901.083.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                      | Fecha: Dic. 2019 |                                                                                                                                                              |



## DESTINATARIOS

| DESTINATARIO                               | COPIA DIGITAL | COPIA IMPRESA |
|--------------------------------------------|---------------|---------------|
| AGENCIA DE RENOVACIÓN DEL TERRITORIO (ART) | 01            | 01            |
|                                            |               |               |

## EJECUCIÓN, REVISIÓN Y APROBACIÓN



| VERSIÓN | MODIFICACIÓN | FECHA |
|---------|--------------|-------|
| 01      |              |       |
|         |              |       |
|         |              |       |

|                                                                        |                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                     |              |              |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|
| <b>TÍTULO DEL DOCUMENTO:</b>                                           | ESTUDIOS DE SUELOS CIMENTACION DE ESTRUCTURAS - CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR SOBRE LA QUEBRADA URALES EN LA VÍA QUE CONDUCE DEL MUNICIPIO DE TARAZÁ A EL CORREGIMIENTO EL GUAIMARO, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA. |                                                                                     |              |              |
| <b>DOCUMENTO No.:</b>                                                  | 305790302646                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     |              |              |
| <b>RESPONSABLES DE LA ELABORACIÓN</b>                                  | <b>Nombres:</b>                                                                                                                                                                                                    | Ing. Civil<br>JUAN CARLOS LEÓN                                                      |              |              |
|                                                                        | <b>Firma:</b>                                                                                                                                                                                                      |  |              |              |
|                                                                        | <b>Matrícula Profesional:</b>                                                                                                                                                                                      | 13202-142865 ATL                                                                    |              |              |
|                                                                        | <b>Fecha:</b>                                                                                                                                                                                                      |                                                                                     |              |              |
| <b>RESPONSABLE POR REVISIÓN, APROBACIÓN Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD</b> | <b>Nombres:</b>                                                                                                                                                                                                    | Ing. Civil<br>JOSÉ LARA                                                             |              |              |
|                                                                        | <b>Firma:</b>                                                                                                                                                                                                      |  |              |              |
|                                                                        | <b>Matrícula Profesional:</b>                                                                                                                                                                                      | 13202-19729BLV                                                                      |              |              |
|                                                                        | <b>Fecha:</b>                                                                                                                                                                                                      |                                                                                     |              |              |
| <b>APROBACIÓN CLIENTE</b>                                              | <b>Fecha</b>                                                                                                                                                                                                       | <b>Nombre</b>                                                                       | <b>Cargo</b> | <b>Firma</b> |
|                                                                        |                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                     |              |              |

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION<br>PROYECTO TARAZÁ –<br>CORREGIMIENTO EL GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>WT. No. 901.283.823-8</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic. 2019 |                                                                                                                                                               |



## TABLA DE CONTENIDO

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN .....                                        | 13        |
| 2. ALCANCE Y OBJETIVOS .....                                 | 14        |
| 2.1. ALCANCE .....                                           | 14        |
| 2.2. OBJETIVO GENERAL .....                                  | 14        |
| 2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                              | 14        |
| 3. CARACTERÍSTICAS DEL SITIO Y DEL PROYECTO .....            | 15        |
| 3.1. GENERALIDADES .....                                     | 15        |
| 3.2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO .....                         | 17        |
| 3.2.1. UBICACIÓN DE LA VÍA RESPECTO A VÍAS PRINCIPALES ..... | 18        |
| <b>3.2.2. SECTORIZACIÓN DE LA VÍA A INTERVENIR.....</b>      | <b>19</b> |
| 3.3. OBRAS PROYECTADAS .....                                 | 19        |
| 4. METODOLOGÍA O PLAN DE TRABAJO .....                       | 20        |
| <b>4.1. FUENTES DE INFORMACIÓN .....</b>                     | <b>20</b> |
| <b>4.2. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....</b>            | <b>20</b> |
| 5. ESTUDIO GEOLÓGICO.....                                    | 21        |
| 5.1. GEOLOGÍA.....                                           | 21        |
| 5.1.1. LITOGRAFIA DEL MUNICIPIO.....                         | 21        |
| 5.2. ESTRATIGRAFÍA LOCAL.....                                | 23        |
| 5.2.1. POBLACIÓN Y VÍAS DE ACCESO.....                       | 25        |
| 5.3. GEOMORFOLOGÍA.....                                      | 25        |
| 5.3.1. RELIEVE .....                                         | 25        |
| 5.3.2. DRENAJE .....                                         | 25        |
| 5.3.2.1. SUBCUENCA DE LOS RÍOS TARAZÁ - RAYO ARAZÁ - RAYO..  | 26        |
| 5.3.2.2. SUBCUENCA DEL RÍO 4.2.2. SUBCUENCA DEL RÍO4.2.2.    | 27        |
| SUBCUENCA DEL RÍO MAN.....                                   | 27        |
| 5.3.2.3. SUBCUENCA DE LAS 4.2.3. SUBCUENCA DE LAS4.2.3.      | 27        |
| SUBCUENCA DE LAS QUEBRADAS NOÁ - CACHÚA QUEBRADAS NOÁ -      | 27        |
| CACHÚAQUEBRADAS NOÁ – CACHÚA .....                           | 27        |
| 5.3.3. EROSION.....                                          | 29        |
| 5.3.3.1. TRANSPORTE .....                                    | 29        |

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION<br>PROYECTO TARAZÁ –<br>CORREGIMIENTO EL GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>WT. No. 901.383.823-6</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic. 2019 |                                                                                                                                                               |

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.3.3.2. INFLUENCIA HUMANA .....                                       | 29        |
| 5.4. ESTRATIGRAFÍA .....                                               | 30        |
| 5.4.1. ROCAS METAMÓRFICAS Y FICAS Y METAMORFISMO .....                 | 30        |
| 5.4.1.1. CARACTERÍSTICAS FOTOGEOLÓGICAS DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS..... | 31        |
| 5.4.2. ROCAS ÍGNEAS .....                                              | 33        |
| 5.4.2.1. CARACTERÍSTICAS FOTOGEOLÓGICAS .....                          | 33        |
| 5.4.2.2. COMPLEJO DE URÉ .....                                         | 33        |
| 5.4.3. ROCAS SEDIMENTARIAS .....                                       | 35        |
| 5.5. GEOLOGÍA ECONÓMICA.....                                           | 37        |
| 5.5.1. ORO .....                                                       | 37        |
| 5.5.2. CARBÓN.....                                                     | 38        |
| 5.5.3. NÍQUEL.....                                                     | 38        |
| 5.5.4. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN .....                                | 39        |
| 5.6. SUELOS .....                                                      | 39        |
| 5.7. PRECIPITACIÓN.....                                                | 39        |
| 6. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO.....                                     | 41        |
| 6.1. EXPLORACIÓN DE CAMPO.....                                         | 41        |
| 6.1.1. PROFUNDIDAD DE SONDEOS PARA LA EXPLORACIÓN DE CAMPO .....       | 41        |
| 6.1.2. PUENTE L=35 METROS (K14+590).....                               | 43        |
| 6.2. ENSAYOS DE LABORATORIO.....                                       | 44        |
| 6.3. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS Y CARACTERÍSTICAS GEOTECNIAS .           | 44        |
| 6.3.1. PUENTE L=35 METROS (K14+590).....                               | 44        |
| 6.3.2. RESUMEN DE SONDEOS .....                                        | 48        |
| 6.3.2.1. Sondeo No. 1.....                                             | 48        |
| 6.3.2.2. Sondeo No. 2.....                                             | 48        |
| 6.3.3. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS.....                                | 48        |
| <b>6.3.3.1. ARENAS LIMOSAS BIEN GRADAS .....</b>                       | <b>48</b> |
| <b>6.3.3.2. ARENAS LIMOSAS .....</b>                                   | <b>48</b> |
| <b>6.3.3.3. GRAVAS MAL GRADUADAS CON ARENA.....</b>                    | <b>49</b> |
| 6.4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO SPT           | 49        |
| 6.4.1. GENERALIDADES DEL ENSAYO SPT .....                              | 49        |

|                                                                                                       |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.4.2. CORRELACIONES DEL ENSAYO SPT .....                                                             | 51        |
| 6.4.2.1. CORRELACIONES ENTRE EL NÚMERO DE GOLPES "N" Y EL MÓDULO ELÁSTICO DE YOUNG .....              | 51        |
| 6.4.2.2.....                                                                                          | 53        |
| 6.4.2.3. CORRELACIONES ENTRE EL NÚMERO DE GOLPES "N" Y LA RESISTENCIA NO DRENADA DE LOS SUELOS .....  | 53        |
| 6.4.2.4. CORRELACIONES ENTRE EL NÚMERO DE GOLPES "N" Y EL PESO ESPECÍFICO SATURADO DE LOS SUELOS..... | 54        |
| 6.4.3. RESULTADOS DEL ENSAYO SPT .....                                                                | 54        |
| 6.4.3.1. PUENTE L=35 METROS (K14+590) .....                                                           | 55        |
| 6.4.3.1.1. NÚMERO DE GOLPES DEL ENSAYO SPT.....                                                       | 55        |
| 6.4.3.1.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD .....                                                                | 57        |
| 6.4.3.1.3. ÁNGULO DE FRICCIÓN.....                                                                    | 58        |
| 6.4.3.1.4. DENSIDAD RELATIVA .....                                                                    | 60        |
| 6.5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO .....                                    | 62        |
| 6.5.1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS .....                                                                  | 62        |
| <b>6.5.1.1. EXPLORACION PARA PUENTE L=35 METROS (K14+590) .....</b>                                   | <b>62</b> |
| 7. FUERZAS SÍSMICAS .....                                                                             | 65        |
| 7.1. MOVIMIENTOS SÍSMICOS DE DISEÑO .....                                                             | 65        |
| 7.2. ESTIMACIÓN DEL PERFIL DE SUELO EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE.....                  | 66        |
| 8. ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES .....                                           | 72        |
| 8.1. CARGAS POR SOPORTAR.....                                                                         | 72        |
| <b>9. ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE CIMENTACIONES PROFUNDAS .....</b>                                        | <b>73</b> |
| 9.1. CRITERIOS DE DISEÑO.....                                                                         | 73        |
| 9.1.1. ESTADO LÍMITE DE RESISTENCIA .....                                                             | 73        |
| 9.1.2. ESTADO LÍMITE DE SERVICIO .....                                                                | 73        |
| 9.1.3. ESTADO LÍMITE DE EVENTOS EXTREMOS .....                                                        | 73        |
| 9.2. METODOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA CARGA AXIAL DE UN PILOTE.....        | 73        |
| 9.2.1. RESISTENCIA POR PUNTA DE SUELOS GRANULARES .....                                               | 76        |
| 9.2.2. RESISTENCIA POR PUNTA DE SUELOS COHESIVOS DRENADOS .....                                       | 78        |



|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION<br>PROYECTO TARAZÁ –<br>CORREGIMIENTO EL GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>WT. No. 901.383.823-6</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic. 2019 |                                                                                                                                                               |

|                                                                                                           |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 9.2.3. RESISTENCIA POR PUNTA DE SUELOS COHESIVOS NO DRENADOS.....                                         | 78         |
| 9.2.4. RESISTENCIA POR FRICCIÓN DE SUELOS GRANULARES .....                                                | 78         |
| 9.2.5. RESISTENCIA POR FRICCIÓN DE SUELOS COHESIVOS DRENADOS .....                                        | 79         |
| 9.2.6. RESISTENCIA POR FRICCIÓN DE SUELOS COHESIVOS NO DRENADOS.....                                      | 80         |
| 9.2.7. COMENTARIO ACERCA DE LA RESISTENCIA POR FRICCIÓN .....                                             | 80         |
| 9.3. METODOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA CARGA AXIAL DE UN GRUPO DE PILOTES ..... | 81         |
| 9.3.1. RESISTENCIA DEL GRUPO DE PILOTES EN SUELOS COHESIVOS .....                                         | 81         |
| 9.3.2. RESISTENCIA DEL GRUPO DE PILOTES EN SUELOS GRANULARES .....                                        | 82         |
| 9.4. METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL CÁLCULO DE LOS ASENTAMIENTOS DE UN PILOTE.....                            | 83         |
| 9.5. DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN PARA EL PUENTE L = 35 METROS (K14+590).....                                 | 84         |
| 9.5.1. CARGAS POR SOPORTAR .....                                                                          | 84         |
| 9.5.2. PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE DISEÑO.....                                                               | 85         |
| 9.5.3. CARACTERIZACIÓN ESTRATIGRÁFICA.....                                                                | 87         |
| 9.5.4. TIPO DE CIMENTACIÓN.....                                                                           | 92         |
| 9.5.5. RESULTADOS DE ESTUDIO DE HIDRÁULICA Y SOCAVACIÓN .....                                             | 92         |
| 9.5.6. CONDICIONES EVALUADAS.....                                                                         | 92         |
| 9.5.7. CAPACIDAD DE CARGA AXIAL.....                                                                      | 93         |
| 9.5.7.1. GENERALIDADES .....                                                                              | 93         |
| 9.5.7.2. ESTADO LÍMITE DE RESISTENCIA DE PILOTE INDIVIDUAL ....                                           | 93         |
| 9.5.7.2.1. MEMORIAS DE CÁLCULO.....                                                                       | 94         |
| 9.5.7.2.1.1. CASO 1.....                                                                                  | 94         |
| <b>9.5.7.2. ESTADO LÍMITE DE RESISTENCIA CONSIDERANDO EFECTOS DE GRUPO.....</b>                           | <b>98</b>  |
| <b>9.5.7.3. ESTADO LÍMITE DE SERVICIO .....</b>                                                           | <b>100</b> |
| <b>9.5.7.2.1. MEMORIAS DE CÁLCULO .....</b>                                                               | <b>101</b> |
| <b>9.5.7.1. MÓDULO DE REACCIÓN VERTICAL DEL SUELO .....</b>                                               | <b>102</b> |
| <b>9.5.8. CAPACIDAD DE CARGA LATERAL .....</b>                                                            | <b>102</b> |

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION<br>PROYECTO TARAZÁ –<br>CORREGIMIENTO EL GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>WT. No. 901.383.823-8</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic. 2019 |                                                                                                                                                               |

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>9.5.7.4. MÓDULO DE REACCIÓN HORIZONTAL DE PILOTE INDIVIDUAL</b> .....                   | 102 |
| <b>10. ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE OBRAS COMPLEMENTARIAS</b> .....                              | 105 |
| 10.1. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE RELLENOS .....                                      | 105 |
| 10.2. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE PRESIONES LATERALES PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL..... | 105 |
| 10.3. TERRAPLENES Y MUROS DE CONTENCIÓN.....                                               | 107 |
| 10.3.1. PUENTE L = 35 METROS (K14+590).....                                                | 107 |
| 10.3.1.1. UBICACIÓN Y GEOMETRÍA DE LA SOLUCIÓN PLANTEADA                                   | 107 |
| 10.3.1.2. SECCIONES DE ANÁLISIS.....                                                       | 109 |
| 10.3.1.3. PROFUNDIDAD DE DESPLANTE .....                                                   | 113 |
| 10.3.1.4. CONDICIONES EVALUADAS .....                                                      | 113 |
| 10.3.1.5. SOBRECARGA VEHICULAR .....                                                       | 113 |
| 10.3.1.6. FACTORES DE SEGURIDAD EN EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD LOCAL.....                   | 114 |
| 10.3.1.7. METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD LOCAL.....                    | 115 |
| 10.3.1.8. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD LOCAL – DE LA ALETA .....                                | 116 |
| 10.3.1.8.1. CAPACIDAD PORTANTE.....                                                        | 117 |
| 10.3.1.8.2. VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE .....                                       | 118 |
| 10.3.1.8.3. VERIFICACIÓN DE EQUILIBRIO CON CONDICIÓN DE CARGA PERMANENTE .....             | 121 |
| 10.3.1.8.4. VERIFICACIÓN DE EQUILIBRIO CON CONDICIÓN DE CARGA SÍSMICA.....                 | 122 |
| 10.3.1.9. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD LOCAL – ESTRIBO 1 ALETA DERECHA, SECCIÓN E1.DER-S2 ..... | 122 |
| 10.3.1.9.1. CAPACIDAD PORTANTE.....                                                        | 123 |
| 10.3.1.9.2. VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE .....                                       | 125 |
| 10.3.1.9.3. VERIFICACIÓN DE EQUILIBRIO CON CONDICIÓN DE CARGA PERMANENTE .....             | 127 |
| 10.3.1.9.4. VERIFICACIÓN DE EQUILIBRIO CON CONDICIÓN DE CARGA SÍSMICA.....                 | 128 |
| <b>10.4. UTILIZACIÓN CARTILLA DE DISEÑO DEL INVIAS</b> .....                               | 130 |
| 10.5. ESTABILIDAD Y PROTECCION DE TERRAPLENES .....                                        | 131 |
| <b>11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....                                            | 134 |



|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION<br>PROYECTO TARAZÁ –<br>CORREGIMIENTO EL GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>WT. No. 901.283.823-6</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic. 2019 |                                                                                                                                                               |

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>12. ANEXOS</b> .....                                          | 137 |
| 12.1. MEMORIAS .....                                             | 137 |
| 12.2. PLANOS .....                                               | 137 |
| <b>13. ANEXOS</b> .....                                          | 138 |
| 13.1. RESUMEN DE CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SONDEOS ..... | 138 |
| 13.1.1. PUENTE L=35 METROS (K14+590).....                        | 138 |

## LISTA DE FIGURAS



|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3.1. Quebrada Urales.....                                                              | 15 |
| Figura 3.2. Identificación de la zona de la intervención.....                                 | 16 |
| Figura 3.3. Quebrada Urales.....                                                              | 16 |
| Figura 3.4. Localización del Proyecto.....                                                    | 17 |
| Figura 3.5. Corregimiento El Guáimaro y la cabecera municipal.....                            | 18 |
| Figura 3.6. Identificación de la Red Vial Cercana al Proyecto, RUTA 25, TARAZÁ-CAUCASIA.....  | 18 |
| Figura 3.7. Sectorización de la Intervención Vial.....                                        | 19 |
| Figura 8. Mapa Geológico del Municipio de Tarazá. ....                                        | 24 |
| Figura 5.9. Localización de La Plancha 93-Caceres. ....                                       | 26 |
| Figura 5.10. Localización de La Plancha 93-Caceres. ....                                      | 28 |
| Figura 5.11. Geología del sector donde se desarrollará el proyecto .....                      | 30 |
| Figura 5.12. Probabilidad Diaria de Precipitación.....                                        | 40 |
| Figura 5.13. Precipitación de Lluvia Mensual Promedio.....                                    | 40 |
| Figura 6.1 Esquematización de equipo de perforación tipo SPT.....                             | 50 |
| Figura 6.2 Número de golpes del ensayo SPT - Sondeo 1 para PUENTE L=35 METROS (K14+582) ..... | 55 |
| Figura 6.3 Número de golpes del ensayo SPT - Sondeo 2 para PUENTE L=35 METROS (K14+635) ..... | 56 |
| Figura 6.4 módulo de elasticidad - sondeo 1 para PUENTE L=35 METROS (K14+582) .....           | 57 |
| Figura 6.5 ángulo de fricción - sondeo 1 para PUENTE L=35 METROS (K14+582) .....              | 58 |
| Figura 6.6 ángulo de fricción - sondeo 2 para PUENTE L=35 METROS (K14+635) .....              | 59 |
| Figura 6.7 Densidad relativa - Sondeo 1 para PUENTE L=35 METROS (K14+582) .....               | 60 |
| Figura 6.8 Densidad relativa - Sondeo 2 para PUENTE L=35 METROS (K14+635) .....               | 61 |
| Figura 7.1 Ubicación de zona sísmica.....                                                     | 65 |



|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION<br>PROYECTO TARAZÁ –<br>CORREGIMIENTO EL GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>WT. No. 901.383.823-8</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic. 2019 |                                                                                                                                                               |

|                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 7.2 Velocidad Promedio de Onda Cortante según Profundidad y Perfil de suelos -sondeo 1.....                                                                            | 68  |
| Figura 7.3 Velocidad Promedio de Onda Cortante según Profundidad y Perfil de suelos -sondeo 2.....                                                                            | 68  |
| Figura 7.4 Clasificación de los Perfiles de Suelos según el número promedio N obtenido en en ensayo SPT y la Velocidad Promedio de Onda Cortante (Tabla A.2.4-1 NSR-10). .... | 69  |
| Figura 7.5 Efectos locales de la Respuesta Sismica en el lugar del Proyecto. ....                                                                                             | 70  |
| Figura 7.6. Coeficiente de amplificación Fa del suelo para zonas de periodos cortos del espectro (Figura A.2.4-1, NSR-10) .....                                               | 71  |
| Figura 7.7. Coeficiente de amplificación Fv del suelo para zonas de periodos intermedios del espectro (Figura A.2.4-2, NSR-10).....                                           | 71  |
| Figura 8.1. Vehículo tipo de diseño.....                                                                                                                                      | 72  |
| Figura 8-2 Zonas que no se consideran al calcular la resistencia por fricción .....                                                                                           | 81  |
| Figura 8-3 Perfil estratigráfico de diseño para puente L = 35 metros (K14+590) ..                                                                                             | 86  |
| Figura 8-4 Distribución de pilotes en grupo - puente L = 35 metros (K14+590) ...                                                                                              | 98  |
| Figura 8-5 Módulo de Reacción horizontal kh, D = 1.3 metros - puente (K14+590) .....                                                                                          | 104 |
| Figura 10-1 Topografía en la zona y ubicación en planta de muros de contención - puente .....                                                                                 | 107 |
| Figura 10-2 Geometría del muro tipo I .....                                                                                                                                   | 108 |
| Figura 10-3 Sección E1.IZQ-S1 (sección más alta) .....                                                                                                                        | 109 |
| Figura 10-4 Sección E1.IZQ-S2 (sección más baja) .....                                                                                                                        | 110 |
| Figura 10-5 Sección E1.DER-S1 (sección más alta).....                                                                                                                         | 110 |
| Figura 10-6 Sección E1.DER-S2 (sección más baja).....                                                                                                                         | 111 |
| Figura 10-7 Sección E2.IZQ-S1 (sección más alta) .....                                                                                                                        | 111 |
| Figura 10-8 Sección E2.IZQ-S2 (sección más baja) .....                                                                                                                        | 112 |
| Figura 10-9 Sección E2.DER-S1 (sección más alta).....                                                                                                                         | 112 |
| Figura 10-10 Sección E2.DER-S2 (sección más baja).....                                                                                                                        | 113 |
| Figura 10-11 Modelo geotécnico evaluado para el análisis de estabilidad local .                                                                                               | 116 |
| <i>Fuente: Elaboración propia en GEO5</i> Figura 10-12 Vista 3D del modelo geotécnico evaluado para el análisis de estabilidad local .....                                    | 116 |
| Figura 10-13 Reemplazo por concreto ciclópeo en el cálculo de capacidad portante .....                                                                                        | 117 |
| Figura 10-14 Capacidad portante última, condición de carga permanente .....                                                                                                   | 118 |
| Figura 10-15 Capacidad portante última, condición de carga sísmica .....                                                                                                      | 118 |
| Figura 10-16 Verificación de la capacidad portante última y excentricidad máxima. Condición de carga permanente .....                                                         | 119 |
| Figura 10-17 Verificación de la capacidad portante última y excentricidad máxima. Condición de carga permanente .....                                                         | 119 |
| Figura 10-18 Verificación de la capacidad portante última y excentricidad máxima. Condición de carga sísmica .....                                                            | 120 |
| Figura 10-19 Verificación de la capacidad portante última y excentricidad máxima. Condición de carga sísmica .....                                                            | 120 |


|                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 10-20 Verificación de la estabilidad del muro. Condición de carga permanente .....                             | 121 |
| Figura 10-21 Verificación de la estabilidad del muro. Condición de carga permanente .....                             | 121 |
| Figura 10-22 Verificación de la estabilidad del muro. Condición de carga sísmica .....                                | 122 |
| Figura 10-23 Modelo geotécnico evaluado para el análisis de estabilidad local .                                       | 123 |
| Figura 10-24 Vista 3D del modelo geotécnico evaluado para el análisis de estabilidad local.....                       | 123 |
| Figura 10-25 Profundidad de desplante en el cálculo de capacidad portante .....                                       | 124 |
| Figura 10-26 Capacidad portante última, condición de carga permanente .....                                           | 124 |
| Figura 10-27 Capacidad portante última, condición de carga sísmica .....                                              | 125 |
| Figura 10-28 Verificación de la capacidad portante última y excentricidad máxima. Condición de carga permanente ..... | 126 |
| Figura 10-29 Verificación de la capacidad portante última y excentricidad máxima. Condición de carga permanente ..... | 126 |
| Figura 10-30 Verificación de la capacidad portante última y excentricidad máxima. Condición de carga sísmica .....    | 127 |
| Figura 10-31 Verificación de la estabilidad del muro. Condición de carga permanente .....                             | 128 |
| Figura 10-32 Verificación de la estabilidad del muro. Condición de carga sísmica .....                                | 129 |

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION<br>PROYECTO TARAZÁ –<br>CORREGIMIENTO EL GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>WT. No. 901.283.823-6</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic. 2019 |                                                                                                                                                               |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Coordenadas geográficas tramo a intervenir.....                                                                                                         | 19 |
| Tabla 2 Guía para definir el número mínimo de perforaciones (Tabla 3.9, INVIAS, 2012) .....                                                                      | 41 |
| Tabla 3 Numero de sondeos y profundidad mínima establecida (Tabla 10.4.2-1 NCDP).....                                                                            | 42 |
| Tabla 4 Ubicación de perforaciones del sondeo 1 para el puente de 35m (K14+590) .....                                                                            | 43 |
| Tabla 5 Ubicación de perforaciones del sondeo 2 para el puente de 35m (K14+590) .....                                                                            | 43 |
| Tabla 6 Normatividad de ensayos ejecutados.....                                                                                                                  | 44 |
| Tabla 7 Localización de sondeos .....                                                                                                                            | 44 |
| Tabla 8 Informe sondeo 1 para para el puente de 35m (K14+582) – Taraza (Antioquia).....                                                                          | 46 |
| Tabla 9 Informe sondeo 2 para para el puente de 35m (K14+635)- Taraza (Antioquia).....                                                                           | 47 |
| Tabla 10 Correlación entre el número de golpes del SPT corregido $(N_1)_{60}$ con la densidad Relativa $D_r$ (%).....                                            | 49 |
| Tabla 11. Constantes $C_1$ y $C_2$ para el cálculo del módulo de elasticidad de las arenas en función del número de golpes $N_{60}$ según Menzenbach (1961)..... | 51 |
| Tabla 12 Correlación entre el número de golpes $(N_1)_{60}$ y el módulo elástico de Young del suelo según AASHTO (1996) .....                                    | 52 |
| Tabla 13 Correlación entre el número de golpes $N_{60}$ y el módulo elástico de Young del suelo según Tan et al. (1991) .....                                    | 52 |
| Tabla 14 Correlación entre el número de golpes $N$ y el peso específico saturado del suelo según Kulhawy and Mayne (1990) .....                                  | 54 |
| Tabla 15 Arena bien graduada con limo con grava de color pardo y rojizo (SW-SM) para puente $L=35$ metros (K14+582) – Estrato característico   .....             | 62 |
| Tabla 16 Arena limosa de color pardo y rojizo (SM). para puente $L=35$ metros (K14+590) Estrato característico 2.....                                            | 63 |
| Tabla 17 Grava mal graduada arena de color pardo claro (GP). Para puente $L=35$ metros (K14+590) Estrato característico 3.....                                   | 64 |
| Tabla 18. Definición de la Zona de Amenaza Sísmica de los Municipios Colombianos. ....                                                                           | 66 |
| Tabla 19. Correlaciones para determinar el perfil de suelos en función del número de golpes $N$ obtenidos en el ensayo SPT. ....                                 | 67 |
| Tabla 20. Criterios para clasificar suelos dentro de los perfiles de suelo tipos C, D o E (Tabla A.2.4-2 NSR-10). ....                                           | 67 |
| Tabla 21 Valores recomendados para el factor de capacidad de carga $N_q$ .....                                                                                   | 77 |
| Tabla 22 Factor de eficiencia $\eta$ para grupos de pilotes en arenas. Tomado de la Tabla 10.8.3.6.3-1 de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes.....          | 83 |
| Tabla 23 Cargas estimadas por apoyo, puente $L = 35$ metros (K14+590) .....                                                                                      | 85 |

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 24 Consistencia de suelos cohesivos en relación al número N del ensayo SPT .....                                                | 87  |
| Tabla 25 Compacidad de suelos granulares en relación con el número N del ensayo SPT .....                                             | 87  |
| Tabla 26 Datos de sondeo 1 y sondeo consolidados .....                                                                                | 89  |
| Tabla 27 Deducción de parámetros geotécnicos para modelación E, ángulo de fricción interna .....                                      | 90  |
| Tabla 28 deducción de datos geotécnicos para modelación Compacidad relativa dilatancia y Poisson.....                                 | 91  |
| Tabla 29 Parámetros geomecánicas del perfil estratigráfico para el análisis a corto plazo para puente (K14+590).....                  | 92  |
| Tabla 30 Profundidad de socavación máxima en los apoyos del puente (K14+590) .....                                                    | 92  |
| Tabla 31 Condiciones evaluadas en el diseño de cimentación del Puente (K14+590) .....                                                 | 92  |
| Tabla 32 Asentamientos máximos estimados - puente .....                                                                               | 100 |
| Tabla 33 Valores de referencia de $nh$ [ton/pie <sup>3</sup> ] para suelos granulares.....                                            | 103 |
| Tabla 34 Valores de referencia de $nh$ para suelos granulares.....                                                                    | 103 |
| Tabla 35 Valores de referencia de $nh$ para suelos cohesivos.....                                                                     | 103 |
| Tabla 36 Módulo de Reacción horizontal $k_h$ , D = 1.3 metros – puente (K14+590) .....                                                | 104 |
| Tabla 37 Muros de contención en concreto reforzado - puente L = 35 metros (K14+590) .....                                             | 108 |
| Tabla 38 Factores de Seguridad Indirectos mínimos en el análisis de estabilidad por deslizamiento y volcamiento según la NSR-10 ..... | 114 |
| Tabla 39 Factores de Seguridad Indirectos mínimos en el análisis de estabilidad por capacidad portante según la NSR-10.....           | 114 |
| Tabla 40 Factores de Seguridad Indirectos mínimos adoptados en el presente estudio.....                                               | 115 |
| Tabla 41 Parámetros geotécnico Cartilla Invias vs Estudio de campo .....                                                              | 130 |
| Tabla 42 Caracterización Geotécnica sondeo para PUENTE L=35 METROS (K14+590) .....                                                    | 138 |

|                                                                                   |                                                                                    |                  |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION<br>PROYECTO TARAZÁ –<br>CORREGIMIENTO EL GUAIMARO |                  |  |
|                                                                                   | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic. 2019 |                                                                                     |

## 1. INTRODUCCIÓN

El Gobierno Nacional tiene como propósito fundamental trabajar por la paz con base en los principios de legalidad y emprendimiento en aras de obtener estándares de equidad para toda la población nacional. Este ejercicio permitirá superar progresivamente las disparidades y desigualdades existentes, especialmente en los territorios rurales, víctimas del conflicto armado, creando espacios que permitan mejorar la calidad de vida de las personas y generando condiciones de desarrollo económico a través de una agenda de estabilización de territorios en posconflicto.

Es así como se trabaja por fortalecer la presencia del Estado en aquellas regiones donde diversas circunstancias históricas han sido generadoras de violencia y han deteriorado las condiciones de seguridad y de progreso. En este sentido, la implementación de estrategias de intervención en las zonas mencionadas, por parte del Gobierno Nacional, debe estar enfocada en establecer las condiciones óptimas para el desarrollo social y económico sostenible, acelerando la inclusión productiva en las zonas rurales del país a través de la presencia institucional coordinada que permita superar la pobreza.

Con el fin de dar trámite a esta iniciativa, se generaron políticas públicas enfocadas a proteger los derechos humanos, haciendo énfasis en las zonas rurales del país, donde se evidencian las consecuencias del conflicto armado y, por tanto, se requieren procesos de reincorporación y sustitución.

En este contexto, se hace necesario entonces la formulación, implementación y seguimiento de las iniciativas identificadas en cada zona de interés. Para alcanzar este objetivo, se vincula la Agencia de Renovación del territorio (ART) en aras de dar cumplimiento al punto 1 del Acuerdo de Paz con las FARC donde se establece que se debe llevar a cabo una Reforma Rural Integral (RRI), razón por la que se crearon los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET) como herramientas que se utilizarán para atender de forma prioritaria a los territorios más afectados.

El presente documento muestra los estudios necesarios de geotecnia para el diseños de estructuras para el proyecto de construcción de puente vehicular sobre la quebrada Urales en la vía que conduce del municipio de Tarazá a el corregimiento El Guáimaro, departamento de Antioquia.

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION<br>PROYECTO TARAZÁ –<br>CORREGIMIENTO EL GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>WT: No. 901.383.823-6</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic. 2019 |                                                                                                                                                               |

## 2. ALCANCE Y OBJETIVOS

### 2.1. ALCANCE

El presente documento muestra los estudios de geotecnia necesario diseños de estructuras para el proyecto de construcción de puente vehicular sobre la quebrada Urales en la vía que conduce del municipio de Tarazá a el corregimiento El Guáimaro, departamento de Antioquia. Específicamente, la cimentación y contenciones para la construcción de un puente vehicular de 35 metros, para mejorar la intercomunicación terrestre en parte del territorio rural del municipio.

### 2.2. OBJETIVO GENERAL

Realizar los estudios correspondientes a los volúmenes de Estudio de Geotecnia para Estructuras, a nivel de Fase III – Factibilidad, para el proyecto de construcción de puente vehicular sobre la quebrada Urales en la vía que conduce del municipio de Tarazá a el corregimiento El Guaimaro, departamento de Antioquia.

### 2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A continuación, se presentan los objetivos específicos asociados a cada una de las áreas que componen el presente informe:

- Recopilación de información de estudios previos a nivel regional o nacional.
- Interpretar los diferentes ensayos de caracterización geomecánica realizados en el sector y presentar modelos técnicamente soportados.
- Producir recomendaciones en el ámbito de las cimentaciones, de tal manera que se garantice la estabilidad de la obra a construir.
- Verificar si se puede aplicar directamente el Cartilla Guía para Evaluación de Cantidades y Ejecución de Presupuesto.
- Analizar la estabilidad de muros y llenos para los aproches del puente



### 3. CARACTERÍSTICAS DEL SITIO Y DEL PROYECTO

#### 3.1. GENERALIDADES

El presente proyecto consiste en la construcción de puente vehicular sobre la quebrada Urales en la vía que conduce del municipio de Tarazá a el corregimiento El Guaimaro, departamento de Antioquia.

La vía en estudio tiene una longitud aproximada de 15 kilómetros; actualmente en la zona del proyecto con las siguientes coordenadas 7°34'5.73"N - 75°28'8.35"O, se encuentra el cruce de la quebrada Urales; en esta no se encuentra una obra transversal que comunique el corregimiento del Guaimaro con la cabecera municipal del municipio de Tarazá, dificultando la movilidad, aumentando los tiempos de viajes y haciendo efecto en el incremento de los costos en la economía de las familias.

Figura 3.1. Quebrada Urales.



*Fuente: Elaboración Propia.*



Figura 3.2. Identificación de la zona de la intervención.



*Fuente: Elaboracion propia.*

Figura 3.3. Quebrada Urales.



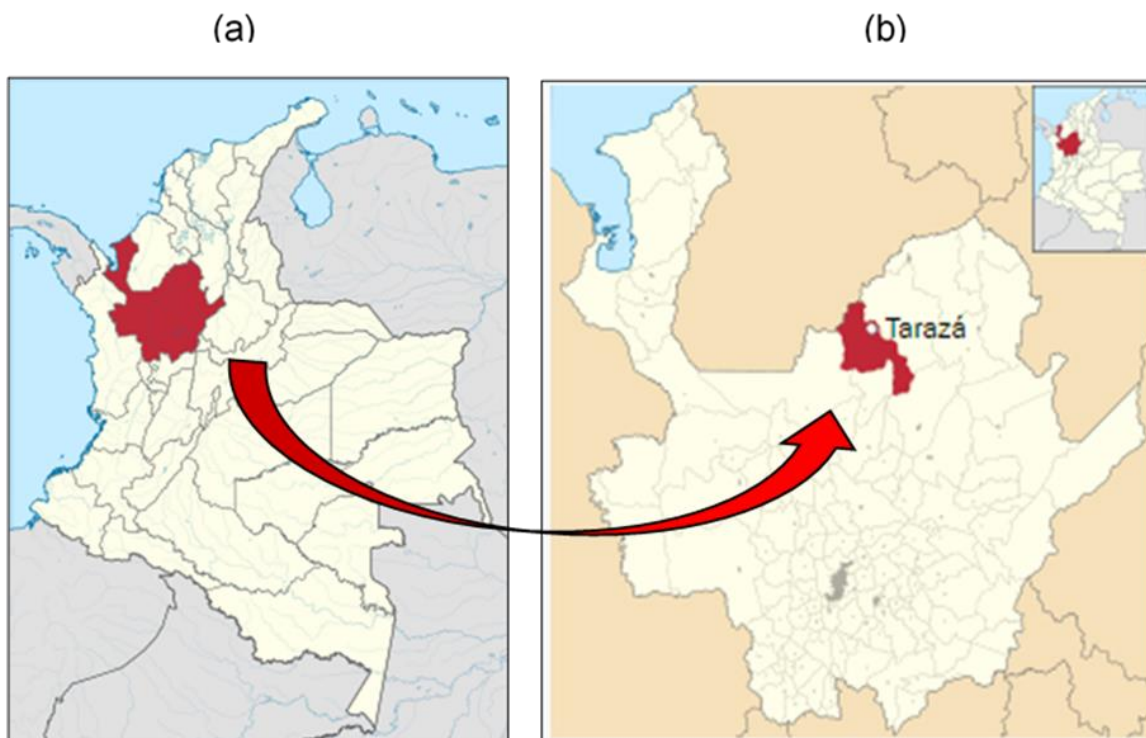
*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

Tarazá es un municipio de Colombia, localizado en la subregión del Bajo Cauca del departamento de Antioquia. Limita por el norte con el departamento de Córdoba y el municipio de Cáceres, por el este con el municipio de Cáceres, por el sur con los municipios de Valdivia e Ituango, y por el oeste con el departamento de Córdoba. Su cabecera dista 222 kilómetros de la ciudad de Medellín, capital de Antioquia. El municipio posee una extensión de 1560 kilómetros cuadrados de los cuales 1.2 kilómetros cuadrados corresponden a la cabecera urbana y 1558 kilómetros cuadrados corresponden al área rural. Su territorio está constituido por la cuenca del río Tarazá en cuyas partes altas se tienen sistemas montañosos de hasta 3000 msnm, especialmente en los límites con el departamento de Córdoba, que los define la Serranía de Ayapel y la cuchilla de planadas. El resto del territorio está conformado por las planicies aluviales bajas del río Cauca.

En la siguiente figura se observa la ubicación del departamento de Antioquia con respecto a Colombia, y a su vez, la ubicación del municipio de Tarazá con respecto a Antioquia; posteriormente, se observa la ubicación del corregimiento El Guaimaro con respecto a la cabecera municipal.

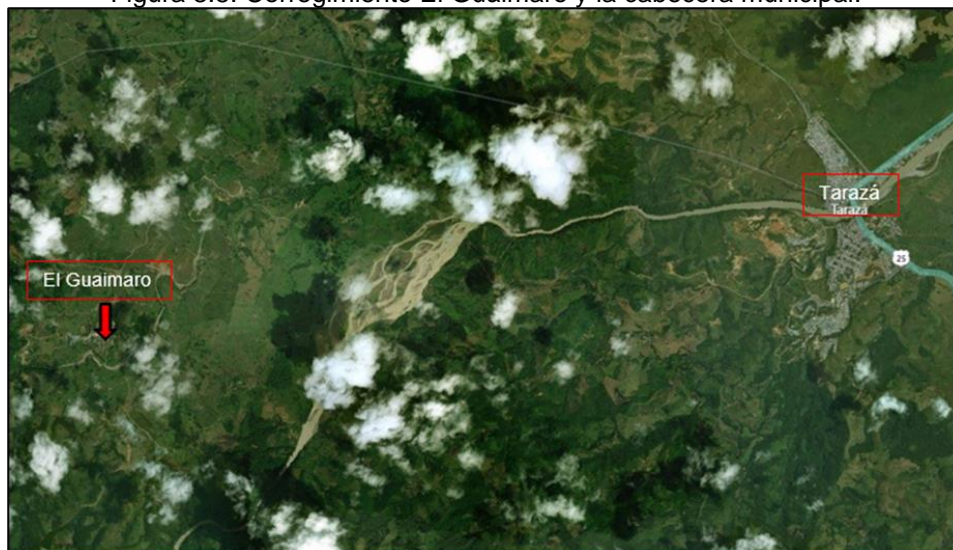
Figura 3.4. Localización del Proyecto.



Fuente: Elaboración propia



Figura 3.5. Corregimiento El Guáimaro y la cabecera municipal.

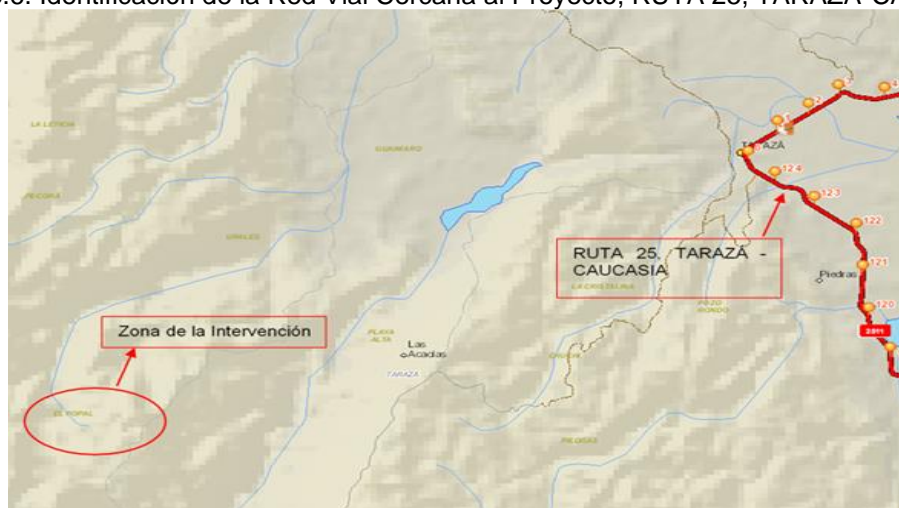


Fuente: Adaptado de Google Earth.

### 3.2.1. UBICACIÓN DE LA VÍA RESPECTO A VÍAS PRINCIPALES

En este subnumeral se realiza la descripción general de los corredores viales aledaños y existentes a la zona objeto de estudio. En la siguiente figura se identifica, de acuerdo con información nacional de la red vial, que El corregimiento El Guaimaro y la cabecera municipal de Tarazá, se encuentran cercanos a la RUTA 25, TARAZÁ – CAUCASIA de primer orden. De acuerdo con la RESOLUCIÓN 1530 del 2017, adoptando los criterios técnicos, la matriz y la guía metodológica para la categorización de las vías se identifica que la vía a intervenir está contemplada como una vía “veredal o de tercer orden”.

Figura 3.6. Identificación de la Red Vial Cercana al Proyecto, RUTA 25, TARAZÁ-CAUCASIA.



Fuente: <http://sinc.mintransporte.gov.co/visores/>

### 3.2.2. SECTORIZACIÓN DE LA VÍA A INTERVENIR

En la siguiente figura se puede identificar una longitud total de 15 kilómetros aproximadamente que conecta la cabecera municipal de Tarazá hasta el corregimiento El Guáimaro, del municipio de Tarazá, Departamento de Antioquia.

Figura 3.7. Sectorización de la Intervención Vial.



*Fuente: Adaptado de Google Earth.*

La vía para intervenir en el análisis de esta iniciativa se localiza entre las coordenadas que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas tramo a intervenir.

| Longitud Aproximada (m) | Coordenada Inicio             | Coordenada Final              |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 15034                   | 7°35'31.35"N<br>75°24'16.70"O | 7°34'10.41"N<br>75°28'10.41"O |

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.3. OBRAS PROYECTADAS

De acuerdo con los volúmenes hidrológicos e hidráulicos en los diferentes tramos de vía a intervenir la construcción de un puente de longitud de 35 metros en la abscisa K14+590, para mejorar la intercomunicación terrestre en parte del territorio rural del municipio y mejorar la movilidad peatonal y vehicular en la zona rural.

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION<br>PROYECTO TARAZÁ –<br>CORREGIMIENTO EL GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>WT. No. 901.383.823-8</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic. 2019 |                                                                                                                                                               |

## 4. METODOLOGÍA O PLAN DE TRABAJO

Para el desarrollo de este informe, se estableció la siguiente metodología:

- Recopilación de información secundaria (antecedentes).
- Análisis de las características geotécnicas de la zona.
- Recorrido de campo con el fin de realizar un diagnóstico detallado de la zona.
- Elaboración de un programa de exploración en campo y análisis de muestras en el laboratorio.
- Definición de modelos geotécnicos para cimentación que permitan proporcionar conclusiones y recomendaciones para garantizar la estabilidad de las estructuras propuestas.

La información principal corresponde a la obtenida de la directa observación, la toma de muestras, los ensayos sobre las mismas y la geomorfología de la zona. A partir de esta información se han definido los modelos geotécnicos como complemento de la parte estructural. Todos los cálculos se hacen asistidos por programas especializados que permiten modificar y variar los modelos, generando diferentes alternativas de solución.

A lo largo del estudio se van desarrollando conceptos, métodos y sistemas a fin de lograr los objetivos propuestos.

### 4.1. FUENTES DE INFORMACIÓN

En la elaboración de este plan se analizaron dos tipos de fuentes de informaciones: información primaria y secundaria.

- Información primaria: Un reconocimiento directo de la zona para estimar los problemas presentes, para lo cual se realiza toma fotográfica, recolección de información por parte de las personas que viven aledaños de los puntos críticos, entre otras.
- Información secundaria: Estudios anteriores, memorias de cálculos, estudio de suelos, estimaciones geológicas y geotécnicas, planchas IGAC, fuentes varias de Internet, etc.

### 4.2. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Los datos se procesan en concordancia con los lineamientos y directrices del proyecto para definir y caracterizar los estratos de suelo que conforman los depósitos estudiados. La modelación del problema se realiza utilizando los siguientes softwares:

- Novo SPT de Novo Tech: Interpretación de resultados de ensayo SPT
- AutoCAD Civil 3D: Topografía y geolocalización.
- GEO5: análisis geotécnico de estructuras.
- Midas GTS NX: programa de elementos finitos en el ámbito de la geotecnia

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION<br>PROYECTO TARAZÁ –<br>CORREGIMIENTO EL GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>WT: No. 901.283.823-8</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic. 2019 |                                                                                                                                                               |

## 5. ESTUDIO GEOLÓGICO

### 5.1. GEOLOGÍA

De estudio de Geología de este proyecto se extracta aspectos importantes a considerar en el desarrollo de este volumen:

La parte oriental del municipio de Tarazá se localiza principalmente sobre rocas blandas y recientes, como las terrazas depositacionales del río Cauca, conformadas por niveles definidos de arcillas, limos y gravas (con guijarros de rocas metamórficas neises y esquistos), rocas volcánicas y rocas plutónicas ácidas y básicas; cuarzo, y chert negro; en las llanuras de inundación del río Tarazá, y de las quebradas Chuichuí al occidente y Pozo Hondo al sur.

El municipio de Tarazá se encuentra litológicamente ubicado sobre depósitos aluviales del río Cauca, los que conforman varios niveles de terrazas (seis hasta ahora reconocidos), la terraza número 2, sobre la cual se localiza la cabecera es la terraza mejor representada y con los mejores afloramientos, aunque ha sido explotada en gran parte en la Mina Los Colonos (Puerto Antioquia), y en la Mina Tenerife, todavía hoy se conservan algunos remanentes. Presenta una altura entre 15 y 20 m en promedio sobre el nivel actual del río Cauca; en un nivel superior se localiza la terraza número 3; esta se distribuye también sobre Tarazá y el corregimiento de Puerto Antioquia, tiene una altura promedio de 25 a 30 m sobre el actual cauce del río Cauca, sus mejores afloramientos se encuentran en los alrededores de las Canarias, El Quince, en la Hacienda El Rayo (3 km al occidente de Puerto Antioquia, donde todavía se realizan labores mineras).

Subyaciendo las unidades sedimentaras terciarias, se encuentran en la parte occidental y sur rocas ígneas cretácicas en contactos fallados con rocas metamórficas paleozoicas propias de la cordillera central. Estos contactos fallados, sumados a los esfuerzos tectónicos que han sufrido las rocas en la orogenia, hacen que el territorio sea susceptible a fenómenos como movimientos en masa, reptación y caída de rocas, dado el alto grado de fracturamiento y meteorización.

#### 5.1.1. LITOGRAFIA DEL MUNICIPIO.

Geológicamente el municipio de Tarazá está conformado por las siguientes unidades litológicas:

- **Complejo de Puquí (PCAp):** el rasgo característico de este complejo, en el que los grupos litológicos migmatitas, anfíbolitas, neises y granulitas se presentan en forma de capas de espesor variable y sin límites definidos, es la dificultad de separar las diferentes unidades- rocas, aunque localmente pueden presentarse como secuencias estratificadas, regionalmente no es posible separarlas.



|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION<br/>PROYECTO TARAZÁ –<br/>CORREGIMIENTO EL GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NT: No. 901.383.823-6</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic. 2019</p> |                                                                                                                                                 |

- **Anfibolitas del río Tarazá (PCAat):** recibe este nombre un cuerpo de anfibolitas que afloran a lo largo del Río Taraza, con contactos bien definidos que en Álvarez et al. (1975) se ha cartografiado como metagabros.
- **Complejo Básico Ultrabásico de Uré (ku) (kp, kv):** este conjunto está conformado por grabos, peridotitas y diques de piroxenita. Afloran al occidente de la Falla Cauca – Almaguer (Falla Santa Rita).
- **Stock Tonalíticos del Río Man (Kdc):** stock de cuarzodiorita afloran en el borde suroccidental, intruyen al Complejo de Uré y ocupan un área no mayor de 5 km<sup>2</sup>.
- **Formación Cerrito (Ngc):** representada por una secuencia de arcillolitas con intercalaciones de areniscas de grano medio a fino, de color amarillo. Las arcillolitas son abigarradas de colores variables, rojizos, amarillos, pardos y grises, con intercalaciones de mantos de carbón de poco espesor.
- **Formación Sincelejo (NgQs):** esta unidad está conformada en la base por arcillolitas de color gris claro, con pequeñas intercalaciones de areniscas de grano medio a grueso, que localmente llegan a ser calcáreas. En la parte media y superior se presentan areniscas de grano medio grueso, de color amarillo, poco consolidadas.
- **Terrazas Aluviales (Qt):** las terrazas de origen aluvial son acumulaciones de gravas, arenas y limos que se encuentran a lo largo de los Ríos Cauca, Pquí, Rayo, Taraza, Corrales y Tamaná. Representan antiguos niveles de fondo del valle o llanuras de inundación, los cuales fueron cortados posteriormente por el río debido a levantamientos tectónicos regionales o cambios climáticos.
- **Llanuras de Inundación (Qal):** Son zonas estrechas que se presentan sobre ambas márgenes de los ríos. En algunos sectores es posible encontrar hasta tres zonas de llanura de inundación. De las tres zonas, la más baja se caracteriza por la ausencia de vegetación, se presenta como barras en los bordes del canal y es la más sometida a inundaciones periódicas. La zona intermedia presenta pastos y pequeños arbustos. La zona más alta se caracteriza por presentar árboles de gran tamaño, arbustos y matorrales bajos.
- **Grupo Valdivia (Pes, Pec, Pnf, Pni):** es un extenso conjunto de rocas metasedimentarias, este grupo comprende tres unidades de esquistos y tres de neises.
- **Serpentita (ks):** la mayoría de las rocas de esta unidad son serpentinitas, aunque también se encuentran peridotitas frescas o parcialmente serpentinizadas y algunas rocas de composición gabroide. Son rocas moteadas de color gris oscuro verdoso o a veces negras, finogranulares, comúnmente, aunque no siempre, laminadas o foliadas y tienen líneas orientadas de minerales claros y oscuros.

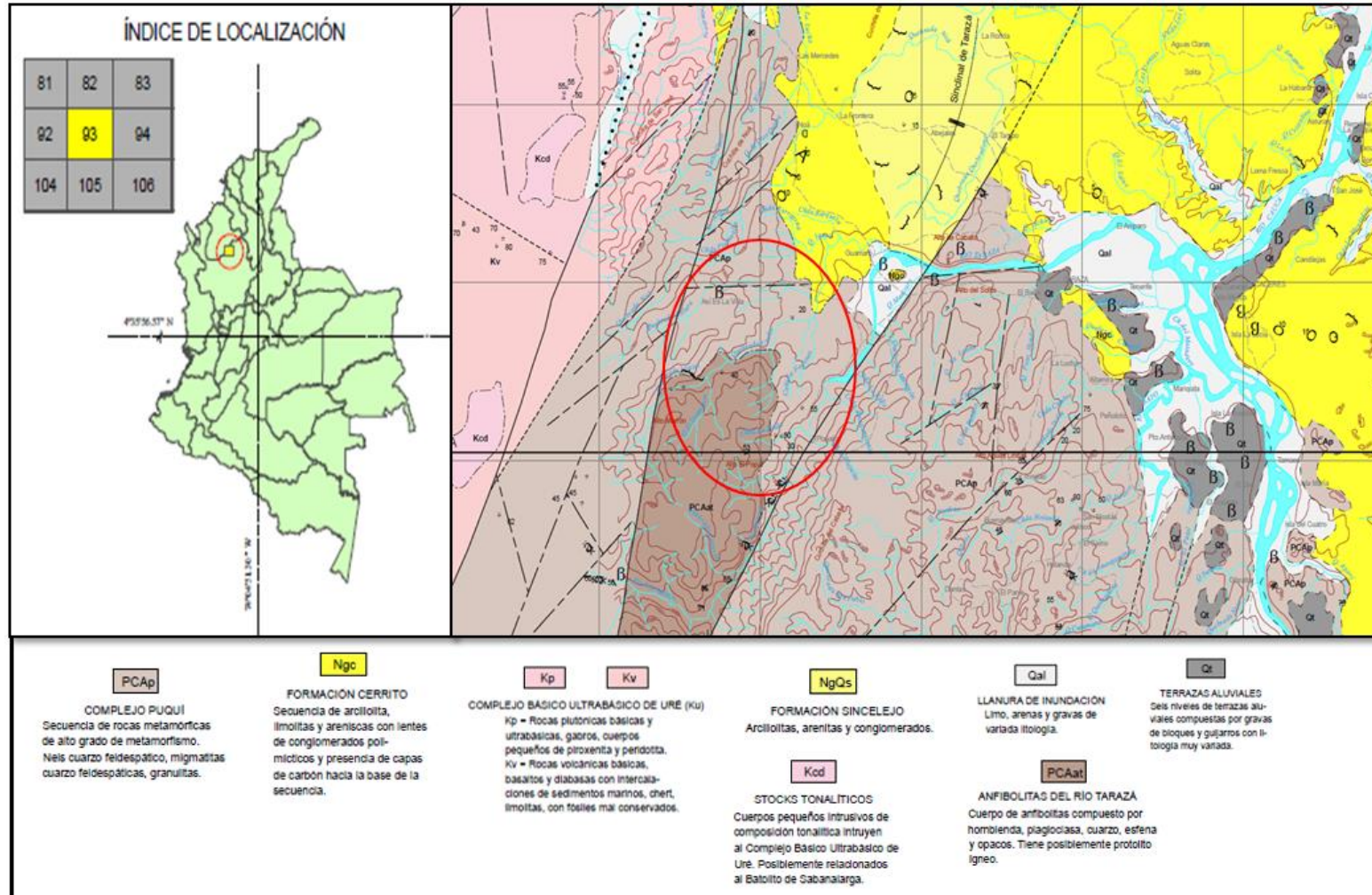


|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION<br/>PROYECTO TARAZÁ –<br/>CORREGIMIENTO EL GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL<br/>2019<br/>WT: No. 901.283.823-8</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic. 2019</p> |                                                                                                                                                     |

## 5.2. ESTRATIGRAFÍA LOCAL

- Se presentan estratigrafías pertenecientes a las rocas metamórficas, rocas ígneas, rocas sedimentarias a lo largo de todo el municipio. En edades que van del precámbrico hasta el cuaternario.
- La formación cerrito se observa en la quebrada Noá, flanco occidental del Sinclinal de Tarazá, se levantó una sección de aproximadamente 320 m de espesor, compuesta por interestratificaciones de capas delgadas a medias de arcillolitas, limolitas y areniscas de grano medio a grueso, con cuatro mantos de carbón con espesores entre 0.3 y 2 m.
- Las Serpentitas se derivan de dunitas, periododitas y rocas ultrabásicas similares, algunas de las cuales, al tener en cuenta la presencia de saussurita, pudieron haber sido picritas.
- Los delgados cinturones de rocas de grano grueso (arenitas y conglomerados) que afloran en los flancos de los sinclinales de Tarazá y de La Trinidad (en la parte superior de la Formación Cerrito no se ha descrito conglomerados) que sí están presentes en la Formación Sincelejo.
- En los Stocks Tonalíticos del Río Man se presentan textura alotriomórfica a hipidiomórfica granular y localmente gráfica. Se observan cuarzo, plagioclasa, ortosa, hornablenda y biotita como minerales esenciales, piritita, apatito y circón como minerales accesorios, y clorita, epidota y sericita como minerales de alteración. La plagioclasa (35%) es oligoclasa (An28), euhedral a subhedral, con macla de albita y Carlsbad, alterada a sericita.

Figura 8. Mapa Geológico del Municipio de Tarazá.



Fuente: Zapata, G. Cossío, U. Geología de la Plancha 93 Cáceres. 2010. Escala 1:100 000. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                   |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION<br>PROYECTO TARAZÁ –<br>CORREGIMIENTO EL GUAIMARO |                   |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>WT. No. 901.383.823-8</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Sept. 2019 |                                                                                                                                                               |

### 5.2.1. POBLACIÓN Y VÍAS DE ACCESO.

En el área de estudio la población está concentrada, según Censo 1993 (El Colombiano, 1997), en la parte rural de los municipios de Cáceres (21.073 habitantes) y Tarazá (15.997 habitantes), situación que es comprensible por ser la minería y la ganadería las principales actividades de la población. No se cuenta en la región con industrias desarrolladas.

La Troncal de Occidente, que comunica a Medellín con la Costa Atlántica, es la vía principal; algunas carreteras secundarias, sin pavimentar, tales como Tarazá - Uré, El Jardín - Manizales, Cáceres - Zaragoza y Tarazá - Las Acacias, atraviesan el área y enlazan las cabeceras municipales y veredas con la troncal. Ocasionalmente se utilizan como vías fluviales los ríos Cauca, Tarazá y Corrales. Las cabeceras municipales ubicadas dentro de la Plancha 93 son: Cáceres con 5.601 habitantes, según censo de 1993 (F-5), Tarazá con 9.619 (F-4) y los corregimientos de Puerto Antioquia (G-6), El Encanto (F-5), Uré (B-1), La Caucana (E-2), Puerto Bélgica (D-7), Jardín (C7) y Manizales (A-4).

### 5.3. GEOMORFOLOGÍA

Las características geomorfológicas de la Plancha 93 Cáceres se describen con base en el análisis de las fotografías aéreas y las observaciones de campo.

#### 5.3.1. RELIEVE

El relieve está formado por un perfil montañoso en las partes sureste y suroeste de la plancha y por una zona suavemente ondulada a plana en la parte central. Las cuchillas del Caballo, Noá y San José, en el suroeste del área, hacen parte de lo que geográficamente se ha llamado Cordillera Occidental. Estas presentan alturas máximas de 850 m sobre el nivel del mar. En el extremo sureste se destaca la cuchilla del Indio, que pertenece a la Cordillera Central y alcanza alturas de 700 m sobre el nivel del mar. Entre las dos cordilleras, con una ocupación aproximada de 50% del área total de la plancha, se encuentra una zona de pequeñas colinas, con alturas entre 50 y 100 m, formadas por material arenoso, arcilloso y de gravas, con cimas redondeadas o agudas que producen un relieve ondulado.

#### 5.3.2. DRENAJE

Todo el drenaje del área pertenece a la cuenca del río Cauca, con características de dendrítica a subparalela y que por su magnitud se divide en subcuencas, al tomar en cuenta el patrón de drenaje, la morfología y la influencia litoestructural en su aspecto actual. Los afluentes más importantes del río Cauca son los ríos Rayo, Tarazá, Man, Corrales, Tamaná y las quebradas Noá y Cachúa.

<sup>1</sup>Fuente: Ingeominas, Mapa fotologico con control de campo de la Plancha 93 Cáceres. Gilberto Zapata y Ubaldo Cossio.



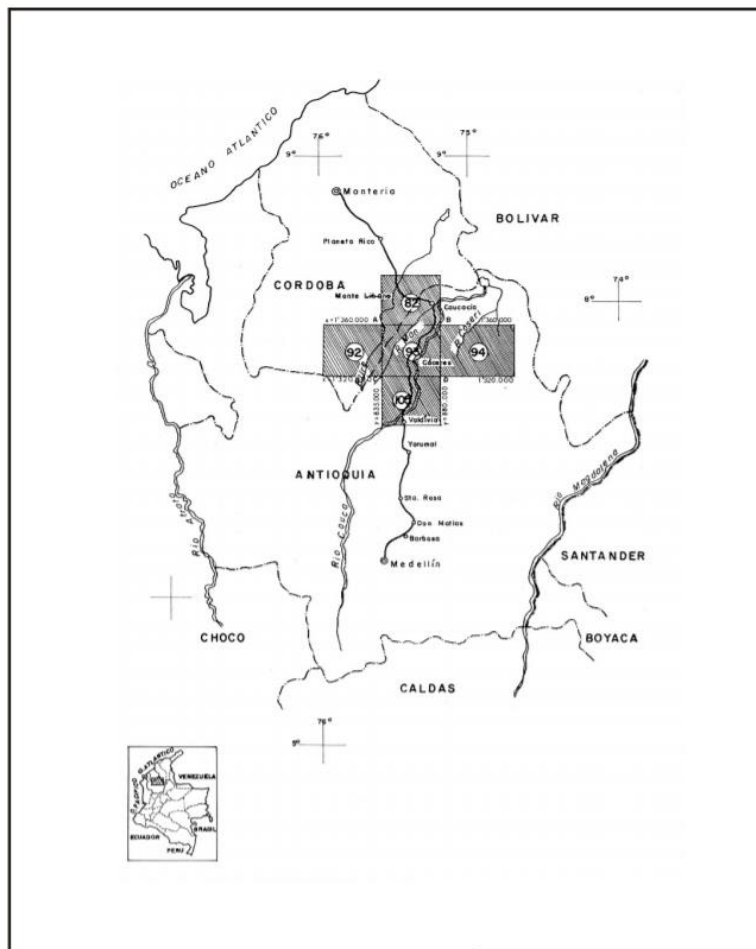
|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO<br/>TERRITORIAL<br/>2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                          |

Figura 5.9. Localización de La Plancha 93-Caceres.





Fuente: Servicio Geológico de Colombia – INGEOMINAS

### 5.3.2.1. SUBCUENCA DE LOS RÍOS TARAZÁ - RAYO ARAZÁ - RAYO

Los ríos Tarazá y Rayo son los principales captadores de aguas en la parte suroeste de la plancha; tienen fuerte control estructural que produce patrones de formas angulares de los cauces principales; drenan una zona compuesta por rocas metamórficas. Sus afluentes forman una red subparalela espaciada y son oblicuos al cauce principal y paralelos entre sí. Los principales afluentes son las quebradas Urales (F-3), Chuchuí (G-3-4), Piedras (H-G-5), Jalisco (H-5) y Curumaná (H-5).

<sup>1</sup>Fuente: Ingeominas, Mapa fotológico con control de campo de la Plancha 93 Cáceres. Gilberto Zapata y Ubaldo Cossio.

|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL<br/>2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                      |

### **5.3.2.2. SUBCUENCA DEL RÍO 4.2.2. SUBCUENCA DEL RÍO 4.2.2. SUBCUENCA DEL RÍO MAN**

El río Man capta las aguas del sector occidental y noroccidental de la plancha; corre en sentido suroeste a noreste hasta las coordenadas X= 1'345.000, Y= 843.000, donde bruscamente cambia el rumbo hacia el noreste.

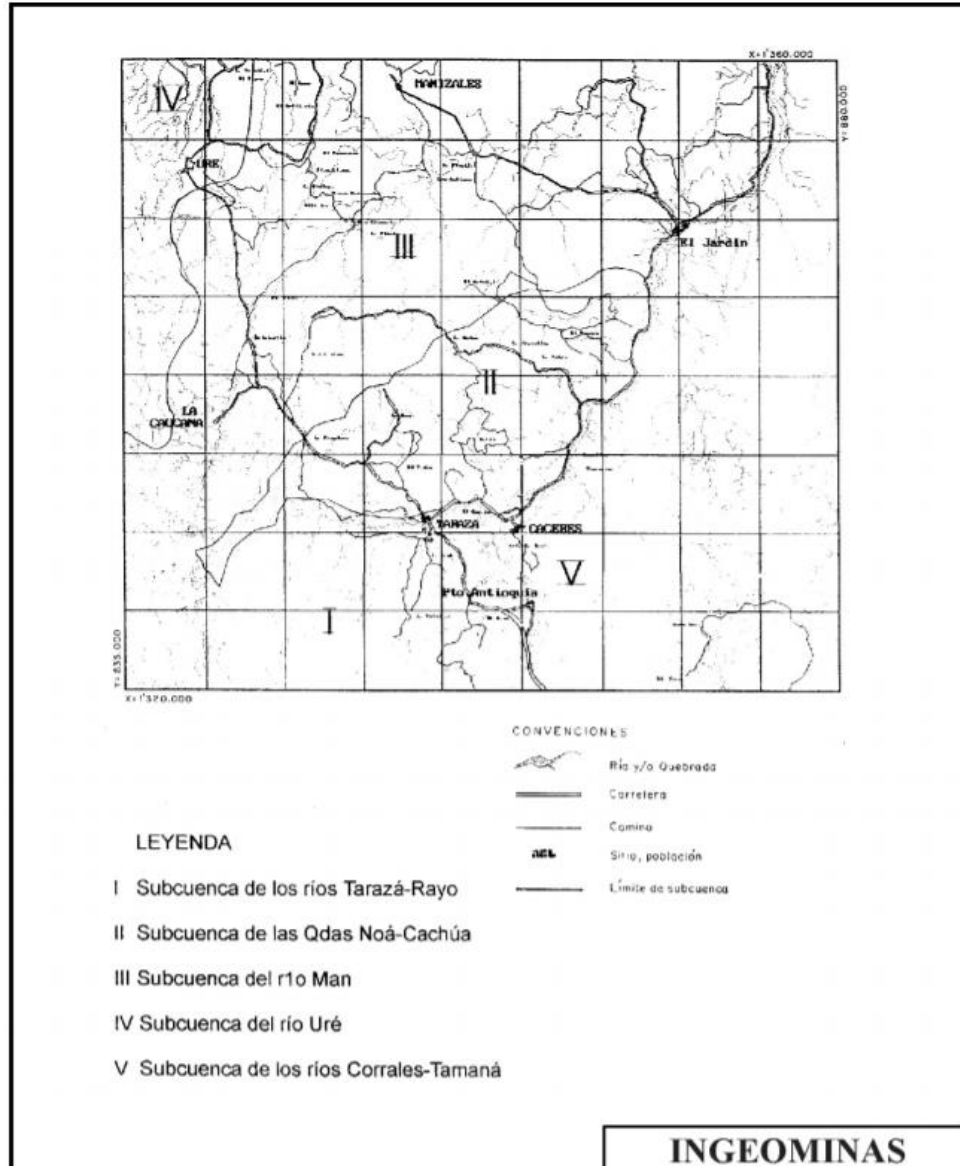
Forma una red subparalela con los tributarios paralelos entre sí, hasta las coordenadas mencionadas; en este tramo el principal afluente es la quebrada Piedra Brava (F-1). A partir del cambio de rumbo, que coincide con el cambio litológico de rocas volcánicas a sedimentarias, la red de drenaje es dendrítica, se aumenta la densidad y se convierte en una red bien densa y ramificada. En este segundo tramo se encuentran varios afluentes de importancia, tales como las quebradas Pecorá (C-3), Achizales (B-4), Quebradona (B-5), El Cedro (B6) y La Monada (B-5).

### **5.3.2.3. SUBCUENCA DE LAS 4.2.3. SUBCUENCA DE LAS 4.2.3. SUBCUENCA DE LAS QUEBRADAS NOÁ - CACHÚA QUEBRADAS NOÁ - CACHÚAQUEBRADAS NOÁ – CACHÚA**



La quebrada Noá, en las cabeceras, forma una red subparalela espaciada y drena rocas metamórficas; luego, con el cambio litológico a rocas sedimentarias blandas, se convierte en una red dendrítica espaciada, al igual que en la quebrada Cachúa. El principal afluente es la quebrada Quebradona (E-4), la cual posee un leve control estructural.



Figura 5.10. Localización de La Plancha 93-Caceres.



Fuente: Servicio Geológico de Colombia – INGEOMINAS

|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL<br/>2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                      |

### 5.3.3. EROSION

Las formas de relieve no se encuentran totalmente estabilizadas; las rocas están sujetas a erosión. El comportamiento de las rocas frente a la acción erosiva es muy diverso, puesto que depende de múltiples combinaciones posibles entre los factores que determinan su permeabilidad y alterabilidad.

#### 5.3.3.1. TRANSPORTE



Se presenta en el área desplazamiento de materiales debido a la erosión superficial, por lixiviación y transporte en solución. Los deslizamientos tienen amplio desarrollo en la zona, pero con efectos de poca importancia, principalmente en las carreteras Tarazá - Uré y Tarazá - Las Acacias, donde se presenta principalmente la caída de rocas de pequeño tamaño, producidas por inestabilidad en las vertientes de las montañas.

#### 5.3.3.2. INFLUENCIA HUMANA

Desde la aparición del Hombre, éste se convirtió en un agente erosivo; en la zona de estudio el principal efecto es producido por la minería sin control, especialmente en los últimos diez años. También se debe destacar la tala indiscriminada de bosques en los últimos 30 años. Con esta actividad se están destruyendo suelos y acumulando materiales no fértiles, esterilizando así amplios espacios y afectando principalmente las riberas de los ríos Cauca, Rayo, Man y Tarazá. Además de la carga de sedimentos provenientes de la erosión superficial y partículas en suspensión a lo largo de estos años, se han arrojado grandes cargas de material aluvial, lo que limita el poder de evacuación durante las crecientes, y produce la transformación de las vegas en pantanos, y en el caso del río Cauca, impide la navegación. Otras de las causas de la erosión antrópica son la degradación y tala de la vegetación primaria por las actividades colonizadoras y agrícolas. La erosión antrópica no modifica sustancialmente el aspecto del relieve, pero es notable en las fotografías aéreas el aumento de la erosión superficial, debido a la construcción de carreteras, aumento de población y a la eliminación del bosque primario; son evidentes, al comparar las fotografías de 1955 y 1980, los cambios en los patrones de los cauces principales, así como sus perfiles transversales, debido principalmente al aumento de las explotaciones mineras en sus riberas y a la dinámica natural del río.

<sup>1</sup>Fuente: Ingeominas, Mapa fotológico con control de campo de la Plancha 93 Cáceres. Gilberto Zapata y Ubaldo Cossio.

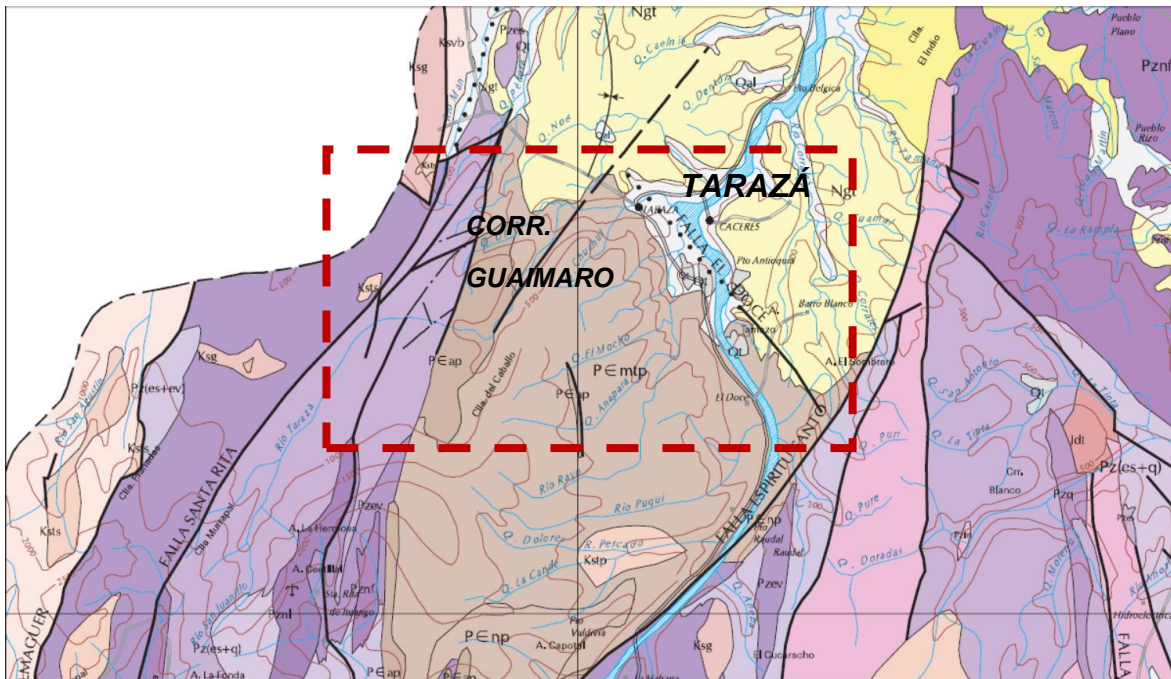


|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO<br/>TERRITORIAL<br/>2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                          |

## 5.4. ESTRATIGRAFÍA

En la Plancha 93 Cáceres afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias con edades que varían desde el Precámbrico, en el caso de algunos cuerpos de rocas metamórficas, hasta el Cuaternario, representado por las terrazas aluviales.

Figura 5.11. Geología del sector donde se desarrollará el proyecto





Fuente: Servicio Geológico de Colombia – INGEOMINAS

### 5.4.1. ROCAS METAMÓRFICAS Y FICAS Y METAMORFISMO

Rocas metamórficas de diferente edad y grado de metamorfismo afloran en la parte sur del área de trabajo y hacen parte del Terreno Puquí (Etayo et al., 1983) o del Terreno Tahamí (Restrepo & Toussaint, 1989). Al occidente de la Falla Espíritu Santo se encuentran las rocas metamórficas de alto grado del Complejo Puquí y al oriente de la misma falla afloran rocas metamórficas de bajo grado del Grupo Valdivia (Hall et al., 1972), estas últimas hoy en día agrupadas en el Complejo Cajamarca (Maya & González, 1995).

<sup>1</sup>Fuente: Ingeominas, Mapa fotológico con control de campo de la Plancha 93 Cáceres. Gilberto Zapata y Ubaldo Cossio.

|                                                                                   |                                                                                   |                  |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  |
|                                                                                   | Contrato: SC 01521 19                                                             | Fecha: Dic 2019. |                                                                                     |

#### 5.4.1.1. CARACTERÍSTICAS FOTOGEOLÓGICAS DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS



Las siguientes son las características fotogeológicas observadas en las rocas metamórficas de la Plancha 93 Cáceres: los neises presentan crestas suaves y alargadas en la dirección de orientación, el drenaje es dendrítico tupido con la terminación en curvas y las vertientes rectilíneas tienen rasgos estructurales pronunciados; presentan un color gris de tono claro. Los esquistos tienen una morfología de crestas alargadas de altura más o menos constante; el drenaje es espaciado, dendrítico con fuerte control estructural; color gris medio y tono claro en las fotografías aéreas.

**Esquistos Cuarzo-Sericíticos (Pzes).** Unidad constituida por intercalaciones de esquistos cuarzo sericíticos, cuarzo moscovíticos, cloríticos actinolíticos, cuarcitas micáceas y a veces filitas, de color gris plateado, con cantidades variables de grafito; finamente bandeados, foliados y friables. Se observan lentes de cuarzo lechoso concordantes con la foliación de unos pocos centímetros a varios metros de espesor. Microscópicamente los esquistos están conformados por cuarzo moscovita, biotita, plagioclasa y, ocasionalmente, porfidoblastos de andalucita sericitizada, granate y estauroлита; por circón, esfena y opacos como accesorios, clorita y sericita como minerales de alteración.

El cuarzo es el mineral más abundante (30% - 50%); se presenta en bandas concordantes con la foliación, extinción ondulatoria y localmente con textura granoblástica. La plagioclasa es oligoclasa - andesina; junto al cuarzo se observa en bandas e igualmente a los minerales micáceos, con maclas de albita y Carlsbad, deformada y alterada a sericita. Moscovita y biotita se encuentran en bandas orientadas y plegadas, que definen la foliación de la roca.

Los esquistos cloríticos actinolíticos están conformados por clorita, actinolita, plagioclasa y cuarzo.

<sup>1</sup>Fuente: Ingeominas, Mapa fotologico con control de campo de la Plancha 93 Cáceres. Gilberto Zapata y Ubaldo Cossio.



|                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|  | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |  |             |
|                                                                                   | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019.                                                                    | Versión: 01 |

Las cuarcitas micáceas están conformadas en su mayoría por cuarzo (85%), moscovita y biotita como minerales principales, circón y minerales opacos como secundarios. En general, la textura de los esquistos cuarzo moscovíticos biotíticos es lepidoblástica por orientación de los minerales micáceos. En las cuarcitas la textura es granoblástica, con leve orientación de las micas. En los esquistos es corriente observar texturas polifásicas con desarrollo de dos foliaciones. Los esquistos biotíticos de esta unidad se presentan parcialmente a totalmente alterados, y forman suelos de color rojo oscuro a amarillo oscuro, por alteración de la biotita. Son de grano fino a medio, con esquistosidad fina bien definida (Figura 8), están conformados por biotita, cuarzo, feldespato y moscovita (posiblemente retrógrada por alteración de la biotita). Esporádicamente se presentan bandas de cuarzo y feldespato que se alternan con bandas de biotita. Son rocas conformados por biotita, cuarzo, plagioclasa y en algunas ocasiones sillimanita, con foliación lepidoblástica por orientación de biotita y sillimanita, con bandas concordantes de cuarzo y plagioclasa. La sillimanita puede presentarse como inclusiones prismáticas y aciculares en plagioclasa y biotita.

**Anfibolitas del Río Tarazá (P<sub>Ca</sub>).** Recibe este nombre un cuerpo de anfibolitas que aflora a lo largo del río Tarazá, con contactos bien definidos, que en Álvarez et al. (1975) se ha cartografiado como metagabros. Macroscópicamente son rocas de color gris verdoso oscuro, de grano medio a grueso, foliadas, parcialmente meteorizadas, conformadas por hornblenda y plagioclasa.

Microscópicamente la textura general de la roca es nematoblástica, definida por orientación de hornblenda. Está conformada por hornblenda, plagioclasa y algo de cuarzo, como minerales principales, esfena, epidota y opacos como secundarios, clorita y saussurita como minerales de alteración. La hornblenda es subeuhedral a anhedral, con pleocroismo de verde amarillento a verde oliva oscuro, alterada a epidota y clorita. En algunos sectores se observan núcleos de piroxeno dentro de la hornblenda. La plagioclasa, oligoclasa a andesina, es subeuhedral a anhedral, con macla de albita y Carlsbad, alterada a sericita, con extinción ondulatoria. El cuarzo, con extinción ondulatoria, presenta numerosas lamellas de deformación; en algunas partes presenta textura mosaico y en otras, bordes de subgranos. Factores como la uralitización del piroxeno, sus contactos intrusivos con las demás rocas del Complejo de Puquí, son indicios para considerar el protolito de esta roca como ígneo.

<sup>1</sup>Fuente: Ingeominas, Mapa fotológico con control de campo de la Plancha 93 Cáceres. Gilberto Zapata y Ubaldo Cossio.

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NIT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

## 5.4.2. ROCAS ÍGNEAS

Rocas ígneas afloran en la parte occidental de la Plancha 93 Cáceres, en el flanco este de la Serranía de Ayapel, al oeste de la Falla Cauca - Almaguer (Falla Santa Rita). Están representadas por rocas básicas y ultrabásicas del Complejo de Uré y stocks tonalíticos.

### 5.4.2.1. CARACTERÍSTICAS FOTOGEOLÓGICAS

El Complejo de Uré, en las fotografías aéreas, tiene colores en tonos grises claros a medios. Es difícil identificar todas las unidades roca que lo conforman, en especial los cuerpos de gabro. Las rocas básicas - ultrabásicas presentan un relieve bajo, ondulado de colinas elongadas en dirección norte-sur, con alturas que no sobrepasan los 150 m sobre el nivel del mar (msnm). En la región de Mogambo (C-1), en las estribaciones de la Serranía de Ayapel, muestra una geomorfología abrupta, con elevaciones que alcanzan 550 msnm. En general, el drenaje tiene un fuerte control estructural, es espaciado (de baja densidad) y angular. En las rocas volcánicas, en fotografías aéreas, el color es gris oscuro. Tiene un relieve de grandes escarpes fuertemente contrastantes con los valles cuaternarios adyacentes, forman colinas aisladas de forma redondeada, el drenaje es angular espaciado, los cauces secundarios caen a los principales en ángulo casi recto, con cierto paralelismo entre ellos.



### 5.4.2.2. COMPLEJO DE URÉ

Se agrupan con este nombre las rocas volcánicas básicas con intercalaciones de chert y rocas intrusivas básicas - ultrabásicas que afloran al occidente de la Falla Cauca - Almaguer, al occidente de la plancha, con una extensión de 38 km de sur a norte y de 8 km en su parte más ancha.

Rocas Volcánicas Básicas. Afloran al oeste de la Falla Cauca - Almaguer (Falla Santa Rita) y corresponden a basaltos, diabasas, brechas volcánicas, tobas y aglomerados con intercalaciones de rocas sedimentarias marinas (chert y limolitas).

Basaltos y Diabasas. Son rocas de color gris verdoso, masivas, afaníticas y localmente porfiríticas, con fenocristales de plagioclasa y piroxeno. Microscópicamente son rocas holocristalinas, con textura inequigranular. La matriz varía entre 50% y 70%, compuestas por plagioclasa y piroxeno. La plagioclasa con fuerte extinción ondulatoria, parcialmente alterada a saussurita y algo de carbonato, con macla de albita y Carlsbad. El piroxeno es augita, con extinción ondulatoria y alterado a clorita, epidota y en algunas ocasiones a anfíbol.

<sup>1</sup>Fuente: Ingeominas, Mapa fotológico con control de campo de la Plancha 93 Cáceres. Gilberto Zapata y Ubaldo Cossio.

|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
| <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                                                                               | <p>Fecha: Dic 2019.</p>                                                                      | <p>Versión: 01</p>                                                                                                                               |



Rocas Piroclásticas. Corresponden básicamente a tobas y aglomerados. Las tobas son de cristales y vítreas, de color gris verdoso, rojo y violáceo. Están compuestas por fragmentos cristalinos de feldspatos caolinizados, con algo de vidrio y fragmentos de roca volcánica. Los aglomerados están compuestos por cantos subangulares a subredondeados en su mayoría de basaltos y diabasas, con diámetro en su eje mayor del orden del centímetro al metro y matriz de composición basáltica. Las rocas piroclásticas se encuentran seudoestratificadas con rocas sedimentarias marinas como chert y limolitas.

Rocas Plutónicas Básicas y Ultrabásicas. Este conjunto está conformado por gabros, peridotitas y diques de piroxenita. Afloran al occidente de la Falla Cauca - Almaguer (Falla Santa Rita). Las peridotitas y piroxenitas están meteorizadas y serpentinizadas y han generado suelos de color rojo intenso, lateríticos, con concentraciones locales de ferroníquel (Naciones Unidas - Ingeominas, 1976). Las peridotitas corresponden principalmente a hazburgitas serpentinizadas, de color verde oscuro e intensamente fracturadas. Microscópicamente se observa el piroxeno alterado a pseudomorfos de bastita, el olivino no es abundante y está alterado a minerales de serpentina. Los minerales accesorios son espinela, magnetita y cromita. La mayoría de los cristales de olivino y piroxeno se encuentran rotos y deformados por los efectos dinámicos. Las piroxenitas están formadas principalmente por enstatita, alterada a serpentina, clorita y anfíbol. Macroscópicamente, los gabros son rocas masivas, faneríticas, de grano medio a grueso, de color verde oscuro, compuestas por plagioclasa, hornblenda y piroxeno. Microscópicamente son rocas de textura hipidiomórfica granular, compuestas por plagioclasa, clinopiroxeno y anfíbol como minerales esenciales y opacos (magnetita) como secundarios y clorita, serpentina y anfíbol como minerales de alteración. La plagioclasa (20-70%), está alterada a saussurita y carbonato; se presenta en cristales alargados euhedrales, maclada según albita y Carlsbad. Clinopiroxeno, augita, en cristales prismáticos alargados anhedrales y subhedrales, de color verde amarillento, ligeramente pleocroica. Presenta alteración a clorita y algo de serpentina. Hornblenda, pleocroica con colores que varían de verde amarillento pálido a verde oliva, alterada a clorita. Los gabros son de grano muy fino y difíciles de distinguir de los basaltos, están asociados con ellos y a menudo forman facies de transición.

Contactos. El contacto del Complejo de Uré es fallado con las rocas del Complejo Cajamarca, a través de la Falla Cauca - Almaguer (Falla Santa Rita), y discordante con las rocas sedimentarias terciarias. A su vez, es intruido por stocks cuarzodioríticos.

<sup>1</sup>Fuente: Ingeominas, Mapa fotológico con control de campo de la Plancha 93 Cáceres. Gilberto Zapata y Ubaldo Cossio.



|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                  |

Edad. Las rocas del Complejo de Uré, como se mencionó, son intruidas por stocks cuarzodioríticos, considerados como apófisis del Batolito de Sabanalarga (descritos abajo); este batolito por dataciones K/Ar (Tabla 3) es de edad Albiano (Cretácico Inferior). Teniendo en cuenta lo anterior, este complejo sería pre-Albiano o mejor, preBatolito de Sabanalarga. 5.2.3. Stocks T 5.2.3. Stocks T5.2.3. Stocks Tonalíticos onalíticos del Río Man del Río Mandel Río Man Stocks de cuarzodiorita afloran en el borde suroccidental de la plancha (H-1 y F-1), intruyen al Complejo de Uré y ocupan un área no mayor de 5 km<sup>2</sup>. Macroscópicamente están constituidos por una roca masiva.



### 5.4.3. ROCAS SEDIMENTARIAS

Un alto porcentaje del área, cerca al 60%, está cubierta por rocas sedimentarias de edad terciaria a cuaternaria reciente, representadas por arcillolitas, limolitas, areniscas, conglomerados y gravas. Las terrazas aluviales de los ríos Cauca, Tarazá y Man, fueron estudiadas con mayor detalle por Cossio (1991) y sus resultados se incluyen en este informe.

Características fotogeológicas. Las áreas donde afloran las unidades neógenas tienen tonos que varían de gris claro a oscuro, una topografía casi horizontal y pequeñas colinas con pendientes suaves, que no superan los 50 m de altura. En general, presentan un patrón de drenaje erosional dendrítico que en ocasiones llega a tener formas arborescentes, en donde los tributarios son ramificados sin orientación preferencial. Estas características son típicas de materiales de granulometría fina y de baja permeabilidad. Forman la parte central de los sinclinales de Tarazá y La Trinidad, y resaltan en las fotografías aéreas unos escarpes de poca altura, de forma de cuchillas alargadas en dirección norte sur. El patrón de drenaje en estos sitios es paralelo a subparalelo poco desarrollado, característico de rocas de grano medio a grueso.

Neógeno. En la Plancha 93 Cáceres se utilizó para las unidades sedimentarias neógenas, la nomenclatura empleada por Dueñas & Duque (1981) en el cuadrángulo F-8 Planeta Rica, localizado al norte del área. Afloran las formaciones Cerrito y Sincelejo, con edades entre el Mioceno superior y Plioceno.

<sup>1</sup>Fuente: Ingeominas, Mapa fotologico con control de campo de la Plancha 93 Cáceres. Gilberto Zapata y Ubaldo Cossio.



|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                  |

Formación Cerrito. Representada por una secuencia de arcillolitas con intercalaciones de areniscas de grano medio a fino, de color amarillo. Las arcillolitas son abigarradas de colores variables, rojizos, amarillos, pardos y grises, con intercalaciones de mantos de carbón de poco espesor. En la quebrada Noá, flanco occidental del Sinclinal de Tarazá, se levantó una sección de aproximadamente 320 m de espesor, compuesta por interestratificaciones de capas delgadas a medias de arcillolitas, limolitas y areniscas de grano medio a grueso, con cuatro mantos de carbón con espesores entre 0,3 y 2 m . Otra sección levantada en la carretera Cáceres - Zaragoza está conformada en la base por intercalaciones de arcillolitas abigarradas y areniscas con algunos mantos delgados de carbón; hacia la parte intermedia predominan las areniscas con lentes conglomeráticos y cuñas de arcillolitas; y en el tope, intercalaciones de arcillolitas, limolitas y areniscas meteorizadas. Ospina & Oquendo (1989), en el estudio de los carbones en la cuenca del Alto San Jorge al noroeste del área, dividen la Formación Cerrito en tres miembros. El Miembro Superior, areno - arcilloso, con niveles de arenitas calcáreas fosilíferas, con algunos mantos de carbón, y espesor de 300 m. El Miembro Medio, primordialmente limo - arcilloso con capas de areniscas calcáreas fosilíferas hacia la parte media, presenta 54 mantos de carbón y espesor de 850 m. El Miembro Inferior, conformado por areniscas, conglomerados y calizas, se caracteriza por la ausencia de mantos de carbón y el espesor es de 400 m. Espesor. En este trabajo, en la carretera Cáceres Zaragoza se calculó un espesor de 1.800 m. Ospina & Oquendo (1989) en el Alto San Jorge midieron un espesor de 1.500 m. Ambiente de Depósito. Las características litológicas de esta parte de la Formación Cerrito indican un ambiente de depósito marino somero a continental, con predominio de este último, caracterizado por poseer mantos de carbón. Al norte de la Plancha 93, la Formación Cerrito reposa discordantemente sobre las rocas volcánicas del Complejo de Uré. En los alrededores del Municipio de Tarazá (F-4) yace también discordantemente sobre las rocas del Complejo de Puquí.

Cuaternario. El Cuaternario de la Plancha 93 Cáceres fue estudiado en detalle por Cossio (1991) en el trabajo “Cartografía de las Terrazas Aluviales del área de Puerto Antioquia-Tarazá-Cáceres” del cual se retoma la información. Aunque los distintos niveles de terraza no se separaron en el mapa 1:100.000 debido a sus dimensiones, los mapas correspondientes, a escala 1:25.000, se encuentran en Cossio (1991). Terrazas. Las terrazas de origen aluvial son acumulaciones de grava, arenas y limos que se encuentran a lo largo de los ríos Cauca, Puquí, Rayo, Tarazá, Corrales y Tamaná. Estas terrazas representan antiguos niveles del fondo del valle o llanuras de inundación, los cuales fueron cortados posteriormente por el río debido a levantamientos tectónicos regionales o cambios climáticos.

<sup>1</sup>Fuente: Ingeominas, Mapa fotológico con control de campo de la Plancha 93 Cáceres. Gilberto Zapata y Ubaldo Cossio.



|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                  |

Terrazas del río Tarazá. Con este río se relaciona una extensa llanura de inundación, cerca de su desembocadura al río Cauca. Sin embargo, las terrazas no son claramente diferenciales de las terrazas originadas por el río Cauca. Llanuras de Inundación. Se encuentra cerca a la desembocadura del río Tarazá al río Cauca. Esta llanura es sometida en épocas de intenso invierno a inundaciones. La profundidad de esta llanura, al igual que la llanura del río Rayo, no se conoce, pero por información de los habitantes del lugar, con base en perforaciones realizadas por algunas compañías, se considera una profundidad del orden de 10 a 15 m. Sobre esta llanura de inundación se ha identificado fotogeológicamente varios paleocanales, que se podría evaluar con perforaciones, para conocer con exactitud sus posibilidades económicas, ya que éstas son altas si se considera que este río drena una secuencia de rocas metamórficas, en la cual se encuentran numerosos diques mineralizados de poco espesor. El área de esta llanura de inundación es del orden de 4´500.000 m<sup>2</sup> (450 ha).



## 5.5. GEOLOGÍA ECONÓMICA

Exceptuando las explotaciones de los aluviones de los ríos Cauca, Tarazá y Man, es poco lo que se conoce sobre los recursos minerales de la Plancha 93 Cáceres. Otros recursos aprovechados son carbón, níquel, oro de filón y materiales de construcción.

### 5.5.1. ORO

La minería aluvial tiene un gran desarrollo en esta zona, principalmente en las terrazas aluviales de los ríos Cauca, Tarazá, Man, Corrales y Tamaná. De las terrazas analizadas anteriormente, la más explotada es la terraza número 2 del río Cauca, por ser la más rica en cuanto a contenido de oro. Según Cossio (1991), este nivel es explotado en Puerto Antioquia, mina Los Colonos, con tenores ponderados que oscilan entre 207 mg/m<sup>3</sup> y 325 mg/m<sup>3</sup> ; mina Barajas, con tenores entre 128 mg/m<sup>3</sup> y 190 mg/m<sup>3</sup> ; mina Tenerife, con tenores entre 196 mg/m<sup>3</sup> y 319 mg/m<sup>3</sup>. La zona entre Tarazá y Jardín, donde aflora la terraza 2, ha sido explotada, y quedan pequeños remanentes que son explotados por grupos de barequeros. El nivel de terraza es explotado en la mina Cutuco, al frente de Puerto Antioquia, con tenores hasta de 275 mg/m<sup>3</sup>. Los demás niveles de terraza son explotados esporádicamente por grupos de barequeros, con escaso rendimiento económico.

<sup>1</sup>Fuente: Ingeominas, Mapa fotológico con control de campo de la Plancha 93 Cáceres. Gilberto Zapata y Ubaldo Cossio.

|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                  |

La explotación de los aluviones auríferos del Bajo Cauca se hace a nivel de mediana minería relativamente mecanizada, donde es común el uso de retroexcavadoras y volquetas hasta de 30 toneladas y donde al mismo tiempo trabajan numerosos barequeros. Es también común en los afluentes pequeños de estos ríos la extracción con motobombas y bateas. Se conoce la explotación de algunas minas de oro de filón en el río Tarazá, cerca de El Guaimaro, en pequeños filones encajados en rocas metamórficas del Complejo de Puquí.



### 5.5.2. CARBÓN

Se encuentran algunos afloramientos dispersos de carbón a lo largo de la cuenca del río Man (Sarmiento & Arce, 1951; Hubach, 1951), en las quebradas Noá (F-3), Pecorá (E-3), San Francisco (B-2) y río Corrales (E7); no se conoce explotaciones de este material a escala comercial. Las reservas probables fueron calculadas por Sarmiento & Arce (1951) en 49'400.000 toneladas.

### 5.5.3. NÍQUEL

Los depósitos de lateritas níquelíferas en el área de Uré fueron descubiertos en 1966 y han sido objeto de estudios por parte de Velázquez (1969) y Naciones Unidas -Ingeominas (1976). Este yacimiento está ubicado en el sur del departamento de Córdoba, en los límites con Antioquia. Según la localización de los cuerpos ultrabásicos hecha por Naciones Unidas - Ingeominas (1976), estas manifestaciones están ubicadas en el extremo oeste de la Plancha 93. Los resultados obtenidos en ese trabajo de evaluación económica fueron: • Tonelaje total 23'500.000 T.M secas. • Tenor promedio 0,77% Ni, 28% Fe.

<sup>1</sup>Fuente: Ingeominas, Mapa fotológico con control de campo de la Plancha 93 Cáceres. Gilberto Zapata y Ubaldo Cossio.

|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                  |

#### 5.5.4. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Recursos como arenas y gravas son poco explotados en el área. Estos solamente se extraen en algunos puntos del río Tarazá en cercanías de la cabecera municipal (F-4) y del río Man cerca al caserío de La Caucana (E-2), aunque se cuenta con materiales de playa en otros sitios aledaños al río Cauca.

#### 5.6. SUELOS

El estudio de suelos es un componente fundamental en proyectos de infraestructura debido a que resulta necesario identificar la calidad de los materiales que van a servir como fundación de las obras a ejecutar. Específicamente se verificará la capacidad portante o resistencia del material o capa que va a funcionar como soporte mediante ensayos de laboratorio, para usar como criterio de evaluación de la calidad de esta, y posteriormente, como parámetro de diseño en de las estructuras, además es información de salida de estos estudios los perfiles estratigráficos y niveles freáticos.

Son objetivos principales del estudio de suelos evaluar capacidad portante de los suelos de soporte basados en ensayos de laboratorio, además de predecir asentamientos de las estructuras y generar recomendaciones de cimentaciones y excavaciones para la fase de diseño y construcción.

#### 5.7. PRECIPITACIÓN

se definen características estimadas de la hidrología de la zona, considerando los valores de precipitación típicos y su variación a lo largo del año. Estos estudios permitirán la definición de estrategias adecuadas para el manejo de las aguas lluvias, de tal forma que se garantice la integridad estructura de la alternativa de solución propuesta para la vía.

Considerando un periodo mojado como un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en esta zona varía muy considerablemente durante el año.

La temporada de mayores precipitaciones dura aproximadamente 8.2 meses, de 2 de abril a 9 de diciembre, con una probabilidad de más del 53 % de que cierto día será un día mojado. La temporada más seca dura 3.8 meses, del 9 de diciembre al 2 de abril.

Figura 5.12. Probabilidad Diaria de Precipitación.

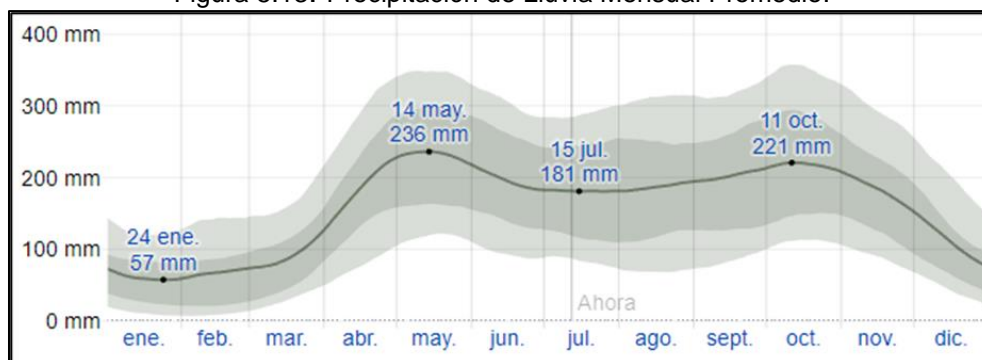


Fuente: Weatherspark.com



La siguiente gráfica muestra la precipitación de lluvia acumulada durante un período móvil de 31 días centrado alrededor de cada día del año. Tarazá tiene una variación extrema de lluvia mensual por estación.

La temporada de lluvia en esta zona se extiende durante todo el año. La mayoría de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 14 de mayo, con una acumulación total promedio de 236 milímetros. La fecha aproximada con la menor cantidad de lluvia es el 24 de enero, con una acumulación total promedio de 57 milímetros.

Figura 5.13. Precipitación de Lluvia Mensual Promedio.



Fuente: Weatherspark.com

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

## 6. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

### 6.1. EXPLORACIÓN DE CAMPO

En las siguientes tablas se muestra la ubicación de los sondeos y un registro fotográfico sobre las exploraciones del subsuelo realizadas. Las perforaciones de campo realizadas para pavimentos y el puente se realizaron hasta 25 metros de profundidad. Se realizaron los sondeos correspondientes para cada una de las estructuras y se realizaron ensayos SPT con equipo de perforación manual con sus respectivos CBR como lo indica la norma.

#### 6.1.1. PROFUNDIDAD DE SONDEOS PARA LA EXPLORACIÓN DE CAMPO

La distribución recomendada se establece por la siguiente tabla:

Tabla 2 Guía para definir el número mínimo de perforaciones (Tabla 3.9, INVIAS, 2012)

| TIPO DE OBRA             | DISTRIBUCIÓN RECOMENDADA                                                                                                      |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          | Para cimentaciones sobre pilas o estribos de 30 metros de ancho o más, ejecutar 2 perforaciones como mínimo, en cada apoyo.   |
| Cimentaciones de puentes | Para cimentaciones sobre pilas o estribos de menos de 30 metros de ancho, ejecutar una perforación como mínimo en cada apoyo. |
|                          | Considerar la ejecución de perforaciones adicionales cuando las condiciones subsuperficiales sean erráticas.                  |

*Fuente: Instituto Nacional de Vías- Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para Carreteras.*



|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                  |

Tabla 3 Numero de sondeos y profundidad mínima establecida (Tabla 10.4.2-1 NCDP)

| Aplicación              | Número mínimos de puntos de exploración y ubicación de los mismos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Longitud mínima de la exploración                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cimentaciones Profundas | <p>Para subestructuras como pilas o estribos de puentes, de ancho menor o igual a 30000 mm, mínimo un punto de exploración por subestructura. Para subestructuras con anchos mayores que 30000 mm mínimo dos puntos de exploración por subestructura. Deben suministrarse puntos adicionales de exploración si se encuentran condiciones superficiales erráticas especialmente en el caso de pilotes encajados dentro del lecho rocoso.</p> | <p>En suelos, la profundidad de exploración debe extenderse por debajo de la cota de elevación proyectada de la punta del pilote hincado o perforado un mínimo de 6000 mm, o un mínimo de dos veces la dimensión máxima del grupo de pilotes, lo que sea mayor.</p> <p>Todas las perforaciones deben extenderse a través de los estratos inapropiados tales como rellenos no consolidados, turba, materiales altamente orgánicos, suelos blandos de grano fino, y suelos sueltos de grano grueso hasta alcanzar materiales duros o densos.</p> <p>Para pilotes apoyados sobre roca, en cada punto de exploración debe obtenerse un mínimo de 3000 mm de núcleo de roca para verificar que la perforación no ha terminado sobre una roca rodante.</p> <p>Para pilotes perforados apoyados en o empotrados dentro de roca, bajo la cota de elevación proyectada de la punta del pilote debe extenderse un mínimo de núcleo de roca de 3000 mm o tres veces el diámetro del pilote para pilotes aislados o dos veces la dimensión máxima del grupo de pilotes, lo que sea mayor, para determinar las características físicas de la roca dentro de la zona de influencia de la cimentación. Tenga en cuenta que para condiciones muy variables de lecho rocoso, o en áreas donde es probable encontrar rocas rodantes muy grandes, puede ser necesario más de 3000 mm de núcleo de roca para verificar que se trata de un lecho rocoso de calidad adecuada.</p> |

Fuente: Norma Colombiana de Diseño de Puentes.



Se espera que los estribos super-estructura del puente cuenten con un ancho menor a 30 metros, por tal razón y basándonos tanto en los requerimientos y guías establecidos, se define una (1) perforación en cada estribo.

Considerando estructuras de este tipo, los pilotes de soporte generalmente oscilan en profundidades entre 15 y 18 metros, y como la profundidad de exploración debe extenderse seis (6) metros por debajo de la punta del pilote, se establece la profundidad mínima de exploración en 25 metros para cada uno de los sondeos.

Durante la ejecución de las perforaciones se realizaron pruebas de penetración estándar (S.P.T.) según la norma ASTM D1586, tomado muestras alteradas o lo menos alteradas posible, consideradas representativas del perfil natural del terreno.


Las muestras fueron descritas en campo siguiendo el procedimiento visual y manual de la norma ASTM D2488. Durante las labores de campo, se detectó aguas libres subterráneas entre 0.95 y 1.2 metros de profundidad en ambos sondeos. Sin embargo, estas condiciones pueden variar en función de la época del año y del régimen de lluvia presentes.



|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-S</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |


### 6.1.2. PUENTE L=35 METROS (K14+590)

Tabla 4 Ubicación de perforaciones del sondeo 1 para el puente de 35m (K14+590)



| UBICACIÓN |                                                  | SONDEO / MUESTRA | FOTOGRAFIA                                                                         |
|-----------|--------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b>  | <b>COORDENADAS</b><br>7°34'4.8692"N-75°28'7.99"O | 1                |  |
|           |                                                  | 2                |                                                                                    |

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 5 Ubicación de perforaciones del sondeo 2 para el puente de 35m (K14+590)

| UBICACIÓN |                                                        | SONDEO / MUESTRA | FOTOGRAFIA                                                                           |
|-----------|--------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>2</b>  | <b>COORDENADAS</b><br>7°34'5.86595"N – 75°28'8.19292"O | 1                |  |
|           |                                                        | 2                |                                                                                      |

*Fuente: Elaboración propia.*

|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |

## 6.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

Sobre las muestras recuperadas se realizaron ensayos de caracterización, y se correlacionaron los datos geotécnicos y de respuestas estructurales con las fórmulas aceptadas por la literatura especializada sobre el tipo de suelo encontrado y la característica del equipo. Los ensayos se realizaron según las Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras del INVIAS del 2013. Para los suelos encontrados en las perforaciones se realizaron los siguientes ensayos:

- Gradación o Granulometría
- Límite líquido
- Límite plástico
- Humedad natural

Tabla 6 Normatividad de ensayos ejecutados

| Ensayo Realizado            | Norma de referencia | Equipos utilizados                                                                        |
|-----------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Determinación de la humedad | I.N.V. E-122-07     | Horno, balanza y recipientes                                                              |
| Tamizado Mecánico           | I.N.V. E-123-07     | Tamices de malla cuadrada, horno, recipientes, balanza con sensibilidad de 0.01 gr y 0.1% |
| Límite líquido              | I.N.V. E-125-07     | Cazuela de casagrande, espátula, ranurador, recipientes de porcelana, balanza y horno     |
| Límite Plástico             | I.N.V. E-126-07     | Vidrio o base plana, recipientes, espátula, recipientes, balanza y horno                  |

*Fuente: Elaboración propia*

## 6.3. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS Y CARACTERÍSTICAS GEOTECNIAS

Los perfiles estratigráficos registrados en las exploraciones de campo realizadas se muestran en las siguientes tablas.

### 6.3.1. PUENTE L=35 METROS (K14+590)

Se muestra los perfiles estratigráficos de las exploraciones realizadas

Localización De los sondeos:

Tabla 7 Localización de sondeos

| Sondeo No. | Abscisa | Lado      | Coordenadas  |             |
|------------|---------|-----------|--------------|-------------|
|            |         |           | Norte        | Oeste       |
| 1          | K14+582 | izquierdo | 07°34'04.87" | 75°28'07.99 |
| 2          | K14+635 | derecho   | 07°34'05.86" | 75°28'08.19 |

*Fuente: Elaboración propia*



|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-8</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                  |

Figura 14 Localización sondeos



Fuente: geolocalización Autocivil 3D

La localización geográfica de los sondeos se muestra en el anexo del plano de localización, en una forma mas explicita con respecto al entorno y diseño en general



|                                                                                                                                                        |                                                                                              |                  |                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br>NIT. No. 901.283.823-5 |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                        | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                 |

Tabla 8 Informe sondeo 1 para para el puente de 35m (K14+582) – Taraza (Antioquia)

| Nivel Freatico: |                 | 0.95-1.10 mts                     |            |              |                       |    |    |                       |                       |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                            | Localizacion (km):                                                                                                                                        |            | Taraza-Antioquia |
|-----------------|-----------------|-----------------------------------|------------|--------------|-----------------------|----|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------|
| ESC             | PROFUNDIDAD (m) | Diametro Int. Tubo de Perforacion | Muestra No | Muestreador  | Golpe/spt Muestreador |    |    | Diametro Ext. Tubo de | Nivel de Freatico (m) | Estratos                                                                                                                                                              | DESCRIPCION                                                                                                                                                                                | OBSERVACIONES                                                                                                                                             |            |                  |
| 1               | 0.0-0.5         | AW                                | 1          | Tubo Partido | 1                     | 2  | 3  | 5                     | AW                    | N.A.P.                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                            | INALTERADA                                                                                                                                                |            |                  |
| 2               | 0.5-1.0         | AW                                | 2          | Tubo Partido | 4                     | 5  | 5  | 10                    | AW                    | 0.95-1.10                                                                                                                                                             | <b>ARENA BIEN GRADUADA<br/>CON LIMO CON GRAVA<br/>DE COLOR PARDO Y<br/>ROJIZO SW-SM</b><br><br>LL: N.L.; LP: NP; IP: NP<br>%HUM=6.8%;<br>GRAVA= 41.1%-%<br>ARENA= 49.5%<br>PASA T200 =9.4% | INALTERADA                                                                                                                                                |            |                  |
| 3               | 1.0-1.5         | AW                                | 3          | Tubo Partido | 8                     | 7  | 8  | 15                    | AW                    |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                            | INALTERADA                                                                                                                                                |            |                  |
| 4               | 1.5-2.0         | AW                                | 4          | Tubo Partido | 9                     | 10 | 11 | 21                    | AW                    |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                            | INALTERADA                                                                                                                                                |            |                  |
| 5               | 2.0-2.5         | AW                                | 5          | Tubo Partido | 10                    | 13 | 12 | 25                    | AW                    |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                            | INALTERADA                                                                                                                                                |            |                  |
| 6               | 2.5-3.0         | AW                                | 6          | Tubo Partido | 11                    | 14 | 16 | 30                    | AW                    |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                            | INALTERADA                                                                                                                                                |            |                  |
| 7               | 3.0-3.5         | AW                                | 6          | Tubo Partido | 15                    | 17 | 18 | 35                    | AW                    |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                            | INALTERADA                                                                                                                                                |            |                  |
| 8               | 3.5-4.0         | AW                                | 6          | Tubo Partido | 9                     | 22 | 27 | 49                    | AW                    |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                            | INALTERADA                                                                                                                                                |            |                  |
| 9               | 4.0-6.0         | AW                                | 6          | Tubo Partido | Rotación              |    |    | R                     | 3"                    |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                            | <b>ARENA LIMOSA DE<br/>COLOR PARDO Y ROJIZO<br/>SM</b><br><br>LL: N.L.; LP: NP; IP: NP<br>%HUM=12.07%;<br>GRAVA= 3.8%<br>ARENA= 49.3%<br>PASA T200 =46.9% | INALTERADA |                  |
| 10              | 6.0-6.5         | AW                                | 6          | Tubo Partido | 20                    | 17 | 26 | 43                    | AW                    | INALTERADA                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                           |            |                  |
| 11              | 6.5-10          | AW                                | 6          | Tubo Partido | Rotación              |    |    | R                     | 3"                    | INALTERADA                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                           |            |                  |
| 12              | 10.0-10.5       | AW                                | 6          | Tubo Partido | 21                    | 20 | 27 | 47                    | AW                    | INALTERADA                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                           |            |                  |
| 13              | 10.5-15.0       | AW                                | 6          | Tubo Partido | Rotación              |    |    | R                     | 3"                    | INALTERADA                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                           |            |                  |
| 14              | 15.0-15.5       | AW                                | 6          | Tubo Partido | 22                    | 22 | 28 | 50                    | AW                    | INALTERADA                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                           |            |                  |
| # REF!          | 20.0-20.5       | AW                                | 7          | Tubo Partido | 25                    | 25 | 28 | 53                    | AW                    | <b>ARENA LIMOSA DE<br/>COLOR DE COLOR<br/>PARDO Y ROJIZO<br/>SM</b><br><br>LL: N.L.; LP: NP; IP: NP<br>%HUM=15.3%;<br>GRAVA= 4.1%<br>ARENA= 48.3%<br>PASA T200 =47.9% | INALTERADA                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                           |            |                  |
| # REF!          | 20.5-25.0       | AW                                | 6          | Tubo Partido | Rotación              |    |    | R                     | 3"                    | INALTERADA                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                           |            |                  |

Fuente: Elaboración propia.


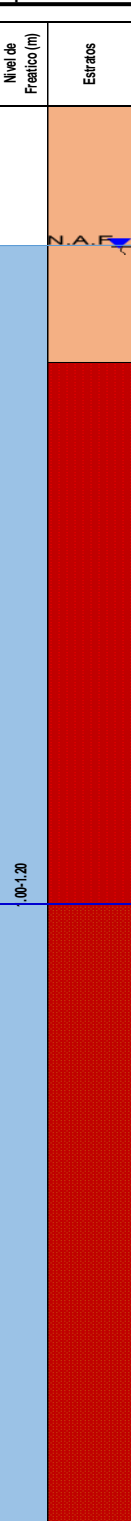


|                                                                                                                                                        |                                                                                              |                  |                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br>NIT. No. 901.283.823-5 |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                        | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                 |

Tabla 9 Informe sondeo 2 para para el puente de 35m (K14+635)- Taraza (Antioquia)

| Nivel Freatico: |                 | 1.00-1.20 mts                     |            |              |                       |    |    |                       |                       |                                                                                              |                                                                                                                                                                         | Localización (km): |  | Tarazá-Antioquia |  |
|-----------------|-----------------|-----------------------------------|------------|--------------|-----------------------|----|----|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--|------------------|--|
| ESC             | PROFUNDIDAD (m) | Diametro Int. Tubo de Perforación | Muestra No | Muestreador  | Golpe/spt Muestreador |    |    | Diametro Ext. Tubo de | Nivel de Freatico (m) | Estratos                                                                                     | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                             | OBSERVACIONES      |  |                  |  |
| 1               | 0.0-0.5         | AW                                | 1          | Tubo Partido | 2                     | 3  | 2  | 5                     | AW                    | <br>N.A.F. | <b>GRAVA MAL GRADUADA<br/>CON ARENA DE COLOR<br/>PARDO CLARO<br/>GP</b><br><br>LL: N.L; LP: NP; IP: NP<br>%HUM=8.05%;<br>GRAVA= 51.6%<br>ARENA= 45%<br>PASA T200 =3.4%  | INALTERADA         |  |                  |  |
| 2               | 0.5-1.0         | AW                                | 2          | Tubo Partido | 5                     | 5  | 4  | 9                     | AW                    |                                                                                              |                                                                                                                                                                         | INALTERADA         |  |                  |  |
| 3               | 1.0-1.5         | AW                                | 3          | Tubo Partido | 4                     | 6  | 6  | 12                    | AW                    |                                                                                              |                                                                                                                                                                         | INALTERADA         |  |                  |  |
| 4               | 1.5-2.0         | AW                                | 4          | Tubo Partido | 12                    | 14 | 12 | 26                    | AW                    |                                                                                              | INALTERADA                                                                                                                                                              |                    |  |                  |  |
| 5               | 2.0-2.5         | AW                                | 5          | Tubo Partido | 13                    | 14 | 14 | 28                    | AW                    |                                                                                              | INALTERADA                                                                                                                                                              |                    |  |                  |  |
| 6               | 2.5-3.0         | AW                                | 6          | Tubo Partido | 15                    | 16 | 17 | 33                    | AW                    |                                                                                              | INALTERADA                                                                                                                                                              |                    |  |                  |  |
| 7               | 3.0-3.5         | AW                                | 6          | Tubo Partido | 20                    | 19 | 21 | 40                    | AW                    |                                                                                              | INALTERADA                                                                                                                                                              |                    |  |                  |  |
| 8               | 3.5-4.0         | AW                                | 6          | Tubo Partido | 15                    | 24 | 26 | 50                    | AW                    |                                                                                              | INALTERADA                                                                                                                                                              |                    |  |                  |  |
| 9               | 4.0-6.0         | AW                                | 6          | Tubo Partido | Rotación              |    |    | R                     | AW                    |                                                                                              | <b>ARENA LIMOSA CON<br/>GRAVA DE COLOR<br/>PARDO Y ROJIZO<br/>SM</b><br><br>LL: N.L; LP: NP; IP: NP<br>%HUM=14.41%;<br>GRAVA=37.3 %<br>ARENA= 50.3%<br>PASA T200 =12.4% | INALTERADA         |  |                  |  |
| 10              | 6.0-6.5         | AW                                | 6          | Tubo Partido | 25                    | 25 | 22 | 47                    | AW                    |                                                                                              |                                                                                                                                                                         | INALTERADA         |  |                  |  |
| 11              | 6.5-10          | AW                                | 6          | Tubo Partido | Rotación              |    |    | R                     | AW                    |                                                                                              |                                                                                                                                                                         | INALTERADA         |  |                  |  |
| 12              | 10.0-10.5       | AW                                | 6          | Tubo Partido | 27                    | 24 | 25 | 49                    | AW                    |                                                                                              | <b>ARENA LIMOSA CON<br/>GRAVA DE COLOR<br/>PARDO Y ROJIZO<br/>SM</b><br><br>LL: N.L; LP: NP; IP: NP<br>%HUM=15.3%;<br>GRAVA=42 %<br>ARENA= 49%<br>PASA T200 =9%         | INALTERADA         |  |                  |  |
| 13              | 10.5-15.0       | AW                                | 6          | Tubo Partido | Rotación              |    |    | R                     | AW                    |                                                                                              |                                                                                                                                                                         | INALTERADA         |  |                  |  |
| 14              | 15.0-15.5       | AW                                | 6          | Tubo Partido | 27                    | 27 | 27 | 54                    | AW                    |                                                                                              |                                                                                                                                                                         | INALTERADA         |  |                  |  |
| 15              | 15.5-20.0       | AW                                | 6          | Tubo Partido | Rotación              |    |    | R                     | AW                    |                                                                                              |                                                                                                                                                                         | INALTERADA         |  |                  |  |
| 16              | 20.0-20.5       | AW                                | 7          | Tubo Partido | 28                    | 26 | 29 | 55                    | AW                    |                                                                                              |                                                                                                                                                                         | INALTERADA         |  |                  |  |
| 17              | 20.5-25.0       | AW                                | 6          | Tubo Partido | Rotación              |    |    | R                     | AW                    |                                                                                              |                                                                                                                                                                         | INALTERADA         |  |                  |  |

Fuente: Elaboración propia.

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

## 6.3.2. RESUMEN DE SONDEOS

### 6.3.2.1. Sondeo No. 1

0.00 – 2.00 m. Arena bien graduada con limo con grava de color pardo y rojizo (SW-SM).

2.00 – 4.00 m. Arena limosa de color pardo y rojizo (SM).

4.00 – 25.00 m. Arena limosa de color pardo y rojizo (SM).

### 6.3.2.2. Sondeo No. 2

0.00 – 2.00 m. Grava mal graduada arena de color pardo claro (GP).

2.00 – 4.00 m. Arena limosa con grava de color pardo y rojizo (SM).

4.00 – 25.00 m. Arena limosa con grava de color pardo y rojizo (SM).

## 6.3.3. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

La estratigrafía del subsuelo hasta las profundidades exploradas corresponde de manera homogénea a suelos de naturaleza friccionante, del tipo arena limosa bien graduada, arenas limosas y grava mal gradada.

### 6.3.3.1. ARENAS LIMOSAS BIEN GRADAS

Las arenas limosas bien graduadas, presentan contenidos de humedad natural con valores del 6.8%, de propiedades plásticas nulas:

- Limite liquido: NL
- Limite plástico: NP
- Índice de plasticidad: NP

Su contenido de grava arrojó valores de 41.1%, contenido de arena 49.5% y partículas inferiores al tamiz 200 de 9.4%. En el sistema unificado de suelos (U.S.C.S con sus siglas en inglés) clasifica como SW-SM, mientras que en la metodología AASHTO clasifica como A-1-b (0).



### 6.3.3.2. ARENAS LIMOSAS

Las arenas limosas, cuentan con contenidos de humedad natural con valores que oscilan entre 12.1% y 15.3%, de propiedades plásticas nulas:

- Limite liquido: NL
- Limite plástico: NP
- Índice de plasticidad: NP

Su contenido de grava arrojó valores entre 3.8% y 42%, contenido de arena entre 48.3% y 50.3%, las partículas inferiores al tamiz 200 estuvo entre 9% y 47.2%. En el sistema unificado de suelos (U.S.C.S con sus siglas en inglés) clasifica como SM, mientras que en la metodología clasifica como AASHTO A-1-b (0).



|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

### 6.3.3.3. GRAVAS MAL GRADUADAS CON ARENA

Las gravas mal graduadas, cuentan con contenidos de humedad natural con valores de 8.05%, de propiedades plásticas nulas:

- Limite liquido: NL
- Limite plástico: NP
- Índice de plasticidad: NP

Su contenido de grava arrojó valores 51.6%, contenido de arena 45%, las partículas inferiores al tamiz 200 3.4%. En el sistema unificado de suelos (U.S.C.S con sus siglas en inglés) clasifica como GP, mientras que en la metodología AASHTO clasifico como A-1-b (0) y A-4 (0).

Los suelos friccionantes encontrados, se caracterizan por presentar permeabilidades de medias a altas, no son susceptibles a experimentar cambios de volumen al variar su contenido de humedad natural, debido a que sus propiedades plásticas fueron nulas. Estos suelos presentan compacidades relativas que van desde sueltas a nivel superficial a muy densa en los estratos profundos.

Tabla 10 Correlación entre el número de golpes del SPT corregido  $(N_1)_{60}$  con la densidad Relativa  $D_r$  (%)

| No. de penetración estándar corregido, $(N_1)_{60}$ | Densidad Relativa aproximada, $D_r$ (%) | Compacidad |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------|
| 0 – 5                                               | 0-5                                     | Muy suelta |
| 5 – 10                                              | 5-30                                    | Suelta     |
| 10 – 30                                             | 30-60                                   | Mediana    |
| 30 – 50                                             | 60-95                                   | Densa      |
| Mayor que 50                                        | > 95                                    | Muy densa  |



Fuente: Braja M. Das, Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones.

## 6.4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO SPT

### 6.4.1. GENERALIDADES DEL ENSAYO SPT

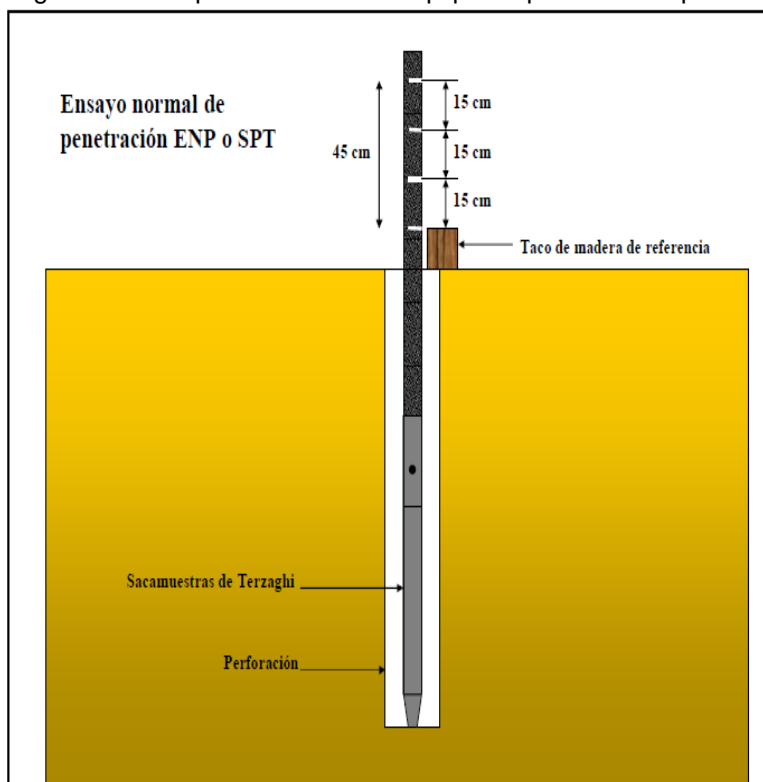
El método de exploración de campo se realizó por medio de pruebas de penetración estándar (SPT), según la norma ASTM D1586 y rotación por lavado cuando la dureza del suelo lo ameritaba. Los resultados del ensayo de penetración estándar (SPT) permiten realizar una serie de correlaciones de importancia para los cálculos geotécnicos, algunas de las cuales son corroboradas, corregidas y/o ampliadas con ensayos de laboratorio.

El ensayo SPT consiste en contar el número de golpes necesarios para profundizar, en tres intervalos de 15 cm, en el depósito de suelo a una determinada profundidad

|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO<br/>TERRITORIAL<br/>2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                          |

utilizando un muestreador metálico del tipo cuchara partida (Split spoon). El número de golpes correspondientes al primer intervalo de 15 cm no se tiene en cuenta en el resultado del ensayo. Los golpes correspondientes a los siguientes 30 cm son los considerados como los representativos del ensayo, es decir  $N_2$  y  $N_3$ . El resultado final del ensayo SPT es la suma del número de golpes de  $N_2$  y  $N_3$ , es decir  $N\text{-SPT} = N_2 + N_3$ .

Figura 6.15 Esquematzación de equipo de perforación tipo SPT



Fuente: *Mecánica De Suelos En Obras Viales Y De Fundación - Espinace, R*

De acuerdo con el procedimiento estandarizado, se realizan correcciones de los resultados del ensayo considerando parámetros como el sistema de maniobra del equipo, la presión efectiva de los suelos, la ubicación del nivel freático y la eficiencia de la energía de hincado, la cual se tomará como 60%. El número de golpes corregido  $N_{60}$  se calcula como:



$$N_{60} = NSPT C_e C_s C_r C_b$$

Donde:

$C_e$  = factor corrector por energía

$C_r$  = factor corrector por longitud de barras

$C_s$  = corrección por el uso de una Cuchara Normal sin tubo muestreador en su interior ("liner")

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-S</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

$C_b$  = corrección de acuerdo con el diámetro de la perforación

Además de las correcciones anteriores, se realiza una corrección por confinamiento del número de golpes. El factor de corrección por confinamiento  $C_N$  está definido como la relación entre la resistencia medida del S.P.T. para una presión vertical efectiva dada ( $\sigma_v$ ), a la resistencia medida a un esfuerzo vertical standard ( $\sigma_v$ )<sub>REF</sub>, normalmente 1T/pie<sup>2</sup> o 1Kg/cm<sup>2</sup>. En la práctica el valor del número de golpes corregido ( $N_1$ )<sub>60</sub>, se obtiene usando la siguiente relación:

$$(N_1)_{60} = C_N \cdot N_{60}$$

#### 6.4.2. CORRELACIONES DEL ENSAYO SPT

Los cálculos de las correlaciones de los parámetros del material se realizaron asistidos por el programa NovoSPT. A continuación, se detallan las correlaciones utilizadas, las cuales se escogieron teniendo en cuenta el tipo de suelo encontrado en las exploraciones geotécnicas.

##### 6.4.2.1. CORRELACIONES ENTRE EL NÚMERO DE GOLPES "N" Y EL MÓDULO ELÁSTICO DE YOUNG

Existen numerosas correlaciones entre N y el módulo elástico E. Para este caso, se evaluaron diferentes formulaciones propuestas en la literatura, las cuales se describen a continuación.

**Menzenbach (1961)** propone:

$$E \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] = C_1 + C_2 N_{60}$$

Donde  $C_1$  y  $C_2$  son constantes que varían según el tipo de suelo. En la siguiente tabla se pueden observar sus valores.

Tabla 11. Constantes  $C_1$  y  $C_2$  para el cálculo del módulo de elasticidad de las arenas en función del número de golpes  $N_{60}$  según Menzenbach (1961)

| Tipo de suelo                    | $C_1$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | $C_2$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Arena fina (por encima de G.W.T) | 52                          | 3.3                         |
| Arena fina (por debajo de G.W.T) | 71                          | 4.9                         |
| Arena media                      | 39                          | 4.5                         |
| Arena gruesa                     | 38                          | 10.5                        |
| Arena + Grava                    | 43                          | 11.8                        |
| Arena limosa                     | 24                          | 5.3                         |
| Limo                             | 12                          | 5.8                         |

*Fuente: Theory and practice of foundation design- N.N SOM, S.C DAS.*

**AASHTO (1996)** propone las siguientes relaciones entre el valor de ( $N_1$ )<sub>60</sub> y el módulo de Young dependiendo del tipo de suelo:



|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |

Tabla 12 Correlación entre el número de golpes  $(N_1)_{60}$  y el módulo elástico de Young del suelo según AASHTO (1996)

| Soil Type                                           | Equivalent Elastic Modulus (kPa) |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------|
| Silts, sandy silts, slightly cohesive mixtures      | 400 $(N_1)_{60}$                 |
| Clean fine to medium sands and slightly silty sands | 700 $(N_1)_{60}$                 |
| Coarse sands and sands with little gravel           | 1,000 $(N_1)_{60}$               |
| Sandy gravels                                       | 1,200 $(N_1)_{60}$               |

Fuente: Geotechnical Engineering Circular No. 5 (Evaluation of Soil and Rock Properties) - Federal Highway Administration (FHWA)



**Tan et al. (1991)** propone las siguientes relaciones entre el valor de N y el módulo de Young dependiendo del tipo de suelo:

Tabla 13 Correlación entre el número de golpes  $N_{60}$  y el módulo elástico de Young del suelo según Tan et al. (1991)

| Soil                         | SPT*                                                                                                                                                                                                                                                    | CPT                                                    |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Sand (normally consolidated) | $E_s = 500(N + 15)$<br>$E_s = (15000 \text{ to } 22000) \ln N$                                                                                                                                                                                          | $E_s = 2 \text{ to } 4 q_c$<br>$E_s = (1 + D_r^2) q_c$ |
| Sand (over-consolidated)     | $E_s = 18000 + 750N$<br>$E_{sOCR} = E_{sNC} (OCR)^{0.5}$                                                                                                                                                                                                | $E_s = 6 \text{ to } 30 q_c$                           |
| Gravelly sand and gravel     | $E_s = 600(N + 6) \quad N \leq 15$<br>$E_s = 600(N + 6) + 2000 \quad N > 15$                                                                                                                                                                            |                                                        |
| Clayey sand                  | $E_s = 320(N + 15)$                                                                                                                                                                                                                                     | $E_s = 3 \text{ to } 6 q_c$                            |
| Silty sand                   | $E_s = 300(N + 6)$                                                                                                                                                                                                                                      | $E_s = 1 \text{ to } 2 q_c$                            |
| Soft clay                    | ---                                                                                                                                                                                                                                                     | $E_s = 3 \text{ to } 8 q_c$                            |
| Clay                         | expressed in terms undrained shear strength, $S_u$ ; and in same pressure units as $S_u$ .<br><br>$I_p > 30$ or organic $E_s = 100 \text{ to } 500 S_u$<br>$I_p < 30$ or stiff $E_s = 500 \text{ to } 1500 S_u$<br><br>$E_{sOCR} = E_{sNC} (OCR)^{0.5}$ |                                                        |

Note: \* Units of  $E_s$  is in kPa (1 tsf = 100 kPa).

Fuente: Engineering Manual for shallow foundations. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP Project 24-4) – Tan et al. (1991).

|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                  |

#### 6.4.2.2. CORRELACIONES ENTRE EL NÚMERO DE GOLPES "N" Y LA RESISTENCIA EFECTIVA DE LOS SUELOS

Existen numerosas correlaciones entre  $N$  y  $\phi'$ , pero, antes de mencionar algunas de ellas, es conveniente discutir cual valor de  $\phi'$  es el que se está obteniendo. Dado que la mayor parte de estas correlaciones fueron obtenidas con materiales granulares, para los cuales usualmente  $c' = 0$ , lo que realmente se obtiene es la relación entre esfuerzos cortantes y esfuerzos normales efectivos, es decir:

$$\phi'_{SPT} = \phi'_{eq} = \arctan(\tau/\sigma')$$

Donde ( $\phi'$ ) es el ángulo de fricción real y ( $\phi'_{eq}$ ) es el ángulo de fricción equivalente. Con lo anterior, algunas de las relaciones entre  $\phi'_{eq}$  y los resultados del ensayo SPT evaluadas para este caso son:

##### JRA (1990)

Para arenas con  $N_{60} > 5$  propone:

$$\phi = 15 + (15 N)^{0.5}$$

##### Peck et al. (1953)

Para suelos granulares propone:

$$\phi = 27.1 + 0.3 N - 0.00054 N^2$$

##### Wolff (1989)

Para suelos granulares propone:

$$\phi = 27.1 + 0.3 N - 0.00054 N^2$$

#### 6.4.2.3. CORRELACIONES ENTRE EL NÚMERO DE GOLPES "N" Y LA RESISTENCIA NO DRENADA DE LOS SUELOS

Existen numerosas correlaciones entre  $N$  y la cohesión no drenada de los suelos arcillosos,  $c_u$ . Para este caso, se evaluaron diferentes formulaciones propuestas en la literatura, las cuales se describen a continuación.



De acuerdo con Bowles (1988), la cohesión no drenada del suelo se puede estimar como:

$$c_u[\text{kN/m}^2] = 5.75 N_{60}$$

Por su parte, Kulhawy and Mayne (1990) proponen:

$$\frac{c_u}{p_a} = 0.06 N_{60}$$



|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

Reese, Touma y O'Neill (1976) proponen por su parte:

$$c_u[\text{kN/m}^2] = 7 N_{60}$$

Finalmente, según Terzaghi y Peck (1976):

$$c_u[\text{kN/m}^2] = 13 N_{60}$$

#### 6.4.2.4. CORRELACIONES ENTRE EL NÚMERO DE GOLPES "N" Y EL PESO ESPECÍFICO SATURADO DE LOS SUELOS

Se utiliza la recomendación de Kulhawy and Mayne (1990) para correlacionar los pesos unitarios saturados (bajo el nivel freático) de los suelos en  $\text{kN/m}^3$  con el número de golpes, como:

Tabla 14 Correlación entre el número de golpes N y el peso específico saturado del suelo según Kulhawy and Mayne (1990)

| SPT-N        | $\gamma_{\text{sat}}$ |                 | $\gamma_{\text{sub}}$ |                 | $\phi$<br>Degree |
|--------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|------------------|
|              | pcf                   | $\text{kN/m}^3$ | pcf                   | $\text{kN/m}^3$ |                  |
| <b>Sands</b> |                       |                 |                       |                 |                  |
| 0-2          | 100                   | 15.7            | 37.6                  | 5.9             | 26               |
| 3-4          | 100                   | 15.7            | 37.6                  | 5.9             | 28               |
| 4-10         | 105                   | 16.5            | 42.6                  | 6.7             | 29               |
| 10-20        | 110                   | 17.3            | 47.6                  | 7.5             | 30               |
| 20-30        | 115                   | 18.1            | 52.6                  | 8.3             | 32               |
| 30-40        | 120                   | 18.9            | 57.6                  | 9.1             | 33               |
| >40          | 125                   | 19.6            | 62.6                  | 9.8             | 34               |
| <b>Clay</b>  |                       |                 |                       |                 |                  |
| 0-2          | 105                   | 16.5            | 42.6                  | 6.7             | 0                |
| 2-4          | 110                   | 17.3            | 47.6                  | 7.5             | 0                |
| 4-8          | 115                   | 18.1            | 52.6                  | 8.3             | 0                |
| 8-15         | 120                   | 18.9            | 57.6                  | 9.1             | 0                |
| 15-30        | 125                   | 19.6            | 62.6                  | 9.8             | 0                |
| >30          | 125                   | 19.6            | 62.6                  | 9.8             | 0                |

Fuente: *The Foundation Engineering Handbook*. Gunaratne (2006).

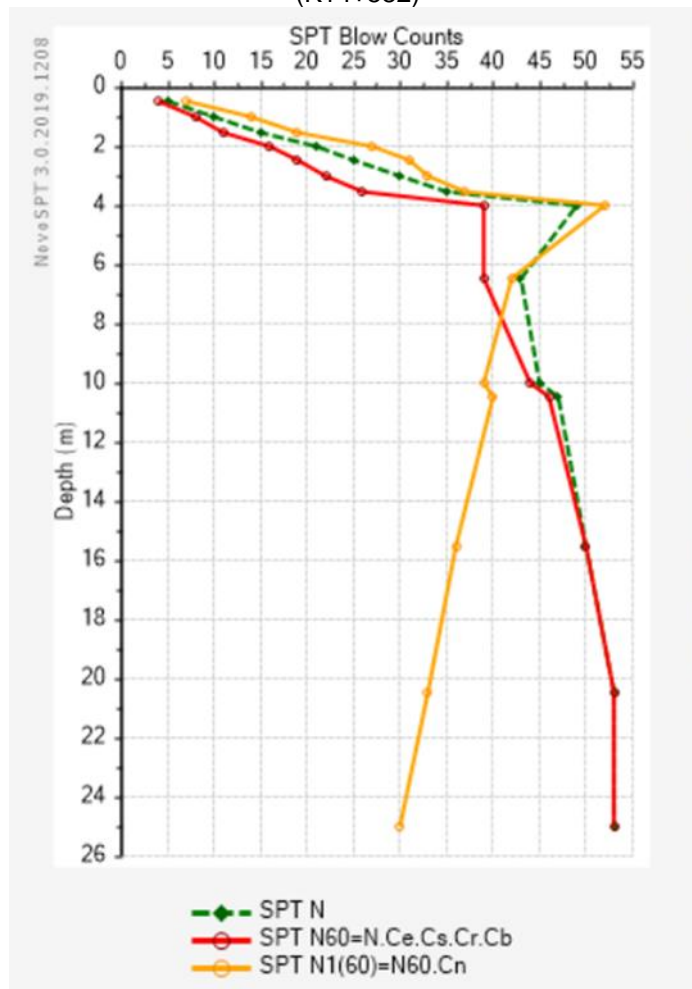
#### 6.4.3. RESULTADOS DEL ENSAYO SPT

Los resultados de los ensayos realizados en las zonas de estudio se presentan en las siguientes figuras, junto con las correlaciones realizadas para la caracterización del material.

### 6.4.3.1. PUENTE L=35 METROS (K14+590)

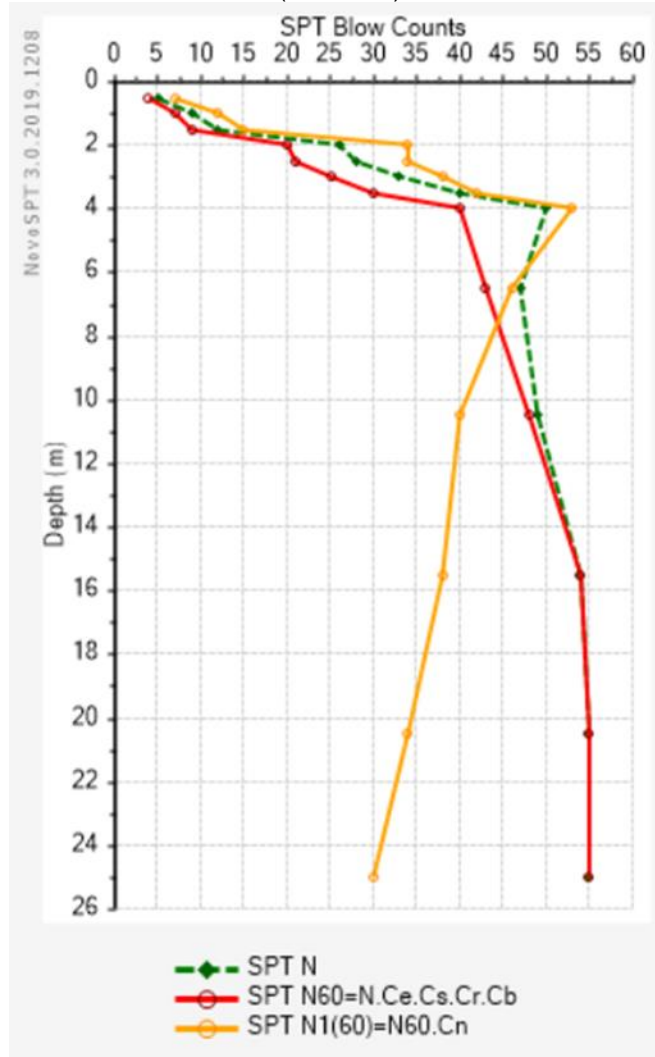
#### 6.4.3.1.1. NÚMERO DE GOLPES DEL ENSAYO SPT

Figura 6.16 Número de golpes del ensayo SPT - Sondeo 1 para PUENTE L=35 METROS (K14+582)



Fuente: Elaboración propia en software NovoSPT

Figura 6.17 Número de golpes del ensayo SPT - Sondeo 2 para PUENTE L=35 METROS (K14+635)

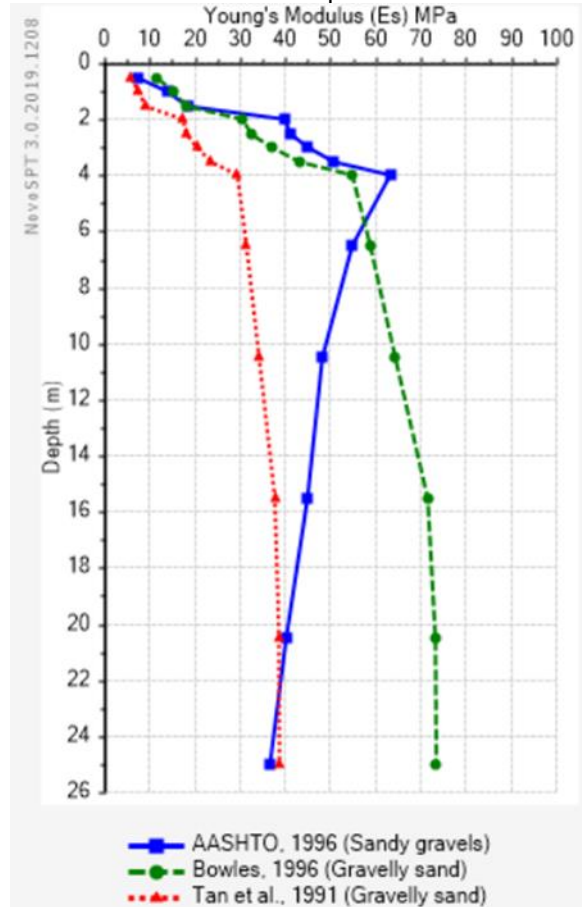


Fuente: Elaboración propia en software NovoSPT

### 6.4.3.1.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD

Los resultados de las correlaciones del módulo de elasticidad con el número de golpes se presentan en las siguientes gráficas, considerando para cálculo las formulaciones propuestas por AASHTO (1996).

Figura 6.18 módulo de elasticidad - sondeo 1 para PUENTE L=35 METROS (K14+582)



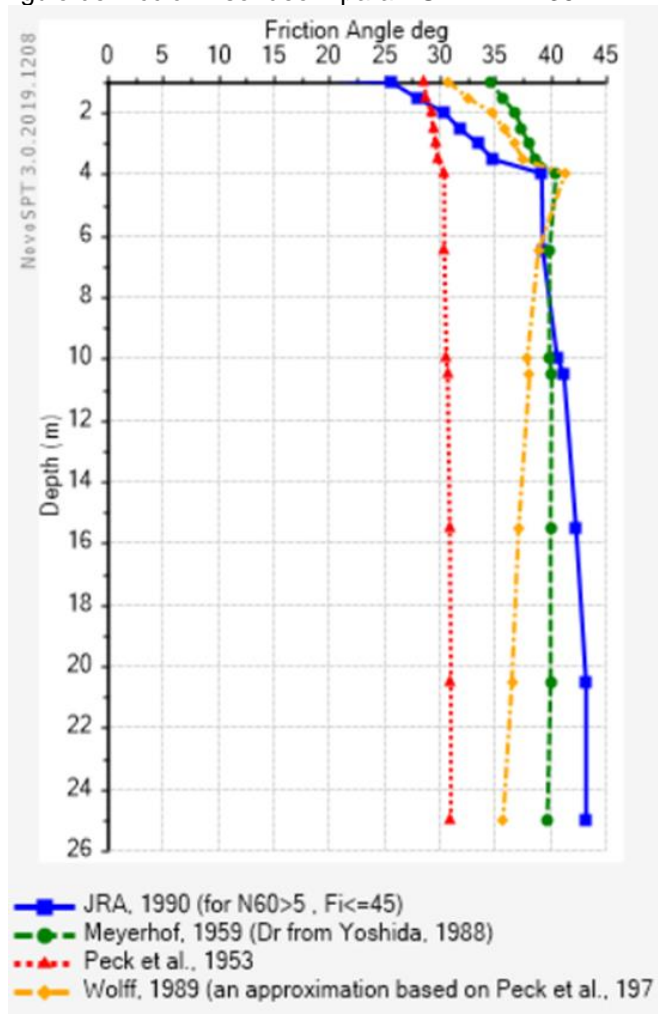
Fuente: Elaboración propia en software NovoSPT

Datos de diseño correlacionados de Bowles, 1996 para gravas y arenas

### 6.4.3.1.3. ÁNGULO DE FRICCIÓN

Los resultados de las correlaciones del ángulo de fricción con el número de golpes se presentan en las siguientes gráficas, considerando para cálculo las formulaciones propuestas por Wolff (1989).

Figura 6.19 ángulo de fricción - sondeo 1 para PUENTE L=35 METROS (K14+582)

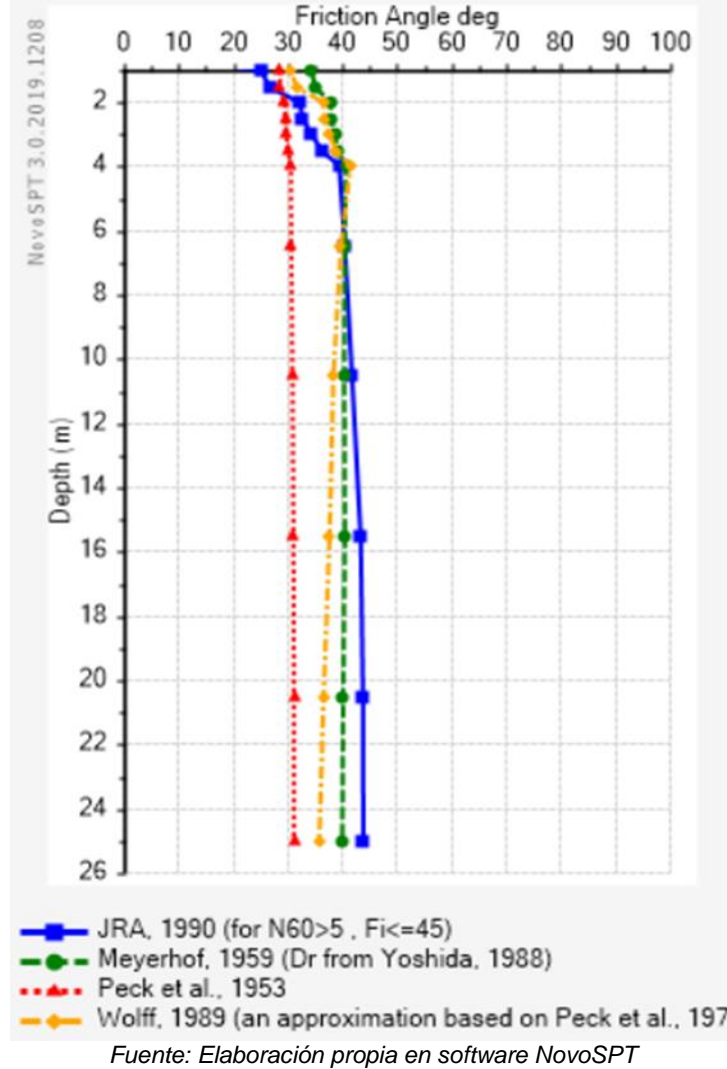


Fuente: Elaboración propia en software NovoSPT

Datos de diseño correlación de Peck et al, 1953.



Figura 6.20 ángulo de fricción - sondeo 2 para PUENTE L=35 METROS (K14+635)

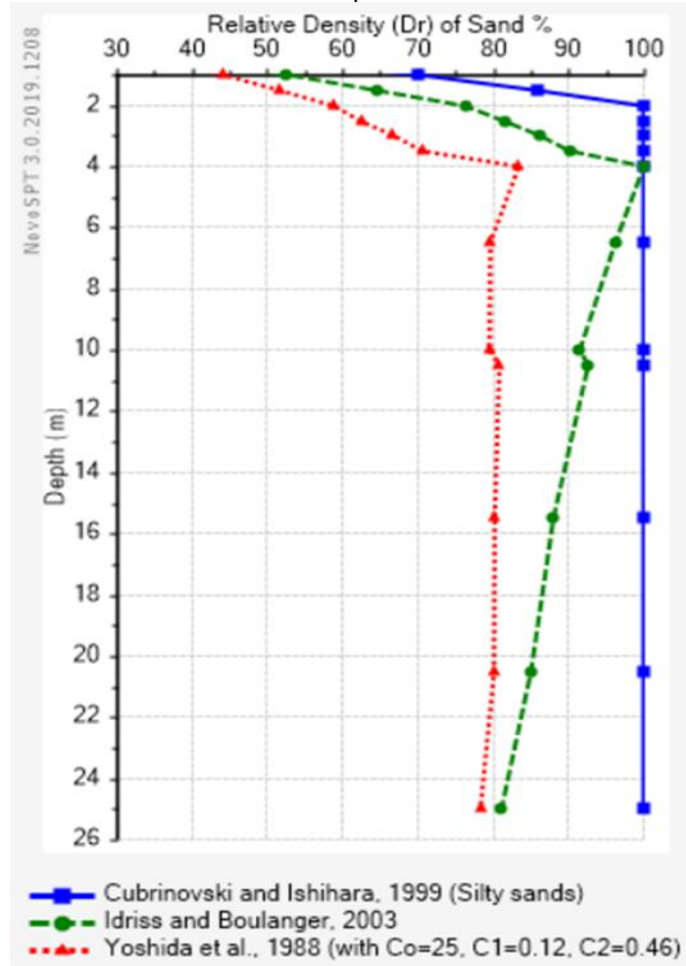


Datos de diseño correlación de Peck et al, 1953.

#### 6.4.3.1.4. DENSIDAD RELATIVA

Los resultados de las correlaciones de la densidad relativa de los suelos granulares con el número de golpes se presentan en las siguientes gráficas.

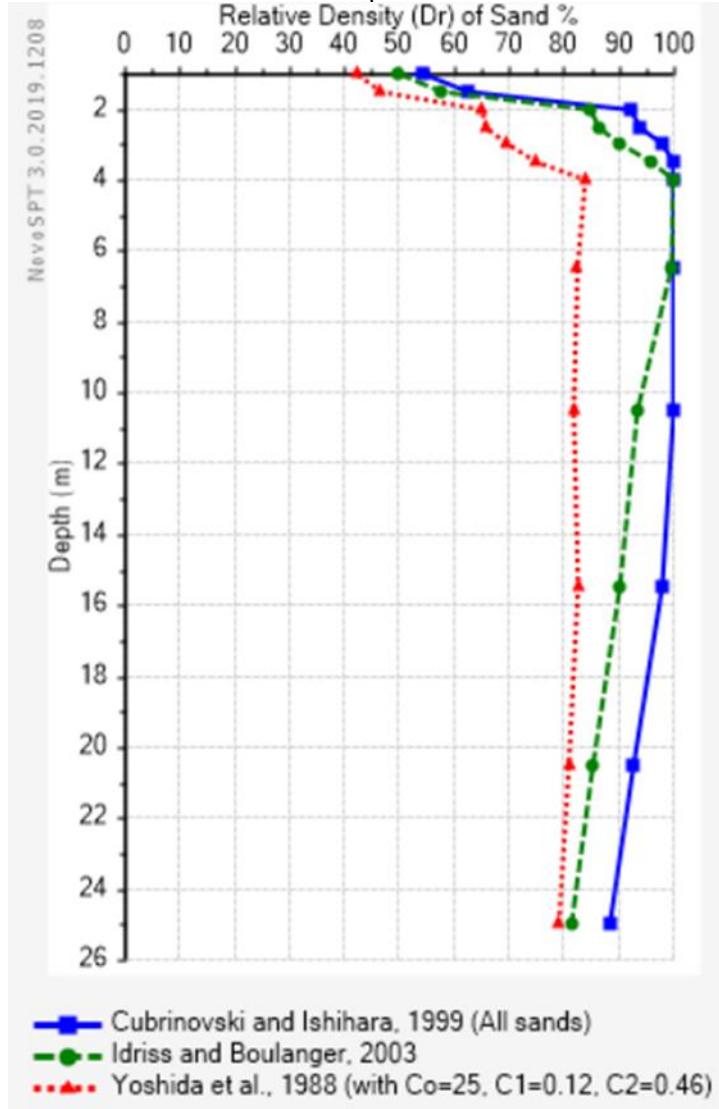
Figura 6.21 Densidad relativa - Sondeo 1 para PUENTE L=35 METROS (K14+582)



Fuente: Elaboración propia en software NovoSPT



Datos de diseño correlación de Idriss and Boulanger, 2003

Figura 6.22 Densidad relativa - Sondeo 2 para PUENTE L=35 METROS (K14+635)



Fuente: Elaboración propia en software NovoSPT

Datos de diseño correlación de Idriss and Boulanger, 2003

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

## 6.5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO

En esta sección se detallan los resultados de los ensayos realizados sobre las muestras recuperadas de la exploración de campo. De acuerdo con los resultados de clasificación de suelos, se muestra una homogeneidad de los suelos en los sitios correspondientes al puente L=35 metros (K14+590), en donde predominan los suelos granulares, sin plasticidad.

### 6.5.1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Una vez ensayadas las muestras recuperadas en cada uno de los sondeos del proyecto se presentan las tablas de resúmenes de sondeos dentro de las cuales están los valores de humedad natural, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad y clasificación de suelos según el sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.) y el sistema de clasificación AASHTO. Las muestras se ensayaron según las normas del Ensayos de Materiales del INVIAS o sus similares ASTM. Se muestran los datos del diseño de acuerdo con la sectorización realizada en los dos sondeos

#### 6.5.1.1. EXPLORACION PARA PUENTE L=35 METROS (K14+590)

Tabla 15 Arena bien graduada con limo con grava de color pardo y rojizo (SW-SM) para puente L=35 metros (K14+582) – Estrato característico |

| PARÁMETRO                           | RESULTADOS                                        |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Contenido de Humedad                | 6.8%                                              |
| Límite Líquido                      | NL                                                |
| Límite Plástico                     | NP                                                |
| Índice de Plasticidad               | NP                                                |
| % Grava                             | 41.1%                                             |
| % Arena                             | 49.1%                                             |
| Pasa tamiz 200                      | 9.4 %                                             |
| Clasificación U.S.C.S               | SW-SM                                             |
| Clasificación AASHTO                | A-1-b (0)                                         |
| Peso Unitario Húmedo*               | 20.56 kN/m <sup>3</sup> – 21.63 kN/m <sup>3</sup> |
| Gravedad específica de los sólidos* | 2,60 – 2,64                                       |
| Angulo de fricción Interna*         | 30° – 33°                                         |
| Densidad Relativa*                  | 40.47% – 78.40%                                   |
| Coefficiente de Poisson*            | 0.31 – 0.33                                       |
| Módulo de esfuerzo – deformación*   | 3.3 MPa – 9.3 MPa                                 |

\_\_\_\_\_  
 Fuente: Elaboración propia.

\*En correlación con el ensayo de penetración normal.



|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |

Tabla 16 Arena limosa de color pardo y rojizo (SM). para puente L=35 metros (K14+590) Estrato característico 2

| <b>PARÁMETRO</b>                    | <b>RESULTADOS</b>                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Contenido de Humedad                | 12.1% – 15.3%                                     |
| Límite Líquido                      | NL                                                |
| Límite Plástico                     | NP                                                |
| Índice de Plasticidad               | NP                                                |
| % Grava                             | 3.8% – 42%                                        |
| % Arena                             | 48.3% – 50.3%                                     |
| Pasa tamiz 200                      | 9.0% – 47.2%                                      |
| Clasificación U.S.C.S               | SM                                                |
| Clasificación AASHTO                | A-1-b (0)                                         |
| Peso Unitario Húmedo*               | 21.63 kN/m <sup>3</sup> – 22.46 kN/m <sup>3</sup> |
| Gravedad específica de los sólidos* | 2,62 – 2,66                                       |
| Angulo de fricción Interna*         | 34° – 37°                                         |
| Densidad Relativa*                  | 81.37% – 94.63%                                   |
| Coeficiente de Poisson*             | 0.30 – 0.34                                       |
| Módulo de esfuerzo – deformación*   | 10.67 MPa – 51.37 MPa                             |

*Fuente: Elaboración propia.*

\*En correlación con el ensayo de penetración normal.





|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-S</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |

Tabla 17 Grava mal graduada arena de color pardo claro (GP). Para puente L=35 metros (K14+590) Estrato característico 3

| PARÁMETRO                           | RESULTADOS              |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Contenido de Humedad                | 8.05%                   |
| Límite Líquido                      | NL                      |
| Límite Plástico                     | NP                      |
| Índice de Plasticidad               | NP                      |
| % Grava                             | 51.6%                   |
| % Arena                             | 45.0%                   |
| Pasa tamiz 200                      | 3.4%                    |
| Clasificación U.S.C.S               | GP                      |
| Clasificación AASHTO                | A-1-b (0); A-4 (0)      |
| Peso Unitario Húmedo*               | 20.85 kN/m <sup>3</sup> |
| Gravedad específica de los sólidos* | 2,62 – 2,66             |
| Angulo de fricción Interna*         | 30° – 34°               |
| Densidad Relativa*                  | 37.53% – 80.73%         |
| Coefficiente de Poisson*            | 0.30 – 0.32             |
| Módulo de esfuerzo – deformación*   | 8.37 MPa – 29.23 MPa    |

*Fuente: Elaboración propia.*

Los anteriores tres reportes de parámetros geotécnicos son los representativos de los sondeos realizados y en base a los cuales se realizar las modelaciones geotécnicas.

\*En correlación con el ensayo de penetración normal.

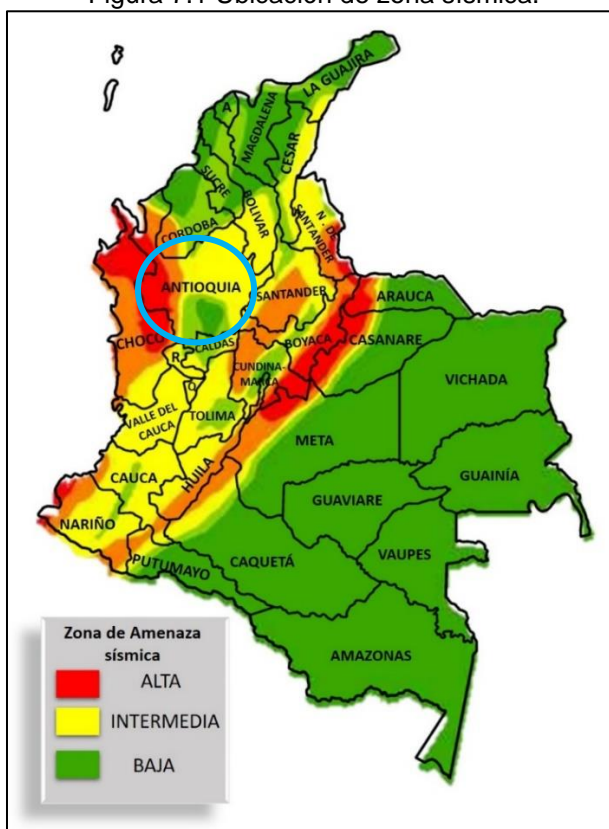
## 7. FUERZAS SÍSMICAS

### 7.1. MOVIMIENTOS SÍSMICOS DE DISEÑO

Los movimientos sísmicos de diseño se definen en función de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro  $A_a$ , y de la velocidad pico efectiva, representado por el parámetro  $A_v$ , para una probabilidad del diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años. Los valores de estos coeficientes, para efectos de este Reglamento.

Se determina el número de la región en donde está localizada la construcción usando para  $A_a$  el mapa de la gráfica y el número de la región donde está localizada la construcción para  $A_v$ , en el mapa de la figura 7.

Figura 7.1 Ubicación de zona sísmica.



Fuente: Elaboración propia.

En este orden de ideas, de acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR – 10), la amenaza sísmica intermedia corresponde a aquellas zonas en las que los coeficientes de aceleración horizontal pico efectiva ( $A_a$ ) y velocidad horizontal pico efectiva ( $A_v$ ), se encuentran dentro del rango entre 0.10 y 0.20. En el caso particular del municipio de Mutatá, los valores para los coeficientes mencionados se presentan en la tabla 17.



|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-8</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |

Tabla 18. Definición de la Zona de Amenaza Sísmica de los Municipios Colombianos.

| <b>Departamento de Antioquia</b> |                  |             |             |                         |             |             |
|----------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------|
| Municipio                        | Código Municipio | $A_a$       | $A_v$       | Zona de Amenaza Sísmica | $A_e$       | $A_d$       |
| San Luis                         | 05660            | 0.15        | 0.25        | Alta                    | 0.12        | 0.06        |
| San Pedro                        | 05664            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.12        | 0.06        |
| San Pedro de Urabá               | 05665            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.06        | 0.04        |
| San Rafael                       | 05667            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.09        | 0.05        |
| San Roque                        | 05670            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.08        | 0.05        |
| San Vicente                      | 05674            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.11        | 0.06        |
| Santa Bárbara                    | 05679            | 0.20        | 0.25        | Alta                    | 0.16        | 0.09        |
| Santa Rosa de Osos               | 05686            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.10        | 0.05        |
| Santafé de Antioquia             | 05042            | 0.20        | 0.20        | Intermedia              | 0.13        | 0.07        |
| Santo Domingo                    | 05690            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.09        | 0.05        |
| Santuario                        | 05697            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.11        | 0.06        |
| Segovia                          | 05736            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.10        | 0.05        |
| Sonsón                           | 05756            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.12        | 0.07        |
| Sopetrán                         | 05761            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.15        | 0.08        |
| Támesis                          | 05789            | 0.25        | 0.25        | Alta                    | 0.16        | 0.09        |
| <b>Tarazá</b>                    | <b>05790</b>     | <b>0.15</b> | <b>0.20</b> | <b>Intermedia</b>       | <b>0.08</b> | <b>0.04</b> |
| Tarso                            | 05792            | 0.25        | 0.25        | Alta                    | 0.16        | 0.09        |
| Titiribí                         | 05809            | 0.20        | 0.20        | Intermedia              | 0.15        | 0.08        |
| Toledo                           | 05819            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.13        | 0.07        |
| Turbo                            | 05837            | 0.25        | 0.25        | Alta                    | 0.13        | 0.07        |
| Uramita                          | 05842            | 0.25        | 0.25        | Alta                    | 0.12        | 0.07        |
| Urrao                            | 05847            | 0.30        | 0.30        | Alta                    | 0.17        | 0.10        |
| Valdivia                         | 05854            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.11        | 0.05        |
| Valparáiso                       | 05856            | 0.25        | 0.25        | Alta                    | 0.15        | 0.09        |
| Vegachí                          | 05858            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.08        | 0.05        |
| Venecia                          | 05861            | 0.20        | 0.25        | Alta                    | 0.15        | 0.08        |
| Vigía del Fuerte                 | 05873            | 0.35        | 0.35        | Alta                    | 0.22        | 0.12        |
| Yalí                             | 05885            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.09        | 0.05        |
| Yarumal                          | 05887            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.09        | 0.05        |
| Yolombó                          | 05890            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.08        | 0.04        |
| Yondó                            | 05893            | 0.15        | 0.15        | Intermedia              | 0.06        | 0.04        |
| Zaragoza                         | 05895            | 0.15        | 0.20        | Intermedia              | 0.05        | 0.03        |

Fuente: Adaptado de Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR – 10).

## 7.2. ESTIMACIÓN DEL PERFIL DE SUELO EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE.

Basados en la tabla A.2.4.-1 de la NSR-10 Título A, el parámetro fundamental que define el perfil de suelo es la velocidad promedio de onda de onda de cortante, la cual se estimó con distintas correlaciones empíricas de diferentes autores, en función del número de golpes obtenidos del ensayo SPT:



|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>INT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |

Tabla 19. Correlaciones para determinar el perfil de suelos en función del número de golpes N obtenidos en el ensayo SPT.

| Investigadores                | Ecuación                          | Observaciones                                                                                                                          |
|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Imai y Yoshimura (1970)       | $V_s = 76 N^{0.33}$               |                                                                                                                                        |
| Ohba y Toriumi (1970)         | $V_s = 84 N^{0.31}$               |                                                                                                                                        |
| Imai (1977)                   | $V_s = a N^b$                     | a=102, b=0.29 Arcilla Holoceno<br>a= 81, b=0.33 Arena Holoceno<br>a=114, b=0.29 Arcilla Pleistoceno<br>a= 97, b=0.32 Arena Pleistoceno |
| Ohta y Goto (1978)            | $V_s = 61.62 H^{0.222} N^{0.254}$ | Para todo tipo de suelo<br>H=Profundidad del ensayo                                                                                    |
|                               | $V_s = 62.14 H^{0.230} N^{0.219}$ | Para Arcillas<br>H=Profundidad del ensayo                                                                                              |
| Okamoto (1989)                | $V_s = 125 N^{0.3}$               | Arena del Pleistoceno                                                                                                                  |
| Japan Road Association (2002) | $V_s = 80 N^{1/3}$                | Para Arenas                                                                                                                            |
|                               | $V_s = 100 N^{1/3}$               | Para Arcillas                                                                                                                          |
| Alfaro (2007)                 | $V_s = 91.44 H^{0.291} N^{0.298}$ | Para Arcillas de Bogotá<br>H=Profundidad del ensayo                                                                                    |

Fuente: Elaboración propia.

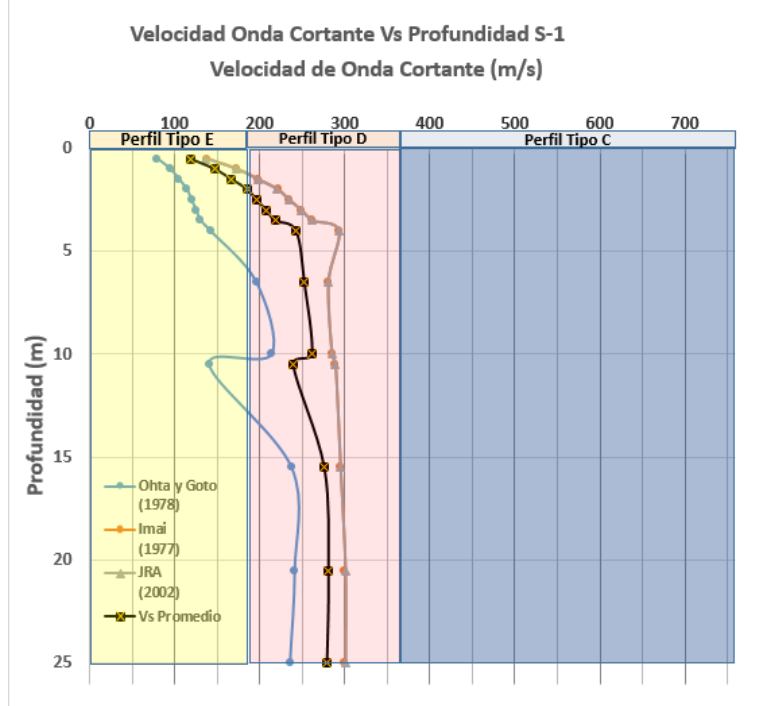
Tabla 20. Criterios para clasificar suelos dentro de los perfiles de suelo tipos C, D o E (Tabla A.2.4-2 NSR-10).

| Tipo de perfil | $\bar{v}_s$         | $\bar{N}$ o $\bar{N}_{ch}$ | $\bar{s}_u$                                           |
|----------------|---------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------|
| C              | entre 360 y 760 m/s | mayor que 50               | mayor que 100 kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> ) |
| D              | entre 180 y 360 m/s | entre 15 y 50              | entre 100 y 50 kPa (0.5 a 1 kgf/cm <sup>2</sup> )     |
| E              | menor de 180 m/s    | menor de 15                | menor de 50 kPa ( $\approx 0.5$ kgf/cm <sup>2</sup> ) |

Fuente: NSR-10, Capítulo A.2 Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño.

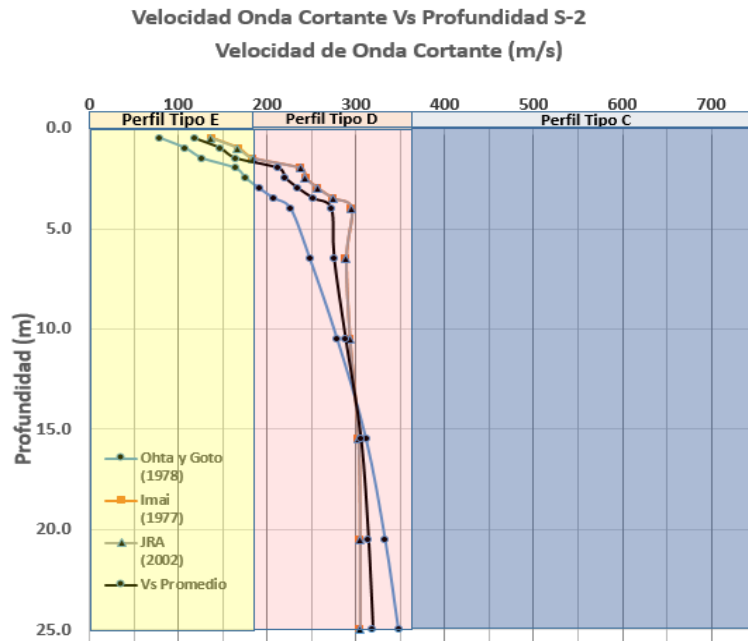
A efecto de establecer la velocidad característica para definir el perfil de suelos en base a este parámetro se asume como parámetro los resultados de JRA (Japan Road Association).

Figura 7.2 Velocidad Promedio de Onda Cortante según Profundidad y Perfil de suelos -sondeo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.3 Velocidad Promedio de Onda Cortante según Profundidad y Perfil de suelos -sondeo 2.



Fuente: Elaboración propia.





|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>NTF. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |

Figura 7.4 Clasificación de los Perfiles de Suelos según el número promedio N obtenido en ensayo SPT y la Velocidad Promedio de Onda Cortante (Tabla A.2.4-1 NSR-10).

| Tipo de perfil | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Definición                                                                                                                                  |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A              | Perfil de roca competente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $\bar{v}_s \geq 1500$ m/s                                                                                                                   |
| B              | Perfil de roca de rigidez media                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760$ m/s                                                                                                 |
| C              | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360$ 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 ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> )                                                       |
| D              | Perfiles de <b>suelos rígidos</b> que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180$ m/s                                                                                                  |
|                | perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $50 > \bar{N} \geq 15$ , o<br>$100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$ |
| E              | Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$                                                                                                               |
|                | perfil que contiene un espesor total <b>H</b> mayor de 3 m de arcillas blandas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $IP > 20$<br>$w \geq 40\%$<br>$50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$                                                  |
| F              | Los perfiles de suelo tipo <b>F</b> 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><b>F<sub>1</sub></b> — 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><b>F<sub>2</sub></b> — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ( <b>H</b> > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).<br><b>F<sub>3</sub></b> — Arcillas de muy alta plasticidad ( <b>H</b> > 7.5 m con Índice de Plasticidad <b>IP</b> > 75)<br><b>F<sub>4</sub></b> — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ( <b>H</b> > 36 m) |                                                                                                                                             |

Fuente: NSR-10, Capítulo A.2 Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño.

De conformidad a lo establecido en el título A de la norma colombiana de diseño sísmo resistente NSR-10, capítulo A.2 en el aparte A-2-4 zonas de amenaza y movimientos sísmicos de diseño, se resumen los efectos locales de respuesta sísmica del proyecto, los cuales deben evaluarse utilizando los siguientes parámetros para construcción del puente o de cualquier estructura adicional proyectada:





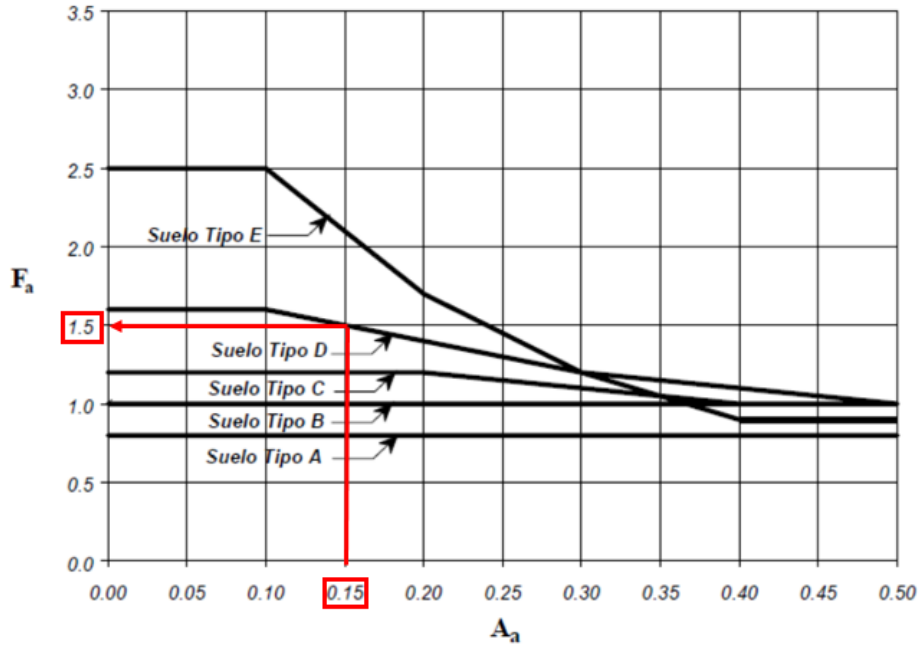
|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |

Figura 7.5 Efectos locales de la Respuesta Sísmica en el lugar del Proyecto.

| <b>Características</b>                                                                                       | <b>Valor</b>          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Municipio                                                                                                    | Tarazá<br>(Antioquia) |
| Zona de amenaza sísmica                                                                                      | Intermedia            |
| Coeficiente de Aceleración Pico Esperado para diseño ( $A_a$ )                                               | 0.15                  |
| Coeficiente de Velocidad Pico Efectiva ( $A_v$ )                                                             | 0.20                  |
| Coeficiente que representa la aceleración pico efectiva para el umbral de daño, $A_d$ (Tabla NSR-10 A.2.4-3) | 0.04                  |
| Coeficiente de aceleración pico efectiva para diseño con seguridad limitada, $A_e$ (Tabla NSR-10 A.2.4-4)    | 0.08                  |
| Tipo de Perfil                                                                                               | D                     |
| Coeficiente $F_a$ para la zona de periodos cortos del espectro                                               | 1.5                   |
| Coeficiente $F_v$ para la zona de intermedios del espectro                                                   | 2.0                   |
| Grupo de uso                                                                                                 | IV                    |
| Coeficiente de importancia, $I$                                                                              | 1.5                   |

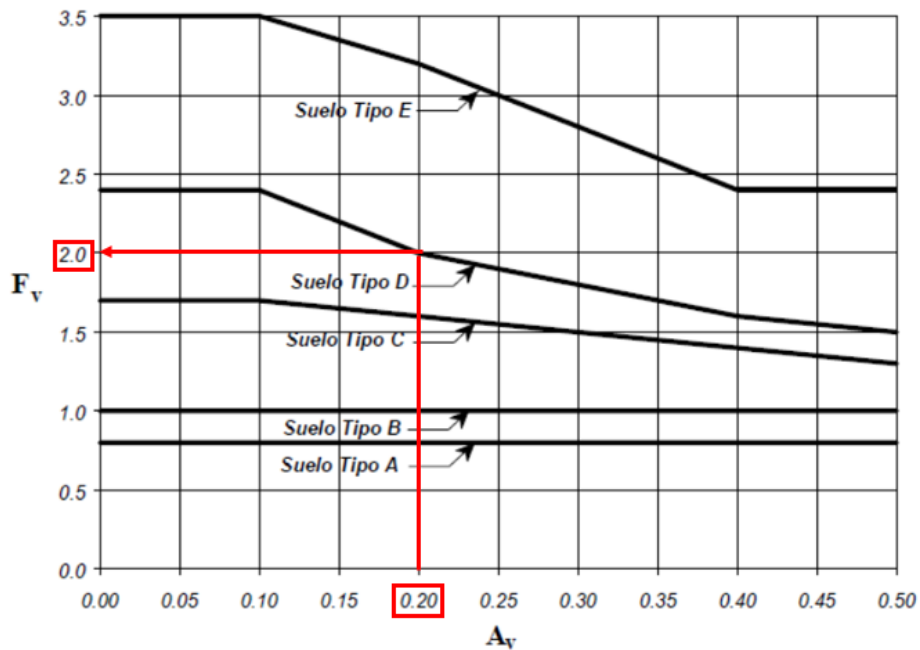
*Fuente: Elaboración propia.*

Figura 7.6. Coeficiente de amplificación  $F_a$  del suelo para zonas de periodos cortos del espectro (Figura A.2.4-1, NSR-10)





Fuente: NSR-10, Capítulo A.2 Zonas de amenaza y movimientos sísmicos de diseño.

Figura 7.7. Coeficiente de amplificación  $F_v$  del suelo para zonas de periodos intermedios del espectro (Figura A.2.4-2, NSR-10)



Fuente: NSR-10, Capítulo A.2 Zonas de amenaza y movimientos sísmicos de diseño.

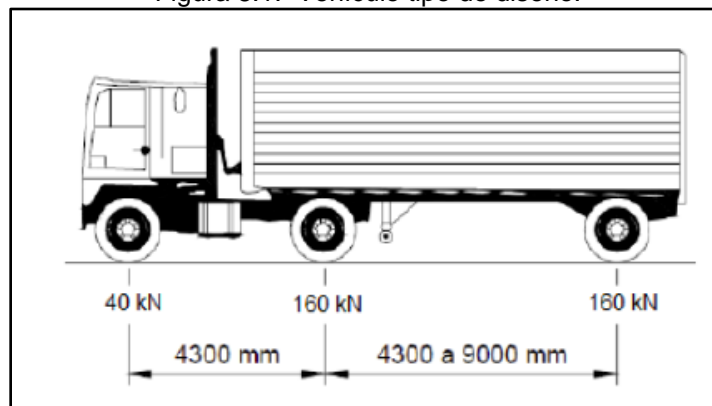
|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

## 8. ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

### 8.1. CARGAS POR SOPORTAR

Las cargas máximas por soportar para el puente l=35 metros (K14+590), será mínimo la de un vehículo tipo C3 o el que determine la Norma Colombiana de Diseño de Puentes - LRFD – CCP.



Figura 8.1. Vehículo tipo de diseño.



Fuente: Normal De Puentes Del Invias

La carga máxima para distribuir será entonces de 200 kN (20,395.0 kg) en dos apoyos y en la posición que produzca mayor reacción en el suelo.

Además de la carga máxima, se comparará la capacidad admisible del suelo con el valor mínimo permisible para la utilización de la “*Cartilla Guía para la evaluación de cantidades y ejecución de presupuesto para la construcción de obras menores y de contención de la Red Terciaria y Férrea*”, adoptada por el Ministerio del Transporte, por intermedio del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) con resolución No. 10133 del 28 de diciembre del 2017. La capacidad admisible mínima corresponde a un valor de  $q_{adm} = 13 \text{ tonf/m}^2$  (127.5 kPa).

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

## 9. ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE CIMENTACIONES PROFUNDAS

### 9.1. CRITERIOS DE DISEÑO

#### 9.1.1. ESTADO LÍMITE DE RESISTENCIA

Los análisis para realizar en el diseño de estado límite de resistencia de los pilotes incluyen:

- Resistencia a la carga axial de un pilote
- Resistencia a la carga axial del grupo de pilotes
- Resistencia a la carga lateral de un pilote
- Resistencia a la carga lateral del grupo de pilotes

#### 9.1.2. ESTADO LÍMITE DE SERVICIO

En el diseño de estado límite de servicio se garantiza la funcionalidad de la estructura limitando los movimientos que se puedan presentar debido a asentamientos, deflexiones laterales, pérdida de la estabilidad global, entre otros. Los movimientos permisibles se determinan en base al tipo de estructura y las posibles afectaciones en la estructura a causa de cierta magnitud de movimiento.

Para el caso de puentes con vigas simplemente apoyadas, según recomendación de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes (comentario C.10.5.2.2.), los asentamientos esperados deben garantizar que la distorsión angular entre cimentaciones adyacentes sea menor a 0.008 rad. Lo anterior se traduce en asentamientos diferenciales máximos de  $\Delta S_{\max} = \{0.12 \text{ m}, 0.20 \text{ m}, 0.24 \text{ m}, 0.28 \text{ m}\}$  para luces simplemente apoyadas de longitud  $L = \{15 \text{ m}, 25 \text{ m}, 30 \text{ m}, 35 \text{ m}\}$ . Además de cumplir con este requisito, para el presente proyecto se adoptó un valor máximo permisible de asentamiento igual a  $S_{\max} = 0.030 \text{ m}$ . En cuanto a los movimientos horizontales, se adoptó un valor máximo de  $y_{\max} = 0.025 \text{ m}$ .

#### 9.1.3. ESTADO LÍMITE DE EVENTOS EXTREMOS



En el estado límite de eventos extremos se revisa la capacidad de carga del pilote en caso de eventos extremos como sismo o socavación.

### 9.2. METODOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA CARGA AXIAL DE UN PILOTE

En esta sección, se describen las metodologías analíticas utilizadas para el cálculo de la resistencia nominal a la carga axial de un pilote. La resistencia nominal ante carga axial, también conocida como resistencia última, de un pilote perforado se calcula como:

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s$$

donde  $Q_p$ : Resistencia por punta del pilote.

|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                  |                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                  |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL<br/>2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | Contrato: SC 01521 19                                                                        | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                      |

$Q_s$ : Resistencia por fricción del pilote.

La resistencia admisible se calcula como:

$$Q_{adm} = \frac{Q_{ult}}{F.S.} - W$$

$$Q_{adm} = \frac{Q_p + Q_s}{F.S.} - W$$

$$Q_{adm} = Q_{p(adm)} + Q_{s(adm)} - W$$

donde F.S.: Factor de seguridad.

W: Peso del pilote.

La ecuación general para la resistencia por punta  $Q_p$  es:

$$Q_p = A_p q_p$$

donde  $A_p$ : Área de la sección transversal del pilote.

$q_p$ : Resistencia unitaria por punta del pilote.

La ecuación general para la resistencia por fricción  $Q_s$  es:

$$Q_s = \sum p \Delta L q_s$$

donde p: Perímetro del pilote.

$\Delta L$ : Longitud sobre la que se evalúa la resistencia unitaria por fricción.



$p \Delta L$ : Área perimetral.

$q_s$ : Resistencia unitaria por fricción.

Para el cálculo de las resistencias unitarias por punta  $q_p$  y por fricción del pilote  $q_s$ , se evaluaron las siguientes metodologías, las cuales se describen a continuación. Entre los resultados de los diferentes métodos evaluados, se ha decidido escoger el menor valor de resistencia para garantizar un diseño conservador.

## 1. Resistencia por punta de suelos granulares y suelos cohesivos drenados:

- 1-1. Método de Vesic (1977):** Método recomendado en el 'Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para Carreteras' del INVIAS (2012) para pilotes pre-excavados. El cálculo de la resistencia vertical del pilote se realiza en base a la teoría de expansión de cavidades.

|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                  |

**1-2. Método NAVFAC DM 7.2:** Cálculo según la publicación ‘NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S. Department of the Navy 1984’. Este método es empleado en el programa de diseño geotécnico GEO5.

**1-3. Método de O’Neill y Reese (1999):** Método recomendado en la ‘Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD – CCP14’ en la sección ‘10.8.3.5.2. Estimación de la resistencia del eje perforado en suelos no cohesivos’.

## 2. Resistencia por punta de suelos cohesivos no drenados:

**2-1. Método O’Neill y Reese (1999):** Método recomendado en la ‘Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD – CCP14’ en la sección ‘10.8.3.5.1. Estimación de la resistencia del eje perforado en suelos cohesivos’, al igual que en el ‘Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para Carreteras’ del INVIAS (2012).

## 3. Resistencia por fricción de suelos granulares:



**3-1. Método Das (2012):** Método presentado en el libro ‘Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 7ma Ed.’ de Das (2012) para pilotes perforados. Este método también se presenta en la publicación ‘NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S. Department of the Navy, 1984’ con una variación en el coeficiente de presión lateral de tierras.

**3-2. Método  $\beta$  para suelos granulares:** Método recomendado en la ‘Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD – CCP14’ en la sección ‘10.8.3.5.2. Estimación de la resistencia del eje perforado en suelos no cohesivos’, al igual que en el ‘Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para Carreteras’ del INVIAS (2012).

## 4. Resistencia por fricción de suelos cohesivos drenados:

**4-1. Método  $\beta$  para suelos cohesivos drenados:** Método presentado en el libro ‘Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 7ma Ed.’ de Das (2012) para pilotes perforados.



|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

## 5. Resistencia por fricción de suelos cohesivos no drenados:

**5-1. Método  $\alpha$  (versión 1):** Método recomendado en la 'Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD – CCP14' en la sección '10.8.3.5.1. Estimación de la resistencia del eje perforado en suelos cohesivos',

**5-2. Método  $\alpha$  (versión 2):** Método presentado en el libro 'Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 7ma Ed.' de Das (2012) para pilotes perforados.

La resistencia por punta y por fricción de suelos cohesivos drenados se calcula de igual manera que en el caso de suelos granulares. A continuación, se detallan los métodos de cálculo mencionados.

### 9.2.1. RESISTENCIA POR PUNTA DE SUELOS GRANULARES

**Método 1-1:** Según el **método de Vesic (1977)**, la resistencia unitaria  $q_p$  se calcula como:

$$q_p = \sigma' N_q S_{qp}$$

donde  $\sigma'$ : Esfuerzo efectivo vertical evaluado al nivel de la punta del pilote.

$N_q$ : Factor de capacidad de carga.

$S_{qp}$ : Factor de forma.

El factor de capacidad de carga  $N_q$  y el factor de forma  $S_{qp}$  se calculan de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$N_q = \frac{3}{3 - \sin \phi} e^{\frac{(90^\circ - \phi)\pi}{180^\circ} \tan \phi} \tan \left[ 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right] I_{rr}^{\frac{4 \sin \phi}{3(1 + \sin \phi)}}$$



$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + \varepsilon_v I_r}$$

$$I_r = \frac{G_s}{c + \sigma' \tan \phi}$$

$$\varepsilon_v = \frac{1 - 2\nu}{2(1 - \nu)} \frac{\sigma'}{G_s}$$

$$G_s = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

$$S_{qp} = \frac{1 + 2K_o}{3}$$

|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                  |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                  |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | Contrato: SC 01521 19                                                                        | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                  |

- donde  $I_{RR}$ : Índice de rigidez reducida del suelo.  
 $I_R$ : Índice de rigidez.  
 $\varepsilon_v$ : Deformación unitaria volumétrica promedio en la zona plástica debajo de la punta del pilote.  
 $\nu$ : Relación de Poisson del suelo.  
 $E$ : Módulo de elasticidad del suelo.  
 $G_S$ : Módulo de cortante del suelo.  
 $K_o$ : Coeficiente de presión de tierra, calculado como  $K_o = 1 - \sin \phi'$ .  
 $\phi$ : Ángulo de fricción efectivo del suelo.

Este método es recomendado en el 'Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para Carreteras' del INVIAS (2012) para pilotes pre-excavados.

**Método 1-2:** Según el **método NAVFAC DM 7.2**, la resistencia unitaria  $q_p$  se calcula como:

$$q_p = \sigma' N_q$$

- donde  $\sigma'$ : Esfuerzo efectivo vertical evaluado al nivel de la punta del pilote.  
 $N_q$ : Factor de capacidad de carga.

El factor de capacidad de carga  $N_q$  se toma a partir de los valores recomendados por el Departamento de la Armada de Estados Unidos (U.S. Department of the Navy, 1984) para pilotes perforados. Este método es empleado en el programa de diseño geotécnico Geo5.

Tabla 21 Valores recomendados para el factor de capacidad de carga  $N_q$



| $\phi$ [°]                 | 26 | 28 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39  | 40  |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| $N_q$ , pilotes hincados   | 10 | 15 | 21 | 24 | 29 | 35 | 42 | 50 | 62 | 77 | 86 | 120 | 145 |
| $N_q$ , pilotes perforados | 5  | 8  | 10 | 12 | 14 | 17 | 21 | 25 | 30 | 38 | 43 | 60  | 72  |

Fuente: NAVFAC DM 7.2, *Foundation and Earth Structures*, U.S. Department of the Navy, 1984.

**Método 1-3:** Según el **método de O'Neill y Reese (1999)**, la resistencia unitaria  $q_p$  se calcula como:

$$q_p [\text{kPa}] = 57 N_{60} \leq 3 \text{ MPa} \quad \text{para } N_{60} \leq 50$$

- donde  $N_{60}$ : Número de golpes corregido del ensayo SPT promediado en la zona debajo de la punta del pilote.  
 $p_a$ : Presión atmosférica igual a  $p_a = 101 \text{ kPa}$ .  
 $\sigma'_v$ : Esfuerzo efectivo vertical evaluado al nivel de la punta del pilote.

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NIT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

Este método es recomendado en la ‘Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD – CCP14’ en la sección ‘10.8.3.5.2. Estimación de la resistencia del eje perforado en suelos no cohesivos’.

### 9.2.2. RESISTENCIA POR PUNTA DE SUELOS COHESIVOS DRENADOS

La resistencia por punta de suelos cohesivos drenados se calcula de igual manera que en el caso de suelos granulares.

### 9.2.3. RESISTENCIA POR PUNTA DE SUELOS COHESIVOS NO DRENADOS

**Método 2-1:** Según el método de O’Neill y Reese (1999), la resistencia unitaria por punta  $q_p$  se calcula como:

$$q_p = N_c c_u \leq 4$$

$$N_c = 6 \left[ 1 + 0.2 \frac{L}{D} \right] \leq 9$$

donde  $c_u$ : Cohesión no drenada del suelo debajo de la punta del pilote (MPa).  
 L: Longitud del pilote.  
 D: Diámetro del pilote.

Si la cohesión por debajo de la punta del pilote  $c_u$  es  $c_u < 24$  kPa, el factor  $N_c$  se multiplica por 0.67.



Este método es recomendado en la ‘Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD – CCP14’ en la sección ‘10.8.3.5.1. Estimación de la resistencia del eje perforado en suelos cohesivos’, al igual que en el ‘Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para Carreteras’ del INVIAS (2012).

### 9.2.4. RESISTENCIA POR FRICCIÓN DE SUELOS GRANULARES

**Método 3-1:** Según el método presentado por Das (2012), la resistencia unitaria por fricción  $q_s$  se calcula como:

$$q_s = \begin{cases} K \sigma' \tan \delta' & z < L' \\ q_{s(z=L')} & z \geq L' \end{cases}$$

donde K: Coeficiente efectivo de presión de tierra.  
 $\sigma'$ : Esfuerzo efectivo vertical en la mitad del sub-estrato evaluado de longitud  $\Delta L$ .  
 $\delta'$ : Ángulo de fricción suelo-estructura.  
 L': Longitud crítica a partir de la cual no aumenta el valor de  $q_s$  con la profundidad.

|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                  |

El ángulo  $\delta'$  se calcula como  $\delta' = 3/4 \phi'$ . El coeficiente K se calcula como  $K = 1 - \sin \phi'$  para pilotes perforados. El valor de  $q_s$  aumenta con la profundidad  $z$  hasta alcanzar un valor máximo a una profundidad igual a  $L' = 15 D$ .

Este método es presentado en el libro 'Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 7ma Ed.' de Das (2012) para pilotes perforados, al igual que en la publicación 'NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S. Department of the Navy, 1984' con una variación en el coeficiente de presión lateral de tierras.

**Método 3-2:** Según el **método  $\beta$** , la resistencia unitaria por fricción  $q_s$  se calcula de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$q_s = \beta \sigma' \leq 0.19 \text{ MPa}$$

$$0.25 \leq \beta \leq 1.2$$

$$\beta = \begin{cases} 1.5 - 7.7 \times 10^{-3} \sqrt{z} & N_{60} \geq 15 \\ \frac{N_{60}}{15} (1.5 - 7.7 \times 10^{-3} \sqrt{z}) & N_{60} < 15 \end{cases}$$

donde  $\sigma'$ : Esfuerzo efectivo vertical en la mitad del sub-estrato evaluado de longitud  $\Delta L$ .

$z$ : Profundidad desde la superficie hasta la mitad del sub-estrato evaluado de longitud  $\Delta L$ , en milímetros.

$N_{60}$ : Número de golpes corregido del ensayo SPT promediado en la zona de longitud  $\Delta L$ .

Este método recomendado en la 'Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD – CCP14' en la sección '10.8.3.5.2. Estimación de la resistencia del eje perforado en suelos no cohesivos', al igual que en el 'Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para Carreteras' del INVIAS (2012).

### 9.2.5. RESISTENCIA POR FRICCIÓN DE SUELOS COHESIVOS DRENADOS

**Método 4-1:** Para suelos cohesivos drenados, se implementó el **método  $\beta$**  en el cálculo de  $q_s$ , según el cual:

$$q_s = \beta \sigma'$$



donde  $\beta$ : Factor igual a  $\beta = K \tan \phi'_R$ .

$K$ : Coeficiente efectivo de presión de tierra.

$\phi'_R$ : Ángulo de fricción drenado de la arcilla remoldeada.

$\sigma'$ : Esfuerzo efectivo vertical evaluado en la mitad del sub-estrato.

El coeficiente K se calcula como  $K = 1 - \sin \phi'_R$  para arcillas normalmente consolidadas y  $K = 1 - \sin \phi' \sqrt{OCR}$  para arcillas sobreconsolidadas.

|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                  |

Este método es presentado en el libro ‘Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 7ma Ed.’ de Das (2012) para pilotes perforados.

### 9.2.6. RESISTENCIA POR FRICCIÓN DE SUELOS COHESIVOS NO DRENADOS

**Método 5:** Según el **método  $\alpha$** , la resistencia unitaria por fricción  $q_s$  se calcula como:

$$q_s = \alpha c_u$$

donde  $\alpha$ : Factor empírico de adhesión, en función de la cohesión no drenada  $c_u$ . De acuerdo a la Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD – CCP14, el factor  $\alpha$  se calcula como:

$$\alpha = 0.55 \text{ para } \frac{c_u}{P_a} \leq 1.5$$

$$\alpha = 0.55 - 0.1 \left( \frac{c_u}{P_a} - 1.5 \right) \text{ para } 1.5 < \frac{c_u}{P_a} \leq 2.5$$

Esta metodología se ha denominado en este documento como **Método 5-1**.

De acuerdo con Das (2012), el factor  $\alpha$  se puede tomar de manera conservadora como:

$$\alpha = 0.4$$

Esta metodología se ha denominado en este documento como **Método 5-2**.

### 9.2.7. COMENTARIO ACERCA DE LA RESISTENCIA POR FRICCIÓN

Según recomendación de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14 (comentarios C.10.8.3.5.1b - C.10.8.1.6.2), se asumirá que no contribuyen a la resistencia por fricción, tanto los 1.5 metros superiores del pilote como la sección inferior de un diámetro de longitud a partir de la punta del pilote.



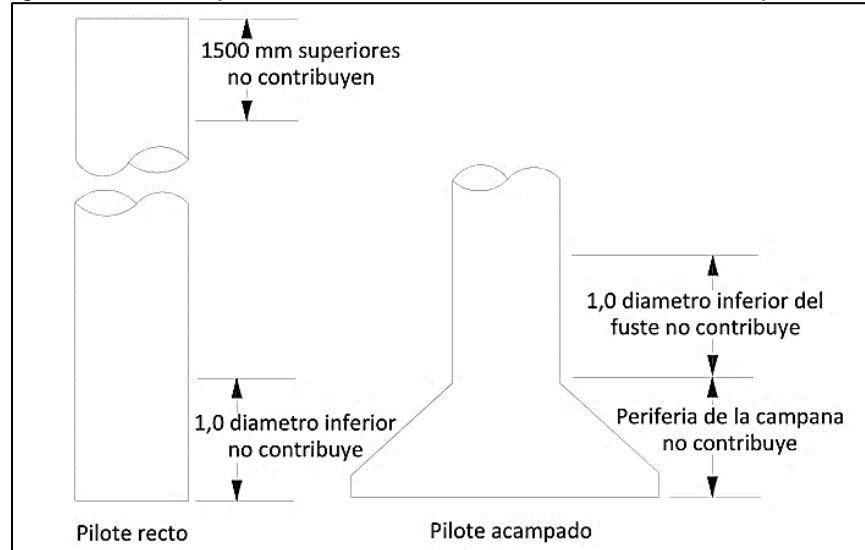
|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTF. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

Figura 8-2 Zonas que no se consideran al calcular la resistencia por fricción



Fuente: *Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para Carreteras' del INVIAS (2012).*

### 9.3. METODOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA CARGA AXIAL DE UN GRUPO DE PILOTES

La sección 10.8.1.2. de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14 indica que si la separación centro a centro de pilotes perforados es menor a 4.0 veces el diámetro de los pilotes, los efectos de interacción entre los pilotes adyacentes se deben evaluar. En esta sección, se describen los análisis de capacidad de carga de un grupo de pilotes, realizados por medio de métodos de cálculo analítico, los cuales se llevarán a cabo dado el caso de que la condición mencionada por la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14 se cumpla.

Las dimensiones del grupo de pilotes se determinan como:

$$L_g = (n_1 - 1) S + D$$



$$B_g = (n_2 - 1) S + D$$

- donde  $B_g$ : Ancho del grupo de pilotes.  
 $L_g$ : Largo del grupo de pilotes,  $L_g \geq B_g$ .  
 $n_1$ : Número de pilotes en la dirección de  $L_g$ .  
 $n_2$ : Número de pilotes en la dirección de  $B_g$ .  
 $S$ : Separación centro a centro entre pilotes.  
 $D$ : Diámetro de los pilotes.

#### 9.3.1. RESISTENCIA DEL GRUPO DE PILOTES EN SUELOS COHESIVOS

La capacidad de carga de un grupo de pilotes en suelos cohesivos, de acuerdo con la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14, se toma como:



|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

$$Q_{g(ult)} = \min \left\{ \eta \sum Q_{ult}, Q_{muelle(ult)} \right\}$$

donde  $\eta$ : Factor de eficiencia.

$\sum Q_{ult}$ : Suma de la capacidad de carga última de cada pilote individual en el grupo de pilotes.

$Q_{muelle(ult)}$ : Capacidad de carga última de un muelle equivalente definido por los pilotes y el bloque de suelo delimitado por ellos, de dimensiones  $B_g \times L_g$ .

Suponiendo que existe la posibilidad de que la viga cabezal no esté en contacto firme con el suelo, el factor de eficiencia  $\eta$  para pilotes perforados en arcilla se calcula en función del espaciamiento centro a centro (S) como:

$$\eta = \begin{cases} 0.65 & S = 2.5 D \\ 0.1/D(S - 2.5 D) + 0.65 & 2.5 D < S < 6.0 D \\ 1.00 & S = 6.0 D \end{cases}$$

La capacidad de carga  $Q_q$  del muelle equivalente se obtiene, al igual que en el caso de pilotes individuales, sumando las resistencias por punta y por fricción del sistema. Sin embargo, en este caso, la resistencia al corte completa (suelo-suelo) se utiliza para obtener la resistencia por fricción, a diferencia de la resistencia al corte suelo-estructura que se utiliza para el pilote individual.

La capacidad de carga por fricción del muelle equivalente se calcula como:

$$Q_{muelle(s)} = (2 B_g + 2 L_g) L c_u$$

donde  $c_u$ : Cohesión no drenada promedio a lo largo de la profundidad de los pilotes

La capacidad de carga por punta del muelle equivalente se calcula como:



$$Q_{muelle(p)} = B_g L_g N_c c_u$$

donde  $c_u$  es la cohesión no drenada en la punta de los pilotes, y el factor  $N_c$  se calcula como:

$$N_c = \begin{cases} 5 \left( 1 + \frac{0.2 B_g}{L_g} \right) \left( 1 + \frac{0.2 L}{B_g} \right) & \frac{L}{B_g} \leq 2.5 \\ 7.5 \left( 1 + \frac{0.2 B_g}{L_g} \right) & \frac{L}{B_g} > 2.5 \end{cases}$$

### 9.3.2. RESISTENCIA DEL GRUPO DE PILOTES EN SUELOS GRANULARES

La capacidad de carga de un grupo de pilotes en suelos arenosos se calcula, de acuerdo con la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14, como la suma

|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |

de la capacidad de carga de cada pilote multiplicada por un factor de eficiencia ( $\eta$ ). Es decir,

$$Q_{g(ult)} = \eta \sum Q_{ult}$$

El factor de eficiencia  $\eta$  para pilotes perforados en arena se obtiene a partir de la Tabla 22 en función del espaciamiento  $S$ . Para valores de  $S$  intermedios entre los presentados en la Tabla 22, el valor correspondiente se obtiene por interpolación lineal.

Tabla 22 Factor de eficiencia  $\eta$  para grupos de pilotes en arenas. Tomado de la Tabla 10.8.3.6.3-1 de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes

| Configuración del grupo de ejes | Espaciamiento del eje de centro a centro | Condiciones especiales                                                                                                                                                                          | Factor de reducción para efectos de grupo, $\eta$ |
|---------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Fila Única                      | 2D                                       |                                                                                                                                                                                                 | 0.90                                              |
|                                 | 3D o más                                 |                                                                                                                                                                                                 | 1.0                                               |
| Fila múltiple                   | 2.5D                                     |                                                                                                                                                                                                 | 0.67                                              |
|                                 | 3D                                       |                                                                                                                                                                                                 | 0.80                                              |
|                                 | 4D o más                                 |                                                                                                                                                                                                 | 1.0                                               |
| Filas múltiples y únicas        | 2D o más                                 | Tapa de grupo de ejes en íntimo contacto con el suelo que consiste en suelo medio denso o denso, y no se prevé socavación por debajo de la tapa del eje                                         | 1.0                                               |
| Filas múltiples y únicas        | 2D o más                                 | La lechada de presión se utiliza a lo largo de los lados del eje para restaurar pérdidas laterales de tensión causadas por la instalación del eje, y la punta del eje es presionada con lechada | 1.0                                               |

Fuente: Norma Colombiana de Diseño de puentes CCP-14

#### 9.4. METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL CÁLCULO DE LOS ASENTAMIENTOS DE UN PILOTE



En esta sección, se describe la metodología empleada para calcular los asentamientos de un pilote por medio de métodos de cálculo analítico. Si el asentamiento del pilote bajo las cargas admisibles establecidas es mayor al asentamiento máximo permitido ( $S_{m\acute{a}x} = 25 \text{ mm}$ ), la capacidad de carga admisible del pilote se limitará a la carga que genera el valor de asentamiento máximo permitido. El asentamiento del pilote se calcula como:

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)}$$

donde  $S_{e(1)}$ : Asentamiento elástico del pilote.

$S_{e(2)}$ : Asentamiento del pilote causado por la carga en la punta del pilote.

$S_{e(3)}$ : Asentamiento del pilote causado por la carga transmitida a lo largo del fuste del pilote.

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

El asentamiento  $s_{e(1)}$  se calcula como:

$$s_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws}) L}{A_p E_p}$$

donde  $Q_{wp}$ : Carga soportada en la punta del pilote.

$Q_{ws}$ : Carga soportada por la resistencia por fricción.

$A_p$ : Área de la sección transversal del pilote.

$E_p$ : Módulo de elasticidad del material del pilote, igual a  $E_p = 4700 \sqrt{f'_c}$ .

$\xi$ : Constante que varía entre 0.5 y 0.67, y para el análisis se toma como 0.62.

El asentamiento  $s_{e(2)}$  se calcula como:

$$s_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \nu_s^2) I_{wp}$$

donde  $q_{wp}$ : Carga distribuida por área unitaria en la punta del pilote.

$E_s$ : Módulo de elasticidad del suelo debajo de la punta del pilote.

$\nu_s$ : Relación de Poisson del suelo.

$I_{wp}$ : Factor de influencia igual a  $I_{wp} = 0.85$ .

El asentamiento  $s_{e(3)}$  se calcula como:

$$s_{e(3)} = \frac{Q_{ws} D}{p L E_s} (1 - \nu_s^2) I_{ws}$$



donde  $I_{ws}$ : Factor de influencia igual a  $I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}}$ .

## 9.5. DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN PARA EL PUENTE L = 35 METROS (K14+590)

### 9.5.1. CARGAS POR SOPORTAR

En esta sección, se describe la geometría y las cargas obtenidas por medio del análisis estructural realizado al puente L = 35 metros (K14+590). De acuerdo con la información suministrada, la estructura se cimienta en sus extremos sobre una viga cabezal de concreto que se apoya en pilotes pre-excavados.

Las cargas axiales sobre los pilotes corresponden a la suma de las cargas debido al peso propio de los componentes estructurales y accesorios no estructurales, el peso propio de la carpeta de rodamiento y de las instalaciones, sobrecarga por el paso de vehículos y otras cargas vivas. Según la información suministrada por el

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

análisis estructural, las cargas de servicio a distribuir entre los pilotes corresponden a:

Tabla 23 Cargas estimadas por apoyo, puente L = 35 metros (K14+590)

| Carga                          | Valor   |
|--------------------------------|---------|
| Carga de servicio por apoyo, Q | 3739 kN |
| Carga muerta por apoyo, D      | 2763 kN |
| Carga viva por apoyo, L        | 970 kN  |



*Fuente: Elaboración propia.*

### 9.5.2. PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE DISEÑO

A partir de los registros de las perforaciones realizadas para el diseño de la cimentación del puente, se determinó la estratigrafía de diseño que se presenta en la Figura 8-3. El depósito de suelo se idealiza como un depósito compuesto por dos mantos de suelos, correspondientes a un manto de arena bien graduada con limo con grava y un manto de arenas limosas. Los suelos arenosos se extienden desde la superficie hasta 2 metros de profundidad. El nivel freático (N.F.), de acuerdo con la exploración de campo, se encuentra a 1 metro de profundidad aproximadamente. Considerando la posición del N.F, se considera 1 caso en el análisis: i) N.F.= 1 m, como se presenta en el informe de exploración.

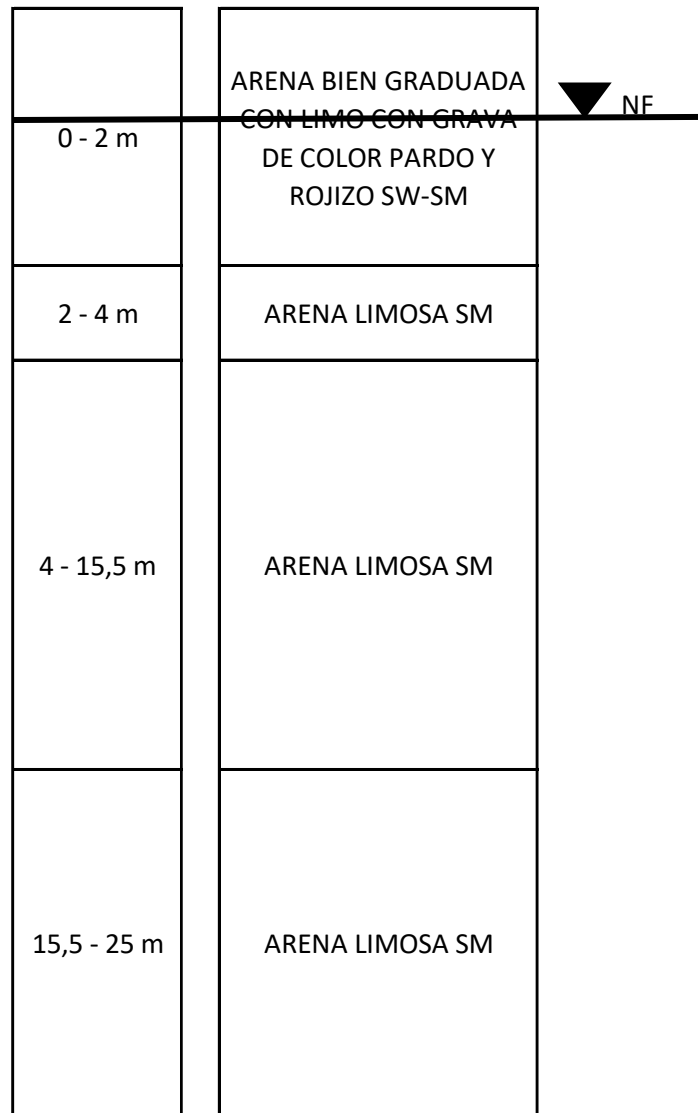
A continuación, se describen los diferentes mantos de suelo encontrados:

- **Arena bien graduada con limo y grava:** Este manto de suelo se analiza en un estrato: **i)** La capa, denominada SW-SM, corresponde a arenas bien gradadas con contenido de limo y grava y se extiende desde la superficie hasta profundidad de 2 metros. Estos suelos presentan números de golpes del ensayo de penetración estándar (N-SPT) de 10 golpes/pie, y números de golpes corregidos  $N_{60}$  de 8 golpes/pie, correspondientes a una densidad relativa suelta. Según el sistema unificado de clasificación de suelos USC (ASTM D 2487) estos materiales reciben designación SW-SM. Según la metodología AASHTO, los suelos se clasifican predominantemente como A-1a.
- **Arcilla Limosa:** Este manto de suelo se ha dividido para el análisis en dos estratos **i)** La primera capa se extiende hasta una profundidad de 13,5 metros y presenta números de golpes del ensayo de penetración estándar (N-SPT) entre 30 y 45 golpes/pie, y números de golpes corregidos  $N_{60}$  entre 22 y 42 golpes/pie. Estos suelos presentan una compacidad alta o muy densa con densidades relativas de aproximadamente  $D_r = 94,8\%$ . **ii)** La segunda capa se extiende hasta una profundidad de 9,5 metros y presenta N-SPT de 53 golpes/pie, y números  $N_{60}$  de 53 golpes/pie. Estos suelos presentan una compacidad densa con densidades relativas de aproximadamente  $D_r = 81,6$ . Según el sistema unificado de clasificación de suelos USC (ASTM D 2487)

|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>NIT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |

estos materiales reciben designación SM. Según la metodología AASHTO, los suelos se clasifican predominantemente como A-4.

Figura 8-3 Perfil estratigráfico de diseño para puente L = 35 metros (K14+590)



*Fuente: Elaboración propia*

En las siguientes tablas, se presentan los valores de referencia para relacionar los resultados del ensayo SPT con la consistencia y compactación de suelos cohesivos y granulares respectivamente.



|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTF. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                               |

Tabla 24 Consistencia de suelos cohesivos en relación al número N del ensayo SPT

| $N_{60}$ | Description     | $s_u$ (kPa) |
|----------|-----------------|-------------|
| 0-2      | Very soft       | <10         |
| 3-5      | Soft            | 10-25       |
| 6-9      | Medium          | 25-50       |
| 10-15    | Stiff           | 50-100      |
| 15-30    | Very stiff      | 100-200     |
| >30      | Extremely stiff | >200        |

Fuente: SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS, Budhu (2011)

Tabla 25 Compacidad de suelos granulares en relación con el número N del ensayo SPT

| $N$   | $N_{60}$ | Compactness | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $D_r$ (%) | $\phi'$ (degrees) |
|-------|----------|-------------|-------------------------------|-----------|-------------------|
| 0-4   | 0-3      | Very loose  | 11-13                         | 0-20      | 26-28             |
| 4-10  | 3-9      | Loose       | 14-16                         | 20-40     | 29-34             |
| 10-30 | 9-25     | Medium      | 17-19                         | 40-70     | 35-40*            |
| 30-50 | 25-45    | Dense       | 20-21                         | 70-85     | 38-45*            |
| >50   | >45      | Very dense  | >21                           | >85       | >45*              |

Fuente: SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS, Budhu (2011)

Se recomienda que en la etapa de construcción sean verificadas las condiciones del subsuelo consideradas en este informe, con el objetivo de validar el perfil estratigráfico considerado.



### 9.5.3. CARACTERIZACIÓN ESTRATIGRÁFICA

La caracterización del perfil estratigráfico se realizó a partir de los datos de resistencia obtenidos en el ensayo de penetración estándar (SPT) y los resultados de ensayos de laboratorio realizados a las diferentes muestras obtenidas en campo.

Teniendo en cuenta que el depósito de suelo presenta tanto suelos arenosos como suelos finos, el diseño debe contemplar las condiciones de carga drenada y no drenada en el depósito. Con respecto a los suelos arenosos, se considera únicamente la condición de carga drenada del suelo, ya que la condición no drenada no es representativa para este tipo de suelos. Con respecto a los suelos finos, se consideró tanto la condición de carga no drenada del suelo como la drenada. Debido a lo anterior, el análisis realizado abarca tanto el análisis a corto plazo, en el cual los suelos finos se encuentran bajo condición de carga no drenada y los suelos arenosos bajo condición de carga drenada, y el análisis a largo plazo, en el cual todo el depósito se encuentra bajo condición de carga drenada.

Los parámetros de diseño seleccionados para los estratos identificados se presentan en la Tabla 29 para el análisis a corto y largo plazo respectivamente. Los valores de cohesión no drenada ( $c_u$ ) de las arcillas se estimaron por medio de las correlaciones con el número de golpes del ensayo SPT recomendada por Kulhawy y Mayne (1990). En cuanto al ángulo de fricción efectivo ( $\phi'$ ) de las arenas, se utilizó la correlación con el número de golpes del ensayo SPT recomendada por Peck et



|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                                                                                      |                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL<br/>2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |                    |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p>                                                                                                                              | <p>Versión: 01</p> |

al. (1953). El ángulo de fricción efectivo de las arcillas se obtuvo por medio de la recomendación propuesta por Sorensen y Okkels (2013) que presentó la mejor estimación de  $\phi'$ . Los módulos de elasticidad (E) adoptados se obtuvieron por medio de las correlaciones respectivas para suelos finos y arenosos propuestas por Tan et al. (1991). Finalmente, los valores de relación de Poisson ( $\nu$ ) se adoptaron a partir de referencias en la literatura para cada tipo de suelo y cada condición de drenaje evaluados.

Se muestra en la tabla 25, 26 y 27 los datos deducidos con el programa NovoSPT, con la referencia de los autores más representativos en cada uno de los parámetros; Se escoge el valor de diseño en base a consideraciones geotécnicas y de confiabilidad; se hace una homogenización de los parámetros semejantes o representativos y se escogen los estratos de diseño, eso se muestra en la tabla 28.

|                                                                                                                                                        |                                                                                            |                   |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA CIMENTACION</b><br><b>PROYECTO TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL GUAIMARO</b> |                   |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NT. No. 901.383.923-8</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                      | Fecha: Sept. 2019 |                                                                                                                                                               |

Tabla 26 Datos de sondeo 1 y sondeo consolidados

| DATOS                |             |              |                                              |                                           |                                           |                                                 |                 |                |                 |         |         |             |                 |                 |                                 |
|----------------------|-------------|--------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|---------|---------|-------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| Sondeo de Referencia | Prof. (mts) | No. Golpes N | Peso Unitario saturados (kN/m <sup>3</sup> ) | Peso Unitario seco 1 (kN/m <sup>3</sup> ) | Peso Unitario seco 2 (kN/m <sup>3</sup> ) | Peso Unitario seco diseños (kN/m <sup>3</sup> ) | Clasif. U.S.C.S | Clasif. AASHTO | Indice de Grupo | % Grava | % Arena | % Pasa T200 | Cont. Hum W (%) | N <sub>60</sub> | (N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub> |
| 1                    | 0.5         | 5            | 20.56                                        | 16.45                                     | 15.70                                     | 16.45                                           | SW-SM           | A-1-a          | 0               | 41.1    | 49.5    | 9.4         | 6.80            | 4               | 7                               |
| 1                    | 1           | 10           | 20.56                                        | 16.45                                     | 15.90                                     | 16.45                                           | SW-SM           | A-1-a          | 0               | 41.1    | 49.5    | 9.4         | 6.80            | 8               | 14                              |
| 1                    | 1.5         | 15           | 21.63                                        | 17.3                                      | 16.10                                     | 17.30                                           | SW-SM           | A-1-a          | 0               | 41.1    | 49.5    | 9.4         | 6.80            | 11              | 19                              |
| 1                    | 2           | 21           | 21.63                                        | 17.3                                      | 16.34                                     | 17.30                                           | SW-SM           | A-1-a          | 0               | 41.1    | 49.5    | 9.4         | 6.80            | 16              | 27                              |
| 1                    | 2.5         | 25           | 21.63                                        | 17.3                                      | 16.50                                     | 17.30                                           | SM              | A-4            | 2               | 3.8     | 49.3    | 46.9        | 12.07           | 19              | 31                              |
| 1                    | 3           | 30           | 21.63                                        | 17.3                                      | 16.70                                     | 17.30                                           | SM              | A-4            | 2               | 3.8     | 49.3    | 46.9        | 12.07           | 22              | 33                              |
| 1                    | 3.5         | 35           | 21.63                                        | 17.3                                      | 16.90                                     | 17.30                                           | SM              | A-4            | 2               | 3.8     | 49.3    | 46.9        | 12.07           | 26              | 37                              |
| 1                    | 4           | 49           | 21.63                                        | 17.3                                      | 17.46                                     | 17.46                                           | SM              | A-4            | 2               | 3.8     | 49.3    | 46.9        | 12.07           | 39              | 52                              |
| 1                    | 6.5         | 43           | 21.63                                        | 17.3                                      | 17.22                                     | 17.22                                           | SM              | A-4            | 2               | 3.8     | 49.3    | 46.9        | 12.07           | 39              | 42                              |
| 1                    | 10          | 45           | 21.63                                        | 17.3                                      | 17.30                                     | 17.30                                           | SM              | A-4            | 2               | 3.8     | 49.3    | 46.9        | 12.07           | 44              | 39                              |
| 1                    | 10.5        | 47           | 21.63                                        | 17.3                                      | 17.38                                     | 17.38                                           | SM              | A-4            | 2               | 4.5     | 48.3    | 47.2        | 15.30           | 46              | 40                              |
| 1                    | 15.5        | 50           | 21.63                                        | 17.3                                      | 17.50                                     | 17.50                                           | SM              | A-4            | 2               | 4.5     | 48.3    | 47.2        | 15.30           | 50              | 36                              |
| 1                    | 20.5        | 53           | 21.63                                        | 17.3                                      | 17.62                                     | 17.62                                           | SM              | A-4            | 2               | 4.5     | 48.3    | 47.2        | 15.30           | 53              | 33                              |
| 1                    | 25          | 53           | 21.63                                        | 17.3                                      | 17.62                                     | 17.62                                           | SM              | A-4            | 2               | 4.5     | 48.3    | 47.2        | 15.30           | 53              | 30                              |
| 2                    | 0.5         | 5            | 19.3                                         | 15.44                                     | 15.70                                     | 15.70                                           | GP              | A-1-b          | 0               | 51.60   | 45.00   | 3.40        | 8.05            | 4.00            | 7.00                            |
| 2                    | 1.0         | 9            | 19.3                                         | 15.44                                     | 15.86                                     | 15.86                                           | GP              | A-1-b          | 0               | 51.60   | 45.00   | 3.40        | 8.05            | 7.00            | 12.00                           |
| 2                    | 1.5         | 12           | 20.85                                        | 16.68                                     | 15.98                                     | 15.98                                           | GP              | A-1-b          | 0               | 51.60   | 45.00   | 3.40        | 8.05            | 9.00            | 15.00                           |
| 2                    | 2.0         | 26           | 20.85                                        | 16.68                                     | 16.54                                     | 16.54                                           | GP              | A-1-b          | 0               | 51.60   | 45.00   | 3.40        | 8.05            | 20.00           | 34.00                           |
| 2                    | 2.5         | 28           | 22.46                                        | 17.97                                     | 16.62                                     | 16.62                                           | SM              | A-1-b          | 0               | 37.30   | 50.30   | 12.40       | 14.41           | 21.00           | 34.00                           |
| 2                    | 3.0         | 33           | 22.46                                        | 17.97                                     | 16.82                                     | 16.82                                           | SM              | A-1-b          | 0               | 37.30   | 50.30   | 12.40       | 14.41           | 25.00           | 38.00                           |
| 2                    | 3.5         | 40           | 22.46                                        | 17.97                                     | 17.10                                     | 17.10                                           | SM              | A-1-b          | 0               | 37.30   | 50.30   | 12.40       | 14.41           | 30.00           | 42.00                           |
| 2                    | 4.0         | 50           | 22.46                                        | 17.97                                     | 17.50                                     | 17.50                                           | SM              | A-1-b          | 0               | 37.30   | 50.30   | 12.40       | 14.41           | 40.00           | 53.00                           |
| 2                    | 6.5         | 47           | 22.46                                        | 17.97                                     | 17.38                                     | 17.38                                           | SM              | A-1-b          | 0               | 37.30   | 50.30   | 12.40       | 14.41           | 43.00           | 46.00                           |
| 2                    | 10.5        | 49           | 22.46                                        | 17.97                                     | 17.46                                     | 17.46                                           | SM              | A-1-b          | 0               | 42.00   | 49.00   | 9.00        | 15.30           | 48.00           | 40.00                           |
| 2                    | 15.5        | 54           | 22.46                                        | 17.97                                     | 17.66                                     | 17.66                                           | SM              | A-1-b          | 0               | 42.00   | 49.00   | 9.00        | 15.30           | 54.00           | 38.00                           |
| 2                    | 20.5        | 55           | 22.46                                        | 17.97                                     | 17.70                                     | 17.70                                           | SM              | A-1-b          | 0               | 42.00   | 49.00   | 9.00        | 15.30           | 55.00           | 34.00                           |
| 2                    | 25.0        | 55           | 22.46                                        | 17.97                                     | 17.70                                     | 17.70                                           | SM              | A-1-b          | 0               | 42.00   | 49.00   | 9.00        | 15.30           | 55.00           | 30.00                           |



El futuro es de todos

Agencia de Renovación del Territorio

ESTUDIO GEOTECNIA  
CIMENTACION PROYECTO  
TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL  
GUAIMARO



Contrato: SC 01521 19

Fecha: Dic 2019.

Versión: 01

Tabla 27 Deducción de parámetros geotécnicos para modelación E, ángulo de fricción interna

| DATOS                |             | E (Mpa)                   |                              |                           |                                |                    |                    |                      |                             | $\phi$ (°)               |                            |                                |                         |                   |                   |                     |                            |
|----------------------|-------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|----------------------------|
| Sondeo de Referencia | Prof. (mts) | AASHTO (1996) $E_s$ (Mpa) | Mezenbach (1961) $E_s$ (Mpa) | Denver (1982) $E_s$ (Mpa) | Tan et al., (1991) $E_s$ (Mpa) | Minimo $E_s$ (Mpa) | Maximo $E_s$ (Mpa) | Promedio $E_s$ (Mpa) | Valor de diseño $E_s$ (Mpa) | Duncan (2004) $\phi$ (°) | Meyerhof (1959) $\phi$ (°) | Peck et al., (1953) $\phi$ (°) | Wolff (1989) $\phi$ (°) | Minimo $\phi$ (°) | Maximo $\phi$ (°) | Promedio $\phi$ (°) | Valor de diseño $\phi$ (°) |
| 1                    | 0.5         | 7.6                       | 4.4                          | 13.6                      | 9.4                            | 4.4                | 13.60              | 8.75                 | 7.60                        | 41.40                    | 33.20                      | 28.10                          | 29.00                   | 28.10             | 41.40             | 32.93               | 33.20                      |
| 1                    | 1           | 15.3                      | 6.4                          | 19.2                      | 11.2                           | 6.4                | 19.20              | 13.03                | 15.30                       | 42.10                    | 34.60                      | 28.50                          | 30.80                   | 28.50             | 42.10             | 34.00               | 34.60                      |
| 1                    | 1.5         | 23                        | 8.4                          | 23.5                      | 13.1                           | 8.4                | 23.50              | 17.00                | 23.00                       | 43.00                    | 35.70                      | 28.80                          | 32.60                   | 28.80             | 43.00             | 35.03               | 35.70                      |
| 1                    | 2           | 32.1                      | 10.7                         | 27.8                      | 15.4                           | 10.7               | 32.10              | 21.50                | 32.10                       | 43.90                    | 36.80                      | 29.20                          | 34.70                   | 29.20             | 43.90             | 36.15               | 36.80                      |
| 1                    | 2.5         | 36.8                      | 12.3                         | 30.3                      | 16.9                           | 12.3               | 36.80              | 24.08                | 36.80                       | 44.20                    | 37.40                      | 29.40                          | 35.80                   | 29.40             | 44.20             | 36.70               | 37.40                      |
| 1                    | 3           | 40.9                      | 14.3                         | 33.2                      | 18.8                           | 14.3               | 40.90              | 26.80                | 40.90                       | 44.40                    | 38.00                      | 29.60                          | 36.70                   | 29.60             | 44.40             | 37.18               | 38.00                      |
| 1                    | 3.5         | 44.8                      | 16.3                         | 35.9                      | 20.6                           | 16.3               | 44.80              | 29.40                | 44.80                       | 44.50                    | 38.60                      | 29.80                          | 37.50                   | 29.80             | 44.50             | 37.60               | 38.60                      |
| 1                    | 4           | 62.6                      | 23                           | 437                       | 26.9                           | 23                 | 437.00             | 137.38               | 62.60                       | 45.00                    | 40.50                      | 30.40                          | 41.30                   | 30.40             | 45.00             | 39.30               | 40.50                      |
| 1                    | 6.5         | 51.1                      | 23.3                         | 43.9                      | 27.2                           | 23.3               | 51.10              | 36.38                | 51.10                       | 44.00                    | 39.90                      | 30.40                          | 38.90                   | 30.40             | 44.00             | 38.30               | 39.90                      |
| 1                    | 10          | 46.2                      | 25.5                         | 46.2                      | 29.3                           | 25.5               | 46.20              | 36.80                | 46.20                       | 42.70                    | 39.90                      | 30.60                          | 37.90                   | 30.60             | 42.70             | 37.78               | 39.90                      |
| 1                    | 10.5        | 47.4                      | 26.6                         | 47.3                      | 30.3                           | 26.6               | 47.40              | 37.90                | 47.40                       | 42.70                    | 40.10                      | 30.70                          | 38.10                   | 30.70             | 42.70             | 37.90               | 40.10                      |
| 1                    | 15.5        | 42.7                      | 28.7                         | 49.3                      | 32.3                           | 28.7               | 49.30              | 38.25                | 42.70                       | 41.50                    | 40.00                      | 30.90                          | 37.10                   | 30.90             | 41.50             | 37.38               | 40.00                      |
| 1                    | 20.5        | 39.9                      | 30.5                         | 51                        | 34                             | 30.5               | 51.00              | 38.85                | 39.90                       | 40.60                    | 40.00                      | 31.00                          | 36.50                   | 31.00             | 40.60             | 37.03               | 40.00                      |
| 1                    | 25          | 36.3                      | 30.6                         | 51                        | 34.1                           | 30.6               | 51.00              | 38.00                | 36.30                       | 39.90                    | 39.70                      | 31.00                          | 35.70                   | 31.00             | 39.90             | 36.58               | 39.70                      |
| 2                    | 0.5         | 7.60                      | 11.70                        | 13.60                     | 5.80                           | 5.80               | 13.60              | 9.68                 | 7.60                        | 25.00                    | 33.20                      | 28.10                          | 29.00                   | 28.10             | 33.20             | 30.10               | 33.20                      |
| 2                    | 1.0         | 13.80                     | 15.30                        | 18.20                     | 7.60                           | 7.60               | 18.20              | 13.73                | 13.80                       | 25.10                    | 34.30                      | 28.40                          | 30.50                   | 28.40             | 34.30             | 31.07               | 34.30                      |
| 2                    | 1.5         | 18.40                     | 18.00                        | 21.00                     | 9.00                           | 9.00               | 21.00              | 16.60                | 18.40                       | 26.60                    | 35.00                      | 28.60                          | 31.60                   | 28.60             | 35.00             | 31.73               | 35.00                      |
| 2                    | 2.0         | 39.80                     | 30.60                        | 30.90                     | 17.30                          | 17.30              | 39.80              | 29.65                | 39.80                       | 32.10                    | 37.80                      | 29.40                          | 36.50                   | 29.40             | 37.80             | 34.57               | 37.80                      |
| 2                    | 2.5         | 41.20                     | 32.40                        | 32.10                     | 18.20                          | 18.20              | 41.20              | 30.98                | 41.20                       | 32.70                    | 37.90                      | 29.50                          | 36.80                   | 29.50             | 37.90             | 34.73               | 37.90                      |
| 2                    | 3.0         | 44.90                     | 36.90                        | 34.80                     | 20.40                          | 20.40              | 44.90              | 34.25                | 44.90                       | 34.30                    | 38.50                      | 29.70                          | 37.60                   | 29.70             | 38.50             | 35.27               | 38.50                      |
| 2                    | 3.5         | 50.80                     | 43.20                        | 38.30                     | 23.60                          | 23.60              | 50.80              | 38.98                | 50.80                       | 36.20                    | 39.20                      | 30.00                          | 38.80                   | 30.00             | 39.20             | 36.00               | 39.20                      |
| 2                    | 4.0         | 63.20                     | 54.80                        | 44.10                     | 29.40                          | 29.40              | 63.20              | 47.88                | 63.20                       | 39.40                    | 40.60                      | 30.50                          | 41.40                   | 30.50             | 41.40             | 37.50               | 40.60                      |
| 2                    | 6.5         | 54.80                     | 58.80                        | 45.90                     | 31.40                          | 31.40              | 58.80              | 47.73                | 54.80                       | 40.40                    | 40.40                      | 30.60                          | 39.70                   | 30.60             | 40.40             | 36.90               | 40.40                      |
| 2                    | 10.5        | 48.20                     | 64.30                        | 48.30                     | 34.20                          | 34.20              | 64.30              | 48.75                | 48.20                       | 41.70                    | 40.30                      | 30.80                          | 38.30                   | 30.80             | 40.30             | 36.47               | 40.30                      |
| 2                    | 15.5        | 44.90                     | 71.50                        | 51.20                     | 37.70                          | 37.70              | 71.50              | 51.33                | 44.90                       | 43.30                    | 40.40                      | 31.00                          | 37.60                   | 31.00             | 40.40             | 36.33               | 40.40                      |
| 2                    | 20.5        | 40.20                     | 73.20                        | 51.90                     | 38.60                          | 38.60              | 73.20              | 50.98                | 40.20                       | 43.70                    | 40.10                      | 31.10                          | 36.50                   | 31.10             | 40.10             | 35.90               | 40.10                      |
| 2                    | 25.0        | 36.60                     | 73.40                        | 52.00                     | 38.70                          | 36.60              | 73.40              | 50.18                | 36.60                       | 43.80                    | 39.90                      | 31.10                          | 35.70                   | 31.10             | 39.90             | 35.57               | 39.90                      |

Tabla 28 deducción de datos geotécnicos para modelación Compacidad relativa dilatancia y Poisson

| DATOS                |             | D <sub>R</sub> (%)                       |                                              |                                            |                                            |                           |                           |                             | Poisson.                           |                            |                        |                    |
|----------------------|-------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------|
| Sondeo de Referencia | Prof. (mts) | Cubrinovski (1999)<br>D <sub>R</sub> (%) | Gibbs and Holtz (1957)<br>D <sub>R</sub> (%) | Idriss and Bou(2003)<br>D <sub>R</sub> (%) | Yoshida et al (1988)<br>D <sub>R</sub> (%) | Minimo D <sub>R</sub> (%) | Maximo D <sub>R</sub> (%) | Promedio D <sub>R</sub> (%) | Valor de Diseño D <sub>R</sub> (%) | Angulo de dilatancia Ψ (°) | Poisson (referencia) μ | Poisson (diseño) μ |
| 1                    | 0.5         | 41.40                                    | 43.80                                        | 37.20                                      | 34.70                                      | 34.70                     | 43.80                     | 39.28                       | 43.80                              | 5.10                       | 0.25                   | 0.300              |
| 1                    | 1           | 57.20                                    | 58.30                                        | 52.60                                      | 44.10                                      | 44.10                     | 58.30                     | 53.05                       | 58.30                              | 7.60                       | 0.30                   | 0.300              |
| 1                    | 1.5         | 70.00                                    | 69.40                                        | 64.50                                      | 51.60                                      | 51.60                     | 70.00                     | 63.88                       | 69.40                              | 9.60                       | 0.35                   | 0.350              |
| 1                    | 2           | 82.90                                    | 79.80                                        | 76.30                                      | 58.90                                      | 58.90                     | 82.90                     | 74.48                       | 79.80                              | 11.60                      | 0.31                   | 0.300              |
| 1                    | 2.5         | 88.60                                    | 84.60                                        | 81.60                                      | 62.50                                      | 62.50                     | 88.60                     | 79.33                       | 84.60                              | 12.50                      | 0.33                   | 0.350              |
| 1                    | 3           | 93.50                                    | 90.10                                        | 86.10                                      | 66.70                                      | 66.70                     | 93.50                     | 84.10                       | 90.10                              | 13.30                      | 0.35                   | 0.350              |
| 1                    | 3.5         | 97.80                                    | 94.90                                        | 90.10                                      | 70.50                                      | 70.50                     | 97.80                     | 88.33                       | 94.90                              | 14.00                      | 0.38                   | 0.350              |
| 1                    | 4           | 100.00                                   | 100.00                                       | 100.00                                     | 83.40                                      | 83.40                     | 100.00                    | 95.85                       | 100.00                             | 16.90                      | 0.45                   | 0.400              |
| 1                    | 6.5         | 100.00                                   | 100.00                                       | 96.20                                      | 79.60                                      | 79.60                     | 100.00                    | 93.95                       | 100.00                             | 15.10                      | 0.42                   | 0.400              |
| 1                    | 10          | 99.40                                    | 94.80                                        | 91.50                                      | 79.50                                      | 79.50                     | 99.40                     | 91.30                       | 94.80                              | 14.30                      | 0.43                   | 0.400              |
| 1                    | 10.5        | 100.00                                   | 95.70                                        | 92.60                                      | 80.80                                      | 80.80                     | 100.00                    | 92.28                       | 95.70                              | 14.50                      | 0.44                   | 0.400              |
| 1                    | 15.5        | 95.50                                    | 87.50                                        | 88.00                                      | 80.20                                      | 80.20                     | 95.50                     | 87.80                       | 87.50                              | 13.60                      | 0.45                   | 0.400              |
| 1                    | 20.5        | 92.30                                    | 81.60                                        | 85.00                                      | 80.10                                      | 80.10                     | 92.30                     | 84.75                       | 81.60                              | 13.10                      | 0.47                   | 0.400              |
| 1                    | 25          | 88.10                                    | 75.70                                        | 81.10                                      | 78.30                                      | 75.70                     | 88.10                     | 80.80                       | 75.70                              | 12.40                      | 0.47                   | 0.400              |
| 2                    | 0.5         | 40.40                                    | 43.90                                        | 37.20                                      | 35.00                                      | 35.00                     | 43.90                     | 39.13                       | 43.9                               | 5.1                        | 0.25                   | 0.300              |
| 2                    | 1.0         | 54.20                                    | 55.60                                        | 49.90                                      | 42.20                                      | 42.20                     | 55.60                     | 50.48                       | 55.60                              | 7.10                       | 0.29                   | 0.300              |
| 2                    | 1.5         | 62.60                                    | 62.30                                        | 57.70                                      | 46.70                                      | 46.70                     | 62.60                     | 57.33                       | 62.30                              | 8.40                       | 0.32                   | 0.300              |
| 2                    | 2.0         | 92.20                                    | 89.00                                        | 84.90                                      | 65.10                                      | 65.10                     | 92.20                     | 82.80                       | 89.00                              | 13.10                      | 0.33                   | 0.300              |
| 2                    | 2.5         | 93.90                                    | 89.60                                        | 86.40                                      | 65.80                                      | 65.80                     | 93.90                     | 83.93                       | 89.60                              | 13.40                      | 0.34                   | 0.350              |
| 2                    | 3.0         | 97.90                                    | 94.40                                        | 90.20                                      | 69.70                                      | 69.70                     | 97.90                     | 88.05                       | 94.40                              | 14.00                      | 0.37                   | 0.350              |
| 2                    | 3.5         | 100.00                                   | 100.00                                       | 95.90                                      | 74.90                                      | 74.90                     | 100.00                    | 92.70                       | 100.00                             | 15.00                      | 0.40                   | 0.400              |
| 2                    | 4.0         | 100.00                                   | 100.00                                       | 100.00                                     | 83.90                                      | 83.90                     | 100.00                    | 95.98                       | 100.00                             | 17.00                      | 0.45                   | 0.400              |
| 2                    | 6.5         | 100.00                                   | 100.00                                       | 99.60                                      | 82.50                                      | 82.50                     | 100.00                    | 95.53                       | 100.00                             | 15.70                      | 0.44                   | 0.400              |
| 2                    | 10.5        | 100.00                                   | 96.10                                        | 93.40                                      | 81.80                                      | 81.80                     | 100.00                    | 92.83                       | 96.10                              | 14.60                      | 0.45                   | 0.400              |
| 2                    | 15.5        | 97.20                                    | 89.20                                        | 90.20                                      | 82.60                                      | 82.60                     | 97.20                     | 89.80                       | 89.20                              | 14.00                      | 0.47                   | 0.400              |
| 2                    | 20.5        | 92.70                                    | 81.30                                        | 85.30                                      | 80.90                                      | 80.90                     | 92.70                     | 85.05                       | 81.30                              | 13.20                      | 0.48                   | 0.450              |
| 2                    | 25.0        | 88.40                                    | 75.20                                        | 81.40                                      | 79.10                                      | 75.20                     | 88.40                     | 81.03                       | 75.20                              | 12.50                      | 0.48                   | 0.450              |

Fuente: Elaboración propia

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                   |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION<br>PROYECTO TARAZÁ –<br>CORREGIMIENTO EL GUAIMARO |                   |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>WT. No. 901.283.823-6</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Sept. 2019 |                                                                                                                                                               |

Tabla 29 Parámetros geomecánicos del perfil estratigráfico para el análisis a corto plazo para puente (K14+590)

| Prof. (m) | No. Golpes N | Ysat [kN/m <sup>3</sup> ] | Yseco [kN/m <sup>3</sup> ] | Tipo de suelo | N <sub>60</sub> | (N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub> | E <sub>s</sub> (Mpa) | φ(°) | D <sub>R</sub> (%) | Y (°) | Cu | μ    |
|-----------|--------------|---------------------------|----------------------------|---------------|-----------------|---------------------------------|----------------------|------|--------------------|-------|----|------|
| 0 -2.0    | 10           | 20,56                     | 16,45                      | SW-SM         | 8               | 14                              | 15,30                | 34,6 | 58,3               | 7,60  | 0  | 0,3  |
| 2.0 - 4   | 30           | 21,63                     | 17,30                      | SM            | 22              | 33                              | 40,90                | 38,0 | 90,1               | 13,3  | 0  | 0,35 |
| 4 -15.5   | 45           | 21,63                     | 17,30                      | SM            | 44              | 39                              | 46,20                | 39,9 | 94,8               | 14,3  | 0  | 0,4  |
| 15.5 - 25 | 53           | 21,63                     | 17,62                      | SM            | 53              | 33                              | 39,90                | 40,0 | 81,6               | 13,1  | 0  | 0,4  |

Fuente: Elaboración propia

#### 9.5.4. TIPO DE CIMENTACIÓN

Considerando la presencia de depósitos aluviales en la zona del proyecto, la susceptibilidad a procesos de socavación en las cimentaciones del puente y las sugerencias por parte del diseño estructural, se plantea una solución de cimentación profunda con pilotes pre-excavados y fundidos in-situ.

#### 9.5.5. RESULTADOS DE ESTUDIO DE HIDRÁULICA Y SOCAVACIÓN

Los resultados obtenidos en los estudios hidráulicos para el diseño de la cimentación del puente indican que el área de apoyo de la estructura es susceptible a fenómenos de socavación. Los análisis hidráulicos se realizaron considerando un caudal de  $Q = 24.63 \text{ m}^3/\text{s}$ , correspondiente a un periodo de retorno de  $T_p = 100$  años.

El valor de socavación suministrado incluye la socavación general del cauce y la socavación local debido a la presencia de los pilotes. De acuerdo con los análisis hidráulicos, no se estimaron valores de socavación máxima en la zona de ubicación de las cimentaciones del puente.

Tabla 30 Profundidad de socavación máxima en los apoyos del puente (K14+590)

| Estructura         | Socavación máxima (m) |
|--------------------|-----------------------|
| Puente L=35 metros | 0.00                  |

Fuente: Elaboración propia



#### 9.5.6. CONDICIONES EVALUADAS

Considerando la naturaleza de los suelos y las condiciones del nivel freático en el sitio, se evalúa el siguiente escenario:

Tabla 31 Condiciones evaluadas en el diseño de cimentación del Puente (K14+590)

| Caso   | N.F. | Condición de carga | Tipo de análisis |
|--------|------|--------------------|------------------|
|        |      | Suelos granulares  |                  |
| Caso 1 | 1 m  | No drenados        | Corto plazo      |

Fuente: Elaboración propia

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

## 9.5.7. CAPACIDAD DE CARGA AXIAL

### 9.5.7.1. GENERALIDADES

La capacidad de carga axial del pilote se evaluará considerando la siguiente metodología:

- i) Estado límite de resistencia para pilote individual:**  
Evaluación de la capacidad de carga última y admisible de un pilote individual de acuerdo a los métodos analíticos establecidos en la Sección 9.2.
- ii) Estado límite de resistencia considerando efectos de grupo:**  
Evaluación de la capacidad de carga última y admisible de un pilote individual considerando los efectos de grupo.
- iii) Estado límite de serviciabilidad:**  
Evaluación de los asentamientos máximos de un pilote individual ante la aplicación de las cargas de servicio.



### 9.5.7.2. ESTADO LÍMITE DE RESISTENCIA DE PILOTE INDIVIDUAL

De acuerdo con los métodos establecidos en la Sección 9.2, se calculó la resistencia de un pilote individual ante carga axial. Se evaluaron pilotes con diámetro de  $D = 1.3$  metros y una longitud embebida en el suelo de hasta  $L = 20$  m.

Los resultados obtenidos al evaluar la capacidad de carga de un pilote del puente para las diferentes geometrías y condiciones de drenaje consideradas se presentan a continuación. El factor de seguridad utilizado en el cálculo de la capacidad admisible de carga es de  $F.S. = 2.4$ , el cual fue escogido teniendo en cuenta los lineamientos del capítulo A.6 Fundaciones, numeral A.6.6.5.4., del Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes 1995 (CCDSP).

Considerando que la carga de servicio por apoyo es igual a  $Q = 3739$  kN, se requieren 4 pilotes de 20 metros de longitud para soportarla. Esta propuesta de cimentación será evaluada en las siguientes secciones considerando los efectos de grupo y los asentamientos estimados para la cimentación. A continuación, se presenta las memorias de cálculo correspondientes a los resultados presentados.





|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-S</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

### 9.5.7.2.1. MEMORIAS DE CÁLCULO

#### 9.5.7.2.1.1. CASO 1

#### Caso 1: Nivel freático a 1 m de profundidad y condición no drenada de suelos granulares

| Estrato No. | Cota    |       | Espesor (m) | Tipo de Suelos  | OCR | Cohesion C (kN/m <sup>2</sup> ) | (Φ)(°) | Peso Unitario (kN/m <sup>3</sup> ) | Nivel freático (m) | (s'v) (kN/m <sup>2</sup> ) | (s'v) (kN/m <sup>2</sup> ) | (u)  | Es kPa |
|-------------|---------|-------|-------------|-----------------|-----|---------------------------------|--------|------------------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|------|--------|
|             | Inicial | Final |             |                 |     |                                 |        |                                    |                    |                            |                            |      |        |
| 1           | 0       | 2     | 2           | SW-SM           | 1   | 0                               | 34,6   | 20,56                              | 1                  | 21,5                       | 21,5                       | 0,30 | 15300  |
| 2           | 2       | 4     | 2           | SM              | 1   | 0                               | 38     | 21,63                              | 1                  | 23,7                       | 45,2                       | 0,35 | 35900  |
| 3           | 4       | 15,5  | 11,5        | SM              | 1   | 0                               | 39,9   | 21,63                              | 1                  | 136,0                      | 181,2                      | 0,40 | 45000  |
| 4           | 15,5    | 25    | 9,5         | SM              | 1   | 0                               | 40     | 21,63                              | 1                  | 112,4                      | 293,6                      | 0,40 | 40000  |
| 5           | 25      | 16    | -9          | SP              | 1   | 5                               | 31     | 18,6                               | 1                  | -79,2                      | 214,4                      | 0,35 | 25800  |
| 6           | 16      | 15,5  | -0,5        | Arena arcillosa | 1   | 50,8                            | 39     | 19                                 | 1                  | -4,6                       | 209,8                      | 0,35 | 39200  |
| 7           | 15,5    | 12,6  | -2,9        | Arena densa     | 1   | 0                               | 46,7   | 17,7                               | 0                  | -51,3                      | 158,5                      | 0,35 | 240000 |
| 8           | 12,6    | 15    | 2,4         | Arena densa     | 1   | 0                               | 38,7   | 17,7                               | 0                  | 42,5                       | 201,0                      | 0,35 | 133750 |
| 9           | 15      | 23,5  | 8,5         | Arena densa     | 1   | 0                               | 47,4   | 17,7                               | 0                  | 150,5                      | 351,4                      | 0,35 | 250000 |
| 10          | 23,5    | 26,3  | 2,8         | Arena densa     | 1   | 0                               | 47,4   | 17,7                               | 0                  | 49,6                       | 401,0                      | 0,35 | 250000 |

|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAzá – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-S</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

### Caso 1: Nivel freático a 1 m de profundidad y condición no drenada de suelos granulares

Resistencia por punta de suelos granulares y suelos cohesivos drenados

Resistencia por punta

| Gs (kPa) | ev      | Ir     | Irr    | Nq      | Nc      | Ko    | h     | Sqp   | Scp   | Capacidad Carga Punta (Qp) (kN) | Capacidad Carga Punta (Qp) (tn) |
|----------|---------|--------|--------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|
| 5.884,6  | 0,00104 | 396,39 | 280,30 | 132,573 | 190,725 | 0,432 | 0,621 | 0,621 | 1,452 | 2.353,26                        | 239,96                          |
| 13.296,3 | 0,00078 | 376,68 | 290,79 | 191,879 | 244,314 | 0,384 | 0,590 | 0,590 | 1,255 | 6.783,86                        | 691,75                          |
| 16.071,4 | 0,00188 | 106,06 | 88,43  | 125,011 | 148,316 | 0,359 | 0,572 | 0,572 | 1,071 | 17.211,52                       | 1.755,06                        |
| 14.285,7 | 0,00343 | 57,99  | 48,38  | 92,103  | 108,572 | 0,357 | 0,571 | 0,571 | 1,044 | 20.512,42                       | 2.091,65                        |
| 9.555,6  | 0,00518 | 71,40  | 52,13  | 42,026  | 68,279  | 0,485 | 0,657 | 0,657 | 1,050 | 8.329,46                        | 849,35                          |
| 14.518,5 | 0,00333 | 65,78  | 53,95  | 89,178  | 108,891 | 0,371 | 0,580 | 0,580 | 1,069 | 22.262,14                       | 2.270,07                        |
| 88.888,9 | 0,00041 | 528,55 | 434,14 | 566,076 | 532,500 | 0,272 | 0,515 | 0,515 | 1,110 | 61.302,66                       | 6.251,03                        |
| 49.537,0 | 0,00094 | 307,68 | 238,88 | 186,236 | 231,212 | 0,375 | 0,583 | 0,583 | 1,070 | 28.969,83                       | 2.954,05                        |
| 92.592,6 | 0,00088 | 242,29 | 199,88 | 391,047 | 358,667 | 0,264 | 0,509 | 0,509 | 1,060 | 92.889,59                       | 9.471,95                        |
| 92.592,6 | 0,00100 | 212,34 | 175,17 | 362,942 | 332,823 | 0,264 | 0,509 | 0,509 | 1,054 | 98.372,30                       | 10.031,02                       |
| 92.592,6 | 0,00160 | 132,32 | 109,16 | 277,788 | 254,520 | 0,264 | 0,509 | 0,509 | 1,035 | 120.825,57                      | 12.320,58                       |

**Notas:**

**Resistencia por punta de suelos granulares y suelos cohesivos drenados:**



Método 1-1: Método de Vesic (1977)

Método 1-2: Método NAVFAC DM 7.2

Método 1-3: Método de O'Neill y Reese (1999)

**Resistencia por punta de suelos cohesivos no drenados:**

Método 2-1: Método de O'Neill y Reese (1999)

|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

**Caso 1: Nivel freático a 1 m de profundidad y condición no drenada de suelos granulares**

| $\alpha$ | $\delta$ | Capacidad Carga Fricción Arcillas (kN) | Capacidad Carga Fricción Arenas(kN) | Capacidad Carga Fricción (Qs) (kN) | Capacidad Carga Fricción (Qs) (tn) |
|----------|----------|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 0        | 25,95    | 0                                      | 18,48                               | 18,48                              | 1,88                               |
| 0        | 28,5     | 0                                      | 56,85                               | 75,33                              | 7,68                               |
| 0        | 29,93    | 0                                      | 1097,51                             | 1172,84                            | 119,60                             |
| 0        | 30       | 0                                      | 1899,75                             | 3072,59                            | 313,32                             |
| 5,28     | 23,25    | -970,38                                | -1945,33                            | 156,88                             | 16,00                              |
| 0,71     | 29,25    | -73,65                                 | -89,91                              | -6,68                              | -0,68                              |
| 0        | 35,03    | 0                                      | -416,19                             | -422,87                            | -43,12                             |
| 0        | 29,03    | 0                                      | 366,39                              | -56,48                             | -5,76                              |
| 0        | 35,55    | 0                                      | 1808,11                             | 1751,63                            | 178,62                             |
| 0        | 35,55    | 0                                      | 811,28                              | 2562,91                            | 261,35                             |
| 0        | 35,55    | 0                                      | 5510,32                             | 8073,23                            | 823,25                             |

**Notas:**

**Resistencia por fricción de suelos granulares:**

Método 3-1: Método Das (2012)

Método 3-2: Método  $\beta$



**Resistencia por fricción de suelos granulares:**

Método 4-1: Método  $\beta$

**Resistencia por punta de suelos cohesivos no drenados:**

Método 5-1: Método  $\alpha$  (versión 1)

Método 5-2: Método  $\alpha$  (versión 2)



|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NIT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                               |

**Caso 1: Nivel freático a 1 m de profundidad y condición no drenada de suelos granulares**

**RESUMEN RESULTADOS CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES INDIVIDUAL**

| Profundidad (m) | Capacidad Carga Punta (Qp) (kN) | Capacidad Carga Friccion (Qs) (kN) | Relacion Qp/Qs | Capacidad Carga Ultima (kN) | % capacidad punta | % capacidad fricción | CARGAS DE DISEÑO CORRECCION |               |               |
|-----------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------|-----------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------|---------------|---------------|
|                 |                                 |                                    |                |                             |                   |                      | Qpunta (kN)                 | Fricción (kN) | Q (kN) DISEÑO |
| 2               | 2.353,26                        | 18,48                              | 127,34         | 2.371,74                    | 99,22             | 0,78                 | 2.353,3                     | 18,5          | 2.371,7       |
| 4               | 6.783,86                        | 75,33                              | 90,06          | 6.859,19                    | 98,90             | 1,10                 | 6.783,9                     | 75,3          | 6.859,2       |
| 15,5            | 17.211,52                       | 1172,84                            | 14,68          | 18.384,36                   | 93,62             | 6,38                 | 17.211,5                    | 1.172,8       | 18.384,4      |
| 25              | 20.512,42                       | 3072,59                            | 6,68           | 23.585,01                   | 86,97             | 13,03                | 20.512,4                    | 3.072,6       | 23.585,0      |
| 16              | 8.329,46                        | 156,88                             | 53,09          | 8.486,34                    | 98,15             | 1,85                 | 8.329,5                     | 156,9         | 8.486,3       |
| 15,5            | 22.262,14                       | -6,68                              | -3332,66       | 22.255,46                   | 100,03            | -0,03                | 22.262,1                    | -6,7          | 22.255,5      |
| 12,6            | 61.302,66                       | -422,87                            | -144,97        | 60.879,79                   | 100,69            | -0,69                | 26.546,5                    | -422,9        | 26.123,6      |
| 15              | 28.969,83                       | -56,48                             | -512,92        | 28.913,35                   | 100,20            | -0,20                | 26.546,5                    | -56,5         | 26.490,0      |
| 23,5            | 92.889,59                       | 1751,63                            | 53,03          | 94.641,22                   | 98,15             | 1,85                 | 26.546,5                    | 1.751,6       | 28.298,1      |
| 26,3            | 98.372,30                       | 2562,91                            | 38,38          | 100.935,21                  | 97,46             | 2,54                 | 26.546,5                    | 2.562,9       | 29.109,4      |

**Notas:** La variable Qs\* corresponde a la resistencia por fricción del pilote de acuerdo a las ecuaciones presentadas en la secciones 9.2.4 y 9.2.5. La variable Qs<sub>(corr)</sub> corresponde a la corrección realizada al valor de la resistencia por fricción de acuerdo a la recomendación de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14 (comentarios C.10.8.3.5.1b - C.10.8.1.6.2), ver sección 9.2.7.

|                                                                                   |                                                                                              |                  |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</b> |                  |  |
|                                                                                   | Contrato: SC 01521 19                                                                        | Fecha: Dic 2019. |                                                                                     |

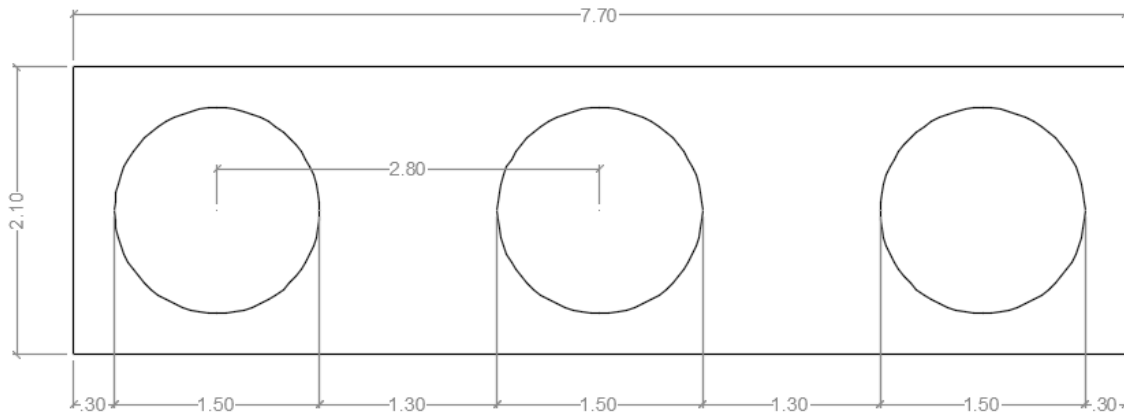
### 9.5.7.2. ESTADO LÍMITE DE RESISTENCIA CONSIDERANDO EFECTOS DE GRUPO

De acuerdo con los métodos establecidos en la Sección 9.3, se calculó la resistencia de un pilote ante carga axial considerando los efectos de grupo. El grupo de pilotes consiste en una fila única de tres pilotes ( $n_1 = 4$ ) con espaciamiento centro a centro de  $S = 1,95$  m. Las dimensiones del grupo de pilotes son:

$$L_g = (4 - 1) (1,95\text{m}) + 1.3 \text{ m} = 7.15 \text{ m}$$



$$B_g = (1 - 1) (0 \text{ m}) + 1.3 \text{ m} = 1.3 \text{ m}$$

Figura 8-4 Distribución de pilotes en grupo - puente L = 35 metros (K14+590)



Fuente: Elaboración propia

En el cálculo de la capacidad de carga a compresión del grupo de pilotes, se consideraron los respectivos factores de eficiencia señalados en la Sección 9.2 para cada tipo de suelo. El cálculo de la capacidad de carga de un muelle equivalente definido por los pilotes y el bloque de suelo delimitado por ellos no se consideró en el análisis. Lo anterior se debe a que el depósito de suelo no presenta suelos arcillosos en los 5 primeros metros de profundidad y, por lo tanto, no se espera que ocurra la falla por bloque (análisis de muelle equivalente), la cual es característica de este tipo de suelos. Los resultados se presentan a continuación.

|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-S</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |

## MEMORIAS DE CÁLCULO

### 9.5.7.2.1.2. CASO 1

#### Caso 1: Nivel freático a 1 m de profundidad y condición no drenada de suelos granulares

| Profundidad (m) | CARGAS DE DISEÑO CORRECCION |                |               | % capacidad punta | % capacidad fricción | W       | Qadm       |
|-----------------|-----------------------------|----------------|---------------|-------------------|----------------------|---------|------------|
|                 | Qpunta (kN)                 | Qfricción (kN) | Q (kN) DISEÑO |                   |                      |         |            |
| 2               | 2.353,3                     | 18,5           | 2.371,7       | 99,2208258        | 0,77917417           | 63,84   | 924,385782 |
| 4               | 6.783,9                     | 75,3           | 6.859,2       | 98,9017656        | 1,0982344            | 127,68  | 2730,31644 |
| 15,5            | 17.211,5                    | 1.172,8        | 18.384,4      | 93,6204461        | 6,37955392           | 494,76  | 7165,38896 |
| 25              | 20.512,4                    | 3.072,6        | 23.585,0      | 86,9722768        | 13,0277232           | 798     | 9029,08809 |
| 16              | 8.329,5                     | 156,9          | 8.486,3       | 98,1513811        | 1,84861892           | 510,72  | 3025,25303 |
| 15,5            | 22.262,1                    | -6,7           | 22.255,5      | 100,030015        | -0,03001511          | 494,76  | 8778,34747 |
| 12,6            | 26.546,5                    | -422,9         | 26.123,6      | 101,618729        | -1,61872864          | 402,192 | 10482,6363 |
| 15              | 26.546,5                    | -56,5          | 26.490,0      | 100,213213        | -0,21321271          | 478,8   | 10558,6908 |
| 23,5            | 26.546,5                    | 1.751,6        | 28.298,1      | 93,8100765        | 6,18992352           | 750,12  | 11040,75   |
| 26,3            | 26.546,5                    | 2.562,9        | 29.109,4      | 91,1955835        | 8,80441653           | 839,496 | 11289,4073 |



|                                      |      |
|--------------------------------------|------|
| Número de filas en grupo de pilotes  | 1,00 |
| Espaciamiento centro a centro, S [m] | 1,95 |
| Número de pilotes por fila, n [-]    | 4,00 |

#### Caso 1: Nivel freático a 1 m de profundidad y condición no drenada de suelos granulares

##### Capacidad de carga de pilotes considerando efectos de grupo

| Profundidad (m) |            |            |           |            | % capacidad punta | % capacidad fricción | W       | Qadm       |
|-----------------|------------|------------|-----------|------------|-------------------|----------------------|---------|------------|
|                 | eta arenas | eta*n*Qp   | eta*n*Qs  | Qult       |                   |                      |         |            |
| 2               | 0,9        | 8471,74276 | 66,528    | 8538,27076 | 99,2208258        | 0,77917417           | 63,84   | 3493,77281 |
| 4               | 0,9        | 24421,9012 | 271,188   | 24693,0892 | 98,9017656        | 1,0982344            | 127,68  | 10161,1072 |
| 15,5            | 0,9        | 61961,463  | 4222,224  | 66183,687  | 93,6204461        | 6,37955392           | 494,76  | 27081,7763 |
| 25              | 0,9        | 73844,7171 | 11061,324 | 84906,0411 | 86,9722768        | 13,0277232           | 798     | 34579,5171 |
| 16              | 0,9        | 29986,039  | 564,768   | 30550,807  | 98,1513811        | 1,84861892           | 510,72  | 12218,7829 |
| 15,5            | 0,9        | 80143,6965 | -24,048   | 80119,6485 | 100,030015        | -0,03001511          | 494,76  | 32888,4269 |
| 12,6            | 0,9        | 95567,2485 | -1522,332 | 94044,9165 | 101,618729        | -1,61872864          | 402,192 | 38783,1899 |
| 15              | 0,9        | 95567,2485 | -203,328  | 95363,9205 | 100,213213        | -0,21321271          | 478,8   | 39256,1669 |
| 23,5            | 0,9        | 95567,2485 | 6305,868  | 101873,117 | 93,8100765        | 6,18992352           | 750,12  | 41697,0119 |
| 26,3            | 0,9        | 95567,2485 | 9226,476  | 104793,725 | 91,1955835        | 8,80441653           | 839,496 | 42824,5559 |



|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

### 9.5.7.3. ESTADO LÍMITE DE SERVICIO

De acuerdo con los métodos establecidos en la Sección 9.2, se evaluaron los asentamientos de las cimentaciones profundas. Las cargas a considerar en el análisis de asentamientos corresponden a las cargas permanentes de la estructura en estado de servicio y al peso propio del pilote. Las cargas de servicio que corresponden a cargas transitorias (cargas de tránsito), no se tienen en cuenta en la estimación de asentamientos. Las cargas consideradas en el análisis se distribuyen en una carga de servicio por punta ( $Q_{wp}$ ) y por fricción ( $Q_{ws}$ ) como:

$$Q_{wp} = (D + W) \text{ Aporte } Q_p = (D + W) \frac{Q_p}{Q_{ult}}$$

$$Q_{ws} = (D + W) \text{ Aporte } Q_s = (D + W) \frac{Q_s}{Q_{ult}}$$

donde D: Carga muerta estimada en el análisis estructural asignada a cada pilote.

W: Peso propio del pilote.



Los resultados de los asentamientos evaluados para cada caso de estudio se presentan a continuación. Para un pilote de longitud  $L = 20$  m, el asentamiento máximo esperado es de  $S_{max} = 25$  mm.

Tabla 32 Asentamientos máximos estimados - puente

| Es       | u    | p     | A      | L    | Qp     | Qf     | s1    |
|----------|------|-------|--------|------|--------|--------|-------|
| 2,50E+04 | 0,35 | 1,168 | 0,1045 | 20 m | 152 kN | 350 kN | 25 mm |

Fuente: Elaboración propia

Los valores de capacidad de carga deberán ser verificados en el diseño estructural con el fin de que no se sobrepase la resistencia límite del concreto estructural proyectado para la construcción de los pilotes. A continuación, se presenta las memorias de cálculo correspondientes a los resultados presentados.

|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>NIT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |

### 9.5.7.2.1. MEMORIAS DE CÁLCULO

|                                                       |       |
|-------------------------------------------------------|-------|
| Longitud de pilote [m]                                | 20,00 |
| Diámetro de pilote [m]                                | 1,30  |
| Área Pilote [m <sup>2</sup> ]                         | 1,33  |
| Circunferencia pilote                                 | 4,08  |
| Módulo de Elasticidad del pilote [MN/m <sup>2</sup> ] | 29008 |

| RESULTADOS ASENTAMIENTOS DE PILOTES BAJO CARGA DE SERVICIO (PERMANENTES) |    |     |      |   |        |    |                                                      |     |     |                                                      |                                                      |                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------|----|-----|------|---|--------|----|------------------------------------------------------|-----|-----|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Es                                                                       | u  | p   | A    | L | Q<br>p | Qf | Asentamiento por material del pilote, $s_{e(1)}$ [m] | Qt  | D   | Asentamiento por material del pilote, $s_{e(1)}$ [m] | Asentamiento o por carga de fricción, $s_{e(3)}$ [m] | Asentamiento o por carga de fricción, $s_{e(3)}$ [m]S |
| 2,50                                                                     |    |     |      |   |        |    |                                                      |     |     |                                                      |                                                      |                                                       |
| E+0                                                                      | 0, | 1,1 | 0,10 | 2 | 15     | 35 |                                                      |     | 0,3 |                                                      |                                                      |                                                       |
| 4                                                                        | 35 | 68  | 45   | 1 | 2      | 0  | 2,56E-03                                             | 502 | 56  | 1,54E-02                                             | 8,36E-04                                             | 1,88E-02                                              |

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                   |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION<br>PROYECTO TARAZÁ –<br>CORREGIMIENTO EL GUAIMARO |                   |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>WT. No. 901.383.823-6</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Sept. 2019 |                                                                                                                                                               |

### 9.5.7.1. MÓDULO DE REACCIÓN VERTICAL DEL SUELO

El coeficiente de reacción vertical del suelo se determinó de acuerdo a la formulación propuesta por Vesic (1961):

$$k_v = \frac{E_s}{D (1 - \nu^2)}$$

donde  $E_s$ : Módulo de elasticidad del suelo por debajo del pilote.  
 $\nu$ : Coeficiente de Poisson del suelo por debajo del pilote.  
 $D$ : Diámetro del pilote.

Considerando un pilote de diámetro  $D = 1.3$  m y longitud  $L = 20$  m, el suelo por debajo del pilote presenta  $E_s = 29$  MPa y  $\nu = 0.35$ . Para este caso, se obtiene un valor de  $k_v = 25429$  kN/m<sup>3</sup>.

### 9.5.8. CAPACIDAD DE CARGA LATERAL

#### 9.5.7.4. MÓDULO DE REACCIÓN HORIZONTAL DE PILOTE INDIVIDUAL

Para el análisis bajo carga lateral de los pilotes se adoptó el método del Módulo de Reacción, según el cual el suelo se modela como una serie de resortes linealmente elásticos e independientes. La rigidez de los resortes se denomina Módulo de reacción horizontal del suelo  $k_h$ , y se determina en función del tipo de suelo. En términos generales, para suelos cohesivos sobreconsolidados, la literatura recomienda tomar el módulo  $k_h$  como independiente de la profundidad. Para suelos granulares y suelos cohesivos normalmente consolidados, la literatura recomienda utilizar una relación lineal entre el módulo de reacción horizontal del suelo y la profundidad, es decir:

$$k_h \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right] = n_h z$$

siendo  $n_h$  el coeficiente de variación en profundidad del módulo de reacción horizontal  $k_h$ , y  $z$  la profundidad. El módulo  $k_h$  también se expresa como:

$$k_h \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right] = n_h \frac{z}{D}$$

siendo  $D$  el diámetro del pilote.

Al considerar las condiciones presentes en el depósito estudiado, se recomienda una distribución lineal del módulo  $k_h$  con respecto a la profundidad. Se definieron los valores de los coeficientes de variación  $n_h$  para cada tipo de suelo, teniendo en cuenta los siguientes criterios con respecto a sus condiciones de consistencia y compacidad relativa:



|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>INT. No. 901.283.823-S</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |

Tabla 33 Valores de referencia de  $n_h$  [ton/pie<sup>3</sup>] para suelos granulares.

| <i>Relative density</i>    | <i>Loose</i> | <i>Medium</i> | <i>Dense</i> |
|----------------------------|--------------|---------------|--------------|
| Range of value of <i>A</i> | 100–300      | 300–1000      | 1000–2000    |
| Adopted value of <i>A</i>  | 200          | 600           | 1500         |
| $n_h$ , dry or moist sand  | 7            | 21            | 56           |
| $n_h$ , submerged sand     | 4            | 14            | 34           |

Fuente: *Advanced Foundation Engineering, Murthy (2007)*

Tabla 34 Valores de referencia de  $n_h$  para suelos granulares.

| <b>Suelo</b>        | <b><math>n_h</math><br/>kN/m<sup>3</sup></b> |
|---------------------|----------------------------------------------|
| Arena seca o húmeda |                                              |
| Suelta              | 1800-2200                                    |
| Media               | 5500-7000                                    |
| Densa               | 15000-18000                                  |
| Arena sumergida     |                                              |
| Suelta              | 1000-1400                                    |
| Media               | 3500-4500                                    |
| Densa               | 9000-12000                                   |

Fuente: *Fundamentos de Ingeniería de cimentaciones, Das (2012)*

Tabla 35 Valores de referencia de  $n_h$  para suelos cohesivos.

| <i>Soil type</i> | $n_h$ lb/in <sup>3</sup> | <i>Reference</i>           |
|------------------|--------------------------|----------------------------|
| Soft NC clay     | 0.6 to 12.7              | Reese and Matloc, 1956     |
|                  | 1.0 to 2.0               | Davisson and Prakash, 1963 |
| NC organic clay  | 0.4 to 1.0               | Peck and Davisson, 1962    |
|                  | 0.4 to 3.0               | Davisson, 1970             |
| Peat             | 0.2                      | Davisson, 1970             |
| Loess            | 0.1 to 0.4               | Wilson and Hills, 1967     |
|                  | 29 to 40                 | Bowles, 1968               |

Fuente: *Advanced Foundation Engineering, Murthy (2007)*

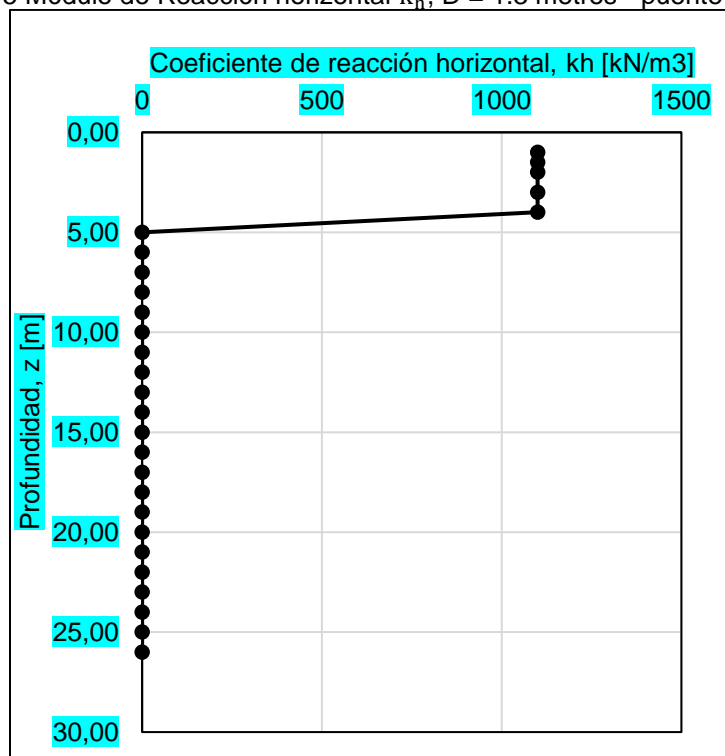
A continuación, se presentan los resultados obtenidos con respecto al coeficiente de reacción horizontal  $k_h$ .

Tabla 36 Módulo de Reacción horizontal  $k_h$ , D = 1.3 metros – puente (K14+590)



| z [m] | $k_h$ [kN/m <sup>3</sup> ] |
|-------|----------------------------|
| 0,50  | 2749                       |
| 1,00  | 5866                       |
| 1,50  | 9461                       |
| 2,00  | 13091                      |
| 2,50  | 15741                      |
| 3,00  | 17651                      |
| 3,50  | 19481                      |
| 4,00  | 29240                      |
| 6,50  | 23468                      |
| 10,00 | 21040                      |
| 10,50 | 21633                      |
| 15,50 | 19319                      |
| 20,50 | 17951                      |
| 25,00 | 16203                      |

Fuente: Elaboración propia

Figura 8-5 Módulo de Reacción horizontal  $k_h$ , D = 1.3 metros - puente (K14+590)



Fuente: Elaboración propia

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

## 10. ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE OBRAS COMPLEMENTARIAS

Las obras complementarias en el diseño de puentes corresponden a terraplenes (rampas de acceso), muros de contención y muros pantalla. Estas obras deberán ser diseñadas para soportar la presión lateral debido al material de relleno y la sobrecarga vehicular. Se debe garantizar el drenaje de las obras de contención por medio de la construcción de lloraderos.

### 10.1. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE RELLENOS

El material de relleno a utilizar deberá cumplir con las recomendaciones establecidas para **rellenos de estructuras** en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVIAS (Artículo 610-13). Según las recomendaciones del INVIAS, los materiales de relleno deberán ser suelos granulares con bajo contenido de finos, los cuales presentan un comportamiento friccionante. En base a estas recomendaciones, para los cálculos de las estructuras de contención que se requieran, se han definido los siguientes parámetros del material de relleno:

- Peso unitario del relleno compacto,  $\gamma$ : 19 kN/m<sup>3</sup>
- Ángulo de fricción interno,  $\phi'$ : 30°
- Cohesión efectiva,  $c'$ : 5 kPa
- Módulo de elasticidad,  $E$ : 27 MPa

### 10.2. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE PRESIONES LATERALES PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Las presiones laterales sobre los muros de contención previstos se deberán evaluar en condición estática activa, siguiendo la teoría de presión activa de tierra de Rankine. Las siguientes formulaciones corresponden a esta teoría:

- Presión activa de tierra de suelos granulares

$$\sigma_a = \sigma_z K_a$$

Donde,  $\sigma_z$  = Esfuerzo geo-estático vertical

$K_a$  = Coeficiente de presión activa de tierra

- Presión activa debido a sobrecarga uniforme

$$\Delta\sigma_{a(q)} = q K_a$$



Donde,  $q$  = Sobrecarga vertical uniforme

- Coeficiente de presión activa de tierra

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi'/2)$$

Donde,  $\phi'$  = Ángulo de fricción efectivo



|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                  |

Las cargas sísmicas se tendrán en cuenta siguiendo la metodología de empuje sísmico de tierra de Mononobe-Okabe, utilizando como factor de aceleración horizontal  $k_h = 0.5 A_a = 0.5(0.15) = 0.075$ , y como factor de aceleración vertical  $k_v = 0.7 k_h = 0.0525$ . Las siguientes formulaciones corresponden a esta teoría:

- Incremento de presión lateral debido al efecto sísmico

$$\Delta\sigma'_{ae,i} = \sigma_{0,i} (K_{ae,i} - K_{a(coulomb),i})$$

$$\sigma_{0,i} = \sum_0^H \gamma_i h_i (1 - k_v)$$

Donde,  $K_{ae,i}$  = Coeficiente para la presión activa de tierra (estática y sísmica) en la capa  $i$ .

$K_{a(coulomb),i}$  = Coeficiente para la presión activa de tierra según la teoría de presión lateral de tierra de Coulomb en la capa  $i$ .

$k_v$  = Coeficiente sísmico de aceleración vertical

$h_i$  = Espesor de la capa  $i$ .

$\gamma_i$  = Peso unitario de la capa  $i$ .

- Coeficientes para la presión activa de tierra

$$K_{a(coulomb),i} = \frac{\cos^2(\phi' - \alpha)}{\cos^2(\alpha) \cos(\alpha + \delta') \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' - \beta)}{\cos(\alpha - \delta') \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

$$K_{ae,i} = \frac{\cos^2(\phi' - \psi - \alpha)}{\cos(\psi) \cos^2(\alpha) \cos(\psi + \alpha + \delta') \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' - \psi - \beta)}{\cos(\delta' + \psi + \alpha) \cos(-\beta + \alpha)}} \right]^2}$$



Donde,  $\phi'$  = Ángulo de fricción interno del suelo

$\delta'$  = Ángulo de fricción suelo-estructura =  $2/3 \phi'$

$\beta$  = Inclinación de la pendiente

$\alpha$  = Inclinación de la cara posterior de la estructura

$\psi$  = Ángulo de inercia sísmico

|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                  |

Adicionalmente, el coeficiente de presión lateral del suelo en reposo se calcula como:

$$K_0 = (1 - \sin \phi')$$

### 10.3. TERRAPLENES Y MUROS DE CONTENCIÓN

Como acceso a los puentes, se planea la construcción de rellenos o terraplenes. En el caso del puente (K14+590), estos rellenos estarán confinados por muros de contención en concreto reforzado de tipo muros en voladizo.

A continuación, se presenta el análisis geotécnico correspondiente a los análisis de estabilidad de los muros en voladizos previstos para el puente (K14+590).

#### 10.3.1. PUENTE L = 35 METROS (K14+590)

##### 10.3.1.1. UBICACIÓN Y GEOMETRÍA DE LA SOLUCIÓN PLANTEADA

La ubicación de los muros previstos para el puente se presenta a continuación:

Figura 10-1 Topografía en la zona y ubicación en planta de muros de contención - puente



Fuente: Elaboración propia

Se han definido dos muros tipo con diferente geometría teniendo en cuenta la topografía de la zona. La longitud y altura de los muros de contención se presenta a continuación relacionada con su ubicación:



|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAzá – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

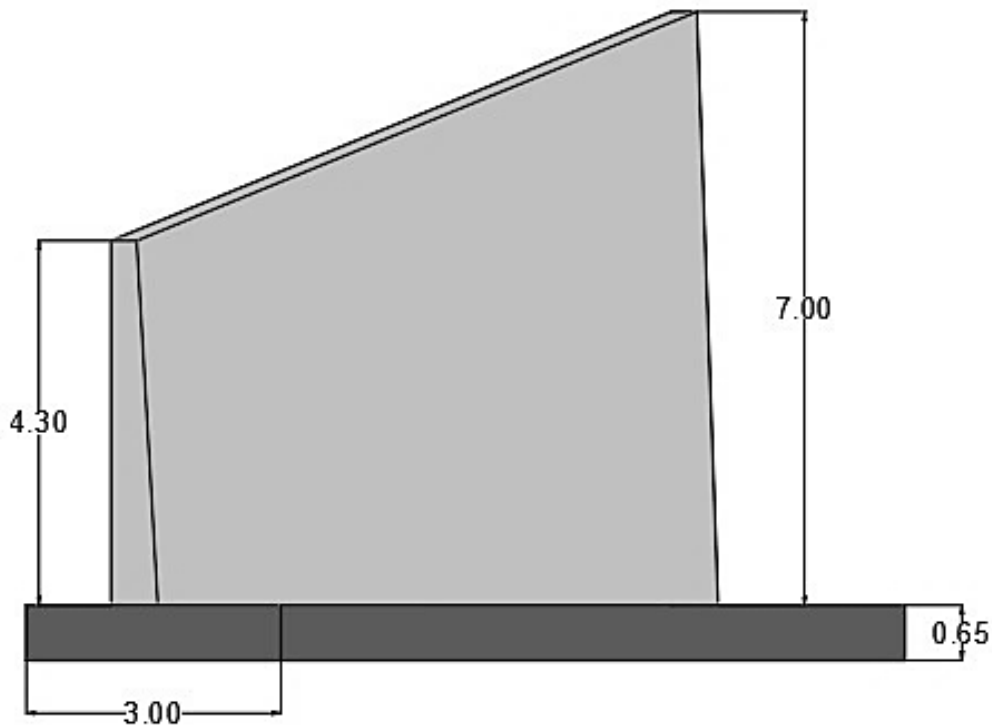
Tabla 37 Muros de contención en concreto reforzado - puente L = 35 metros (K14+590)

| Muro                            | Longitud [m] | H <sub>max</sub> [m] | H <sub>min</sub> [m] | Muro tipo |
|---------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|-----------|
| Acceso puente, margen izquierda | 7.0          | 7.0                  | 4.3                  | I         |
| Acceso puente, margen derecha   | 7.0          | 7.0                  | 4.3                  | I         |
| Salida puente, margen izquierda | 7.0          | 7.0                  | 4.3                  | I         |
| Salida puente, margen derecha   | 7.0          | 7.0                  | 4.3                  | I         |



Fuente: Elaboración propia

Los muros presentan características geométricas variables, tales como su altura, su espesor y el ancho de la zapata. La geometría de los muros se presenta a continuación.

Figura 10-2 Geometría del muro tipo I



Fuente: Elaboración propia

|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NIT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

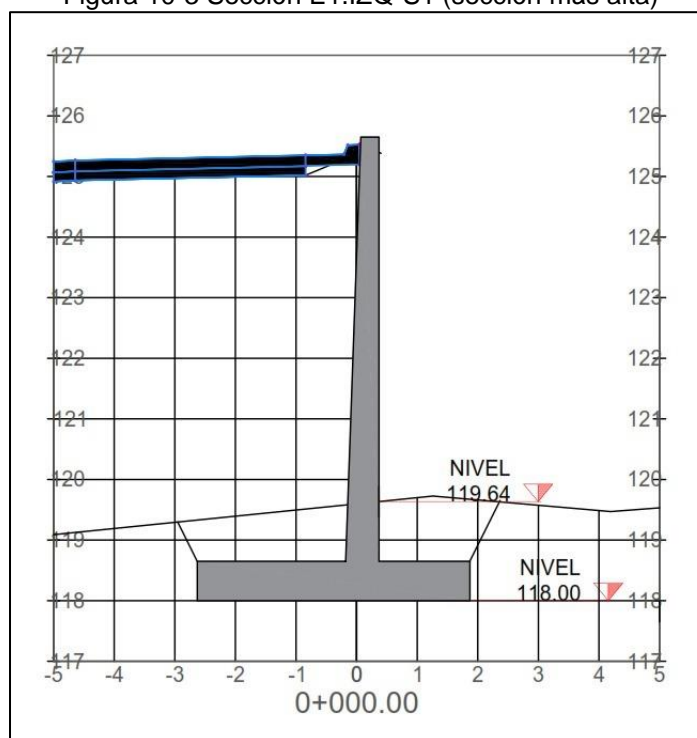
### 10.3.1.2. SECCIONES DE ANÁLISIS

A fin de evaluar en mayor detalle la solución propuesta, las siguientes secciones serán evaluadas:

- **Acceso puente:** Margen izquierdo - Sección E1.IZQ-S1 (sección más alta)  
 Margen izquierdo - Sección E1.IZQ-S2 (sección más baja)  
 Margen derecho - Sección E1.DER-S1 (sección más alta)  
 Margen derecho - Sección E1.DER-S2 (sección más baja)
- **Salida puente:** Margen izquierdo - Sección E2.IZQ-S1 (sección más alta)  
 Margen izquierdo - Sección E2.IZQ-S2 (sección más baja)  
 Margen derecho - Sección E2.DER-S1 (sección más alta)  
 Margen derecho - Sección E2.DER-S2 (sección más baja)

Las secciones escogidas para el análisis de cada muro tipo se presentan a continuación.

Figura 10-3 Sección E1.IZQ-S1 (sección más alta)



Fuente: Elaboración propia



El futuro es de todos

Agencia de Renovación del Territorio

ESTUDIO GEOTECNIA  
CIMENTACION PROYECTO  
TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL  
GUAIMARO

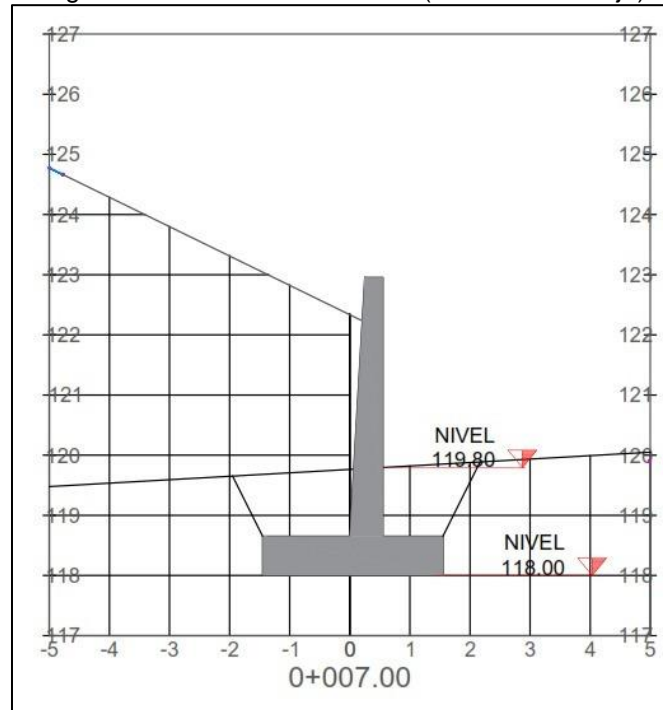


Contrato: SC 01521 19

Fecha: Dic 2019.

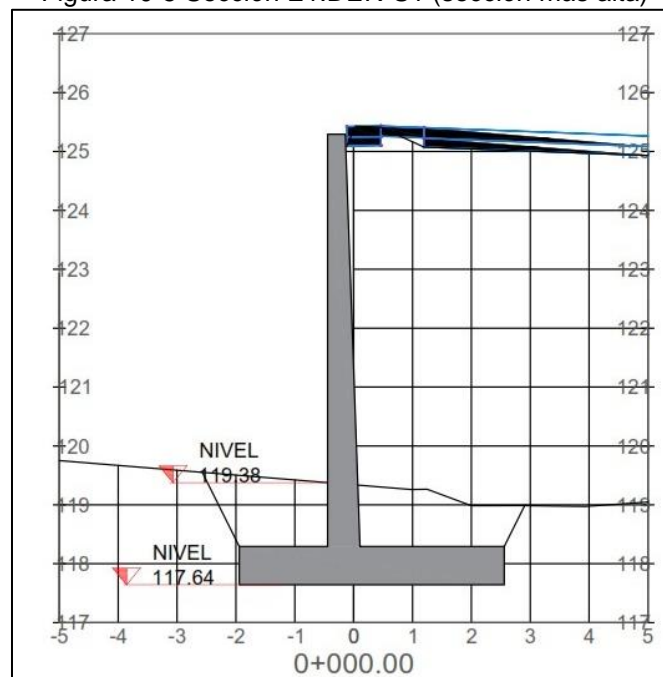
Versión: 01

Figura 10-4 Sección E1.IZQ-S2 (sección más baja)



Fuente: Elaboración propia

Figura 10-5 Sección E1.DER-S1 (sección más alta)



Fuente: Elaboración propia



El futuro es de todos

Agencia de Renovación del Territorio

ESTUDIO GEOTECNIA  
CIMENTACION PROYECTO  
TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL  
GUAIMARO

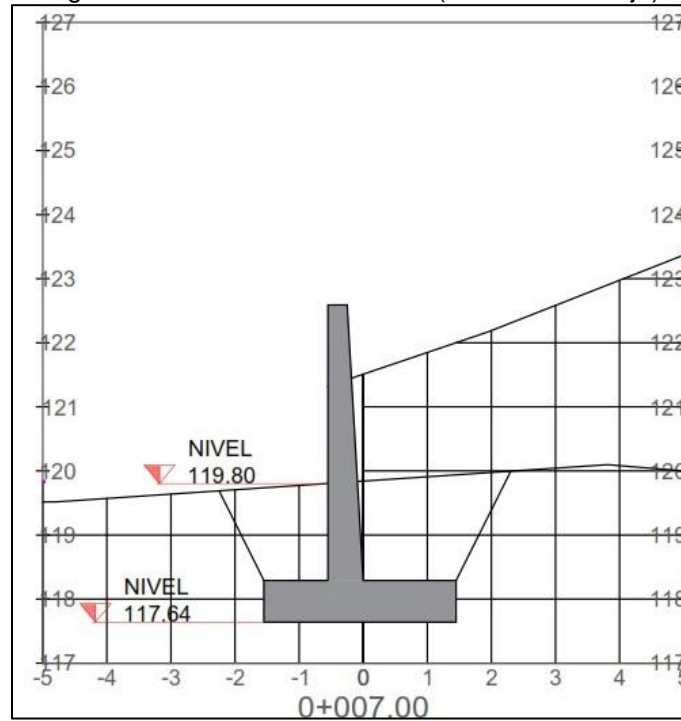


Contrato: SC 01521 19

Fecha: Dic 2019.

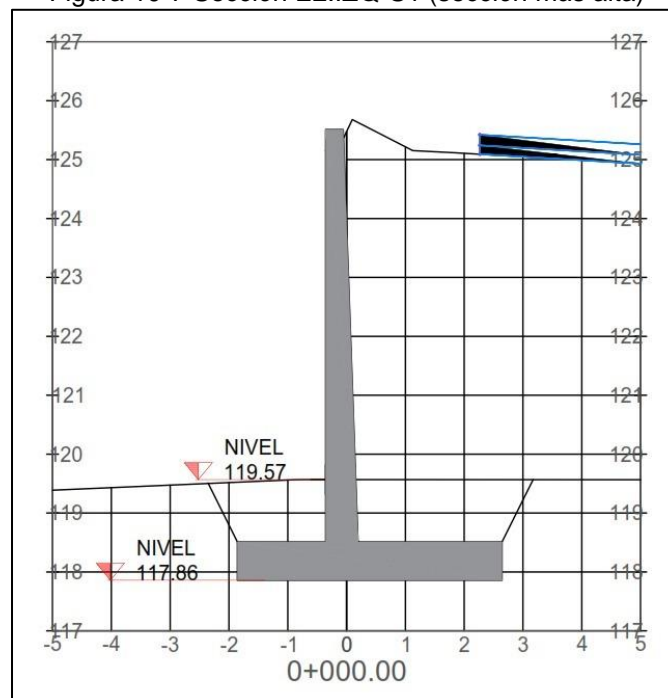
Versión: 01

Figura 10-6 Sección E1.DER-S2 (sección más baja)



Fuente: Elaboración propia

Figura 10-7 Sección E2.IZQ-S1 (sección más alta)



Fuente: Elaboración propia



El futuro es de todos

Agencia de Renovación del Territorio

ESTUDIO GEOTECNIA  
CIMENTACION PROYECTO  
TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL  
GUAIMARO

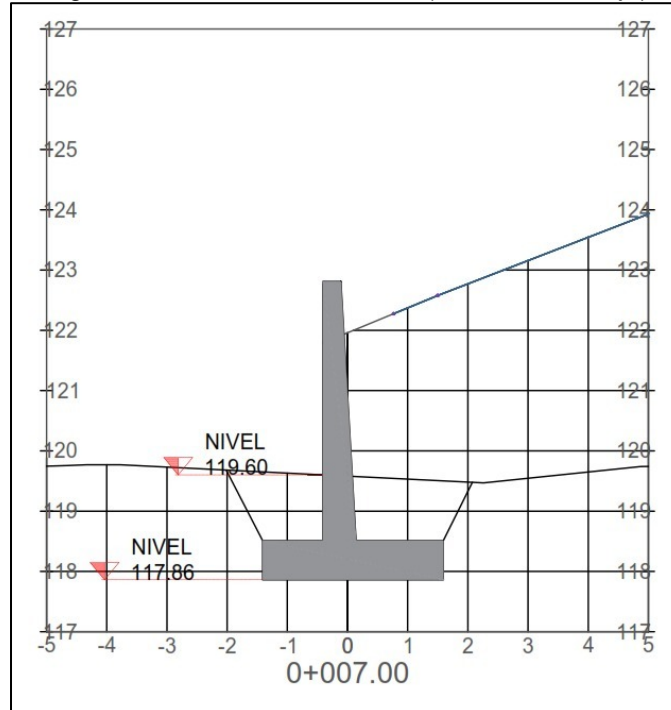


Contrato: SC 01521 19

Fecha: Dic 2019.

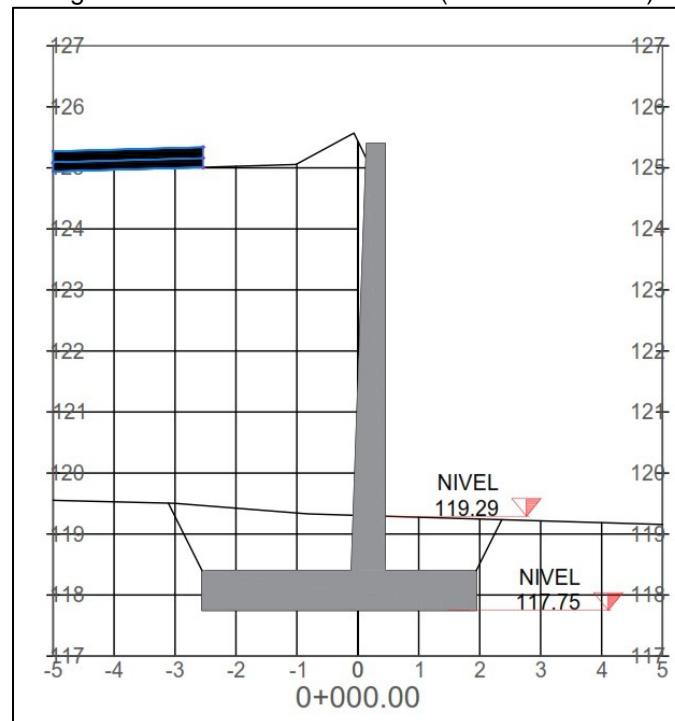
Versión: 01

Figura 10-8 Sección E2.IZQ-S2 (sección más baja)



Fuente: Elaboración propia

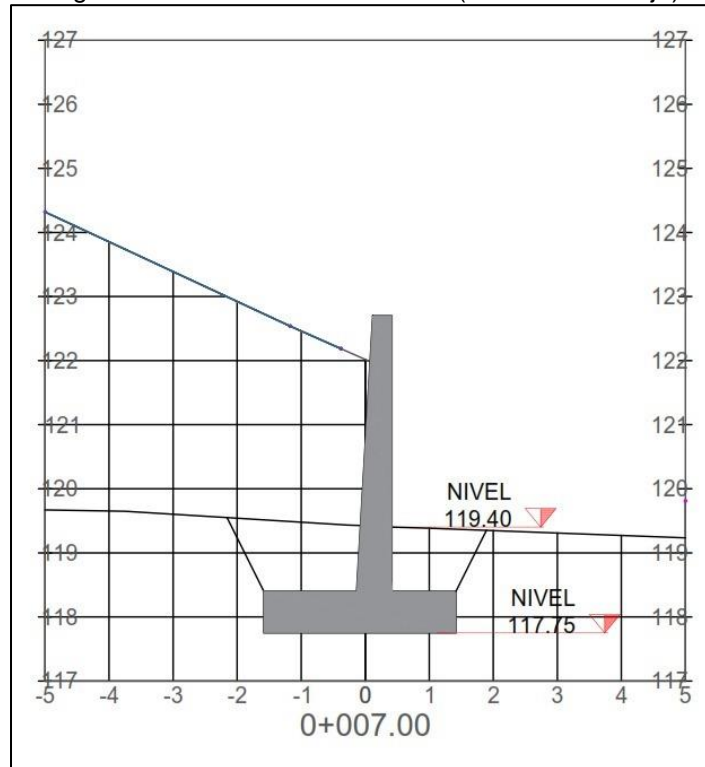
Figura 10-9 Sección E2.DER-S1 (sección más alta)



Fuente: Elaboración propia



Figura 10-10 Sección E2.DER-S2 (sección más baja)



Fuente: Elaboración propia

### 10.3.1.3. PROFUNDIDAD DE DESPLANTE

La profundidad de desplante de cada muro varía manteniendo un valor mínimo de 1.4 metros por debajo del terreno natural



### 10.3.1.4. CONDICIONES EVALUADAS

Considerando la naturaleza de los suelos y las condiciones del nivel freático en el sitio, se evaluaron los siguientes escenarios:

- Caso 1: Ausencia del nivel freático y aplicación de cargas geostáticas y sobrecarga vehicular
- Caso 2: Ausencia del nivel freático y aplicación de cargas geostáticas, sobrecarga vehicular y cargas sísmicas.

### 10.3.1.5. SOBRECARGA VEHICULAR

El Código Colombiano de Diseño de Puentes Sismo – Resistentes de Colombia establece en el numeral A.5.7.2.1 literal b) Otras Cargas que cuando dentro de una distancia igual a la mitad del muro se pueda presentar tráfico de vehículos, se debe considerar un empuje adicional de tierra equivalente a una sobrecarga uniforme de 0.60 m de suelo.

|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |

Siguiendo la recomendación de Código Colombiano de Puentes se utiliza una sobrecarga de:

$$q = 0.60 \text{ m} \times 19.0 \text{ kN/m}^3 = 11.4 \text{ kN/m}^2$$

### 10.3.1.6. FACTORES DE SEGURIDAD EN EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD LOCAL

Para el estudio de estabilidad de los muros de contención se tuvieron en cuenta los factores de seguridad mínimos presentados en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 en el numeral H.6.9. 'Factores de Seguridad Indirectos' para los análisis de estabilidad por deslizamiento y volcamiento y el numeral H.4.7. 'Factores de Seguridad Indirectos' para el análisis de estabilidad por capacidad portante.

Tabla 38 Factores de Seguridad Indirectos mínimos en el análisis de estabilidad por deslizamiento y volcamiento según la NSR-10

| Condición                                                                                                                               | Construcción                                              | Estático                  | Sismo            | Seudo estático            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>Deslizamiento</b>                                                                                                                    | 1.60                                                      | 1.60                      | Diseño           | 1.05                      |
| <b>Volcamiento:</b> el que resulte más crítico de Momento Resistente/ Momento Actuante<br>Excentricidad en el sentido del momento (e/B) | $\geq 3.00$<br>$\leq 1/6$                                 | $\geq 3.00$<br>$\leq 1/6$ | Diseño<br>Diseño | $\geq 2.00$<br>$\leq 1/4$ |
| <b>Capacidad portante</b>                                                                                                               | Iguales a los de la Tabla H.4.1                           |                           |                  |                           |
| <b>Estabilidad intrínseca materiales térreos</b> (reforzados o no)                                                                      | Iguales a los de la Tabla H.2.1                           |                           |                  |                           |
| <b>Estabilidad intrínseca materiales manufacturados</b>                                                                                 | Según material (Concreto-Título C; Madera-Título G; etc.) |                           |                  |                           |
| <b>Estabilidad general del sistema:</b>                                                                                                 |                                                           |                           |                  |                           |
| 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                      |
| <b>Laderas adyacentes (Zona de influencia &gt; 2.5H)</b>                                                                                | 1.20                                                      | 1.50                      | Diseño           | 1.05                      |

Fuente: NSR-10

Tabla 39 Factores de Seguridad Indirectos mínimos en el análisis de estabilidad por capacidad portante según la NSR-10

| Condición                                                         | $F_{SICP}$ Mínimo |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                                                                   | Diseño            |
| Carga Muerta + Carga Viva Normal                                  | 3.0               |
| Carga Muerta + Carga Viva Máxima                                  | 2.5               |
| Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático | 1.5               |

Fuente: NSR-10

Considerando las recomendaciones planteadas en el Reglamento NSR-10, se definieron los siguientes factores de seguridad mínimo.



|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |

Tabla 40 Factores de Seguridad Indirectos mínimos adoptados en el presente estudio

| Análisis           | Condición                                  |                                                       |
|--------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                    | Empuje de tierra +<br>Sobrecarga vehicular | Empuje de tierra +<br>Sobrecarga vehicular +<br>Sismo |
| Deslizamiento      | 1.60                                       | 1.40                                                  |
| Volcamiento        | 3.00                                       | 2.00                                                  |
| Capacidad portante | 2.50                                       | 1.50                                                  |

*Fuente: Elaboración propia*

### 10.3.1.7. METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD LOCAL

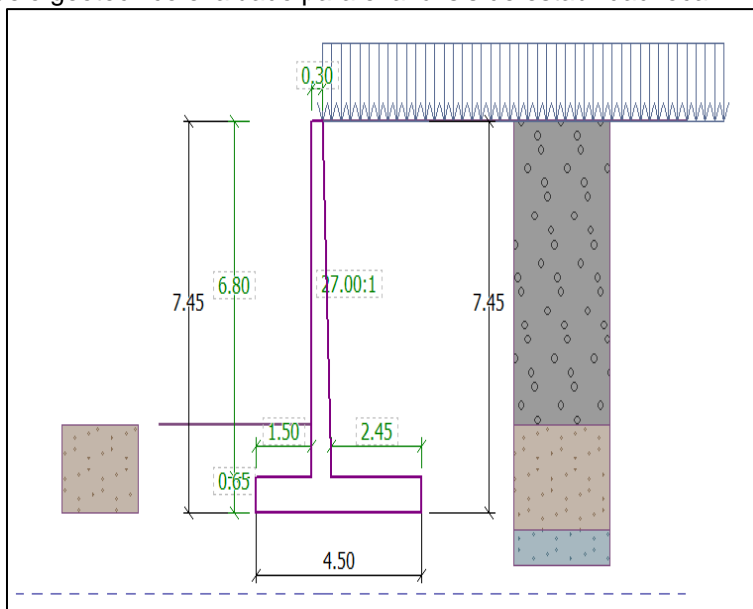
La estabilidad local de las secciones escogidas se evaluó por medio de los programas ‘Muro en voladizo’ y ‘Zapata’ de GEO5, de acuerdo con las condiciones particulares de cada sección. El cálculo de la presión activa y pasiva de tierra se realizó siguiendo la metodología propuesta por Coulomb. Las magnitudes de la sobrecarga aplicada y de los factores de aceleración horizontal y vertical fueron previamente mencionados en el presente informe. Se tuvo en cuenta la topografía presentada en las secciones, considerando la inclinación del terraplén y la profundidad de desplante en cada caso evaluado. La resistencia del suelo en la cara frontal del muro se consideró como el resultado de sumar un tercio de la presión pasiva de tierra y 2/3 de la presión en reposo. No se consideró el nivel freático.

Por encima del nivel del terreno natural, se ingresaron los parámetros definidos previamente para el material de relleno. Por su parte, considerando las profundidades de desplante de los muros, las estructuras se apoyan sobre suelos arcillosos de baja plasticidad (definidos en el perfil estratigráfico como suelo CL-2).

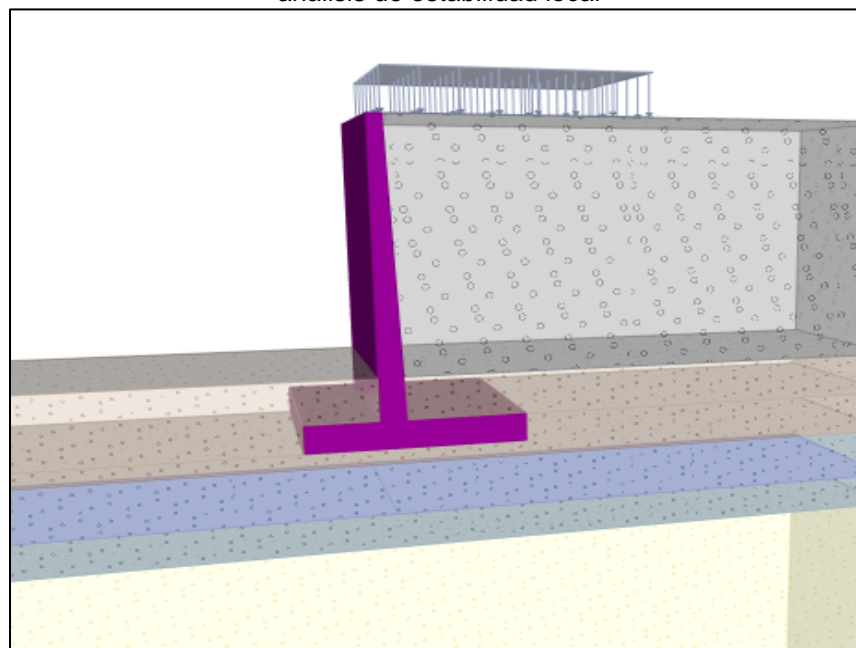
### 10.3.1.8. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD LOCAL – DE LA ALETA

A continuación, se presenta el esquema de la sección evaluada.

Figura 10-11 Modelo geotécnico evaluado para el análisis de estabilidad local



Fuente: Elaboración propia en GEO5  
Figura 10-12 Vista 3D del modelo geotécnico evaluado para el análisis de estabilidad local

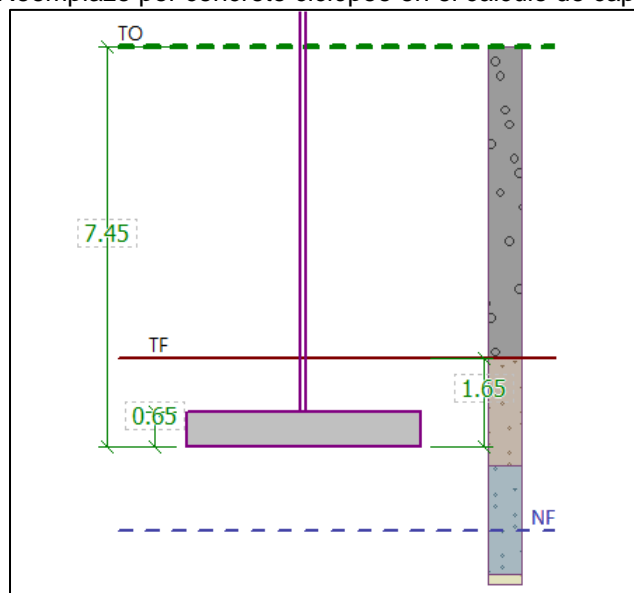


Fuente: Elaboración propia en GEO5

### 10.3.1.8.1. CAPACIDAD PORTANTE

La capacidad portante de la cimentación del muro se evaluó por medio del programa ‘Zapata’ de GEO5. A continuación, se presenta el esquema de la sección evaluada junto con los cálculos realizados y los resultados obtenidos. La capacidad portante calculada con los parámetros del suelo natural no fue suficiente para soportar las cargas de la estructura en esta sección. Por tal razón, se calculó la capacidad portante considerando un reemplazo de suelo por concreto ciclópeo con 0.5 metros de espesor y 0.5 metros de sobrecancho.

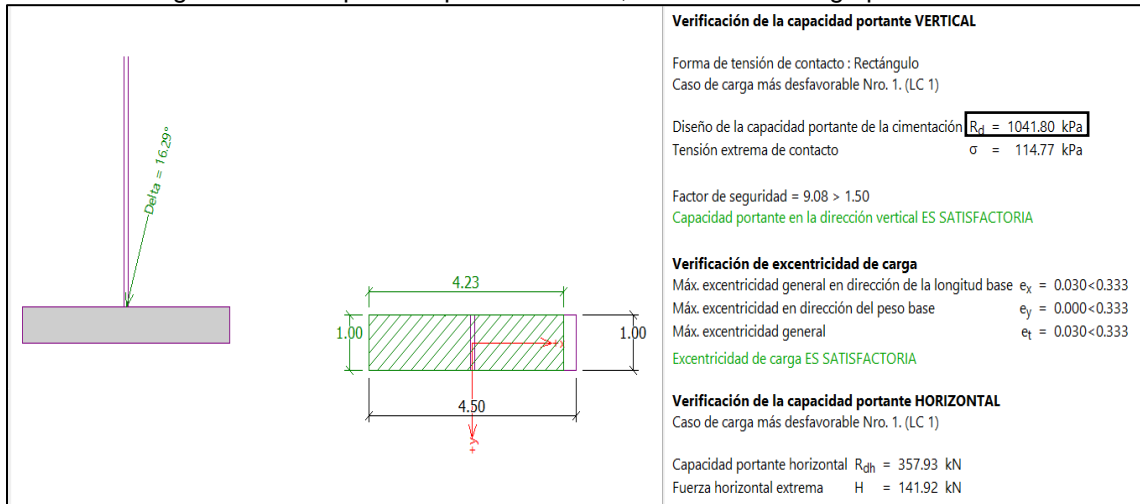
Figura 10-13 Reemplazo por concreto ciclópeo en el cálculo de capacidad portante



Fuente: Elaboración propia en GEO5

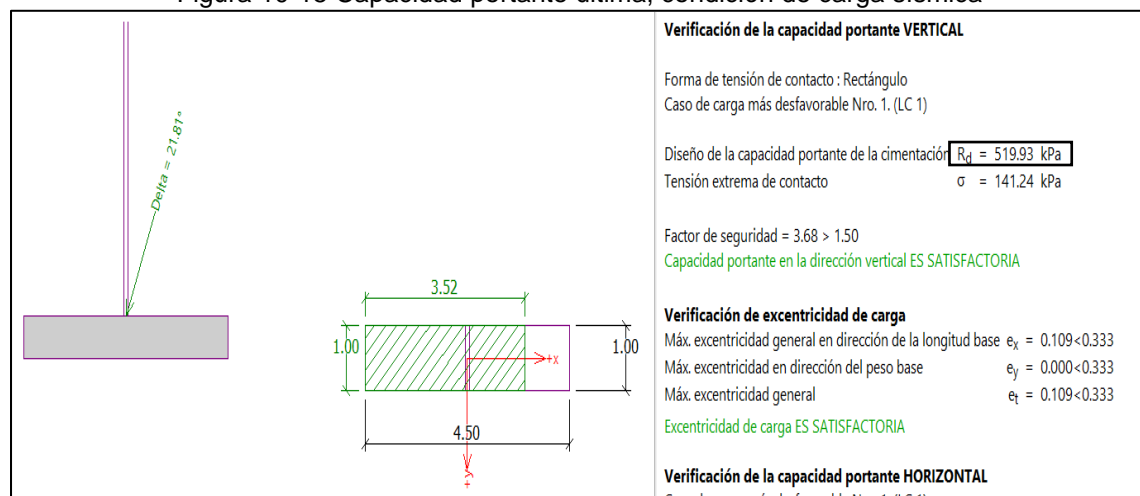
Se utilizó la metodología estándar del programa para obtener la capacidad portante del suelo en condiciones no drenadas. De acuerdo a la estimación de la capacidad de carga para una cimentación tipo zapata continua (Franja de cimentación), se obtiene un valor de carga última para cálculos de  $q_{ult} = 1041.80$  kPa en la condición de carga permanente y  $q_{ult} = 51993$  kPa en la condición de carga sísmica.

Figura 10-14 Capacidad portante última, condición de carga permanente



Fuente: Elaboración propia en GEO5

Figura 10-15 Capacidad portante última, condición de carga sísmica

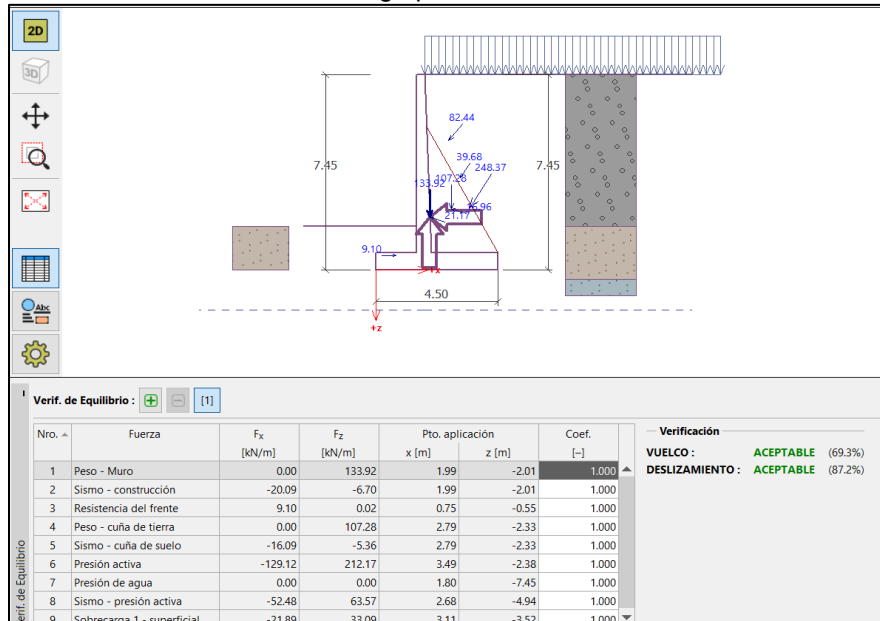


Fuente: Elaboración propia en GEO5

### 10.3.1.8.2. VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE

La verificación de la capacidad portante de la cimentación del muro y la excentricidad de la carga se evaluó por medio del programa 'Muro en voladizo' de GEO5. Se adoptaron los factores de seguridad previamente descritos en este documento y una excentricidad máxima permitida igual a  $e_{max} = 0.333$ . A continuación, se presentan los resultados para los casos de condición de carga permanente y condición de carga sísmica. De acuerdo a los resultados obtenidos, la geometría establecida es favorable para la estabilidad de la estructura en relación a la capacidad portante vertical y la excentricidad de la carga.

Figura 10-16 Verificación de la capacidad portante última y excentricidad máxima. Condición de carga permanente



Fuente: Elaboración propia en GEO5

Figura 10-17 Verificación de la capacidad portante última y excentricidad máxima. Condición de carga permanente

| Carga de diseño actuando en el centro del fondo de la zapata |                 |                      |                             |                   |               |
|--------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------------|-------------------|---------------|
| Nro.                                                         | Momento [kNm/m] | Fuerza Normal [kN/m] | Resistencia al corte [kN/m] | Excentricidad [-] | Tensión [kPa] |
| 1                                                            | 66.01           | 486.48               | 141.92                      | 0.030             | 114.99        |

| Carga de servicio actuando en el centro del fondo de la zapata |                 |                      |                             |
|----------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------------|
| Nro.                                                           | Momento [kNm/m] | Fuerza Normal [kN/m] | Resistencia al corte [kN/m] |
| 1                                                              | 66.01           | 486.48               | 141.92                      |

**Verificación de la capacidad portante del terreno de cimentación**  
Tensión en el fondo de la zapata : trapezoide

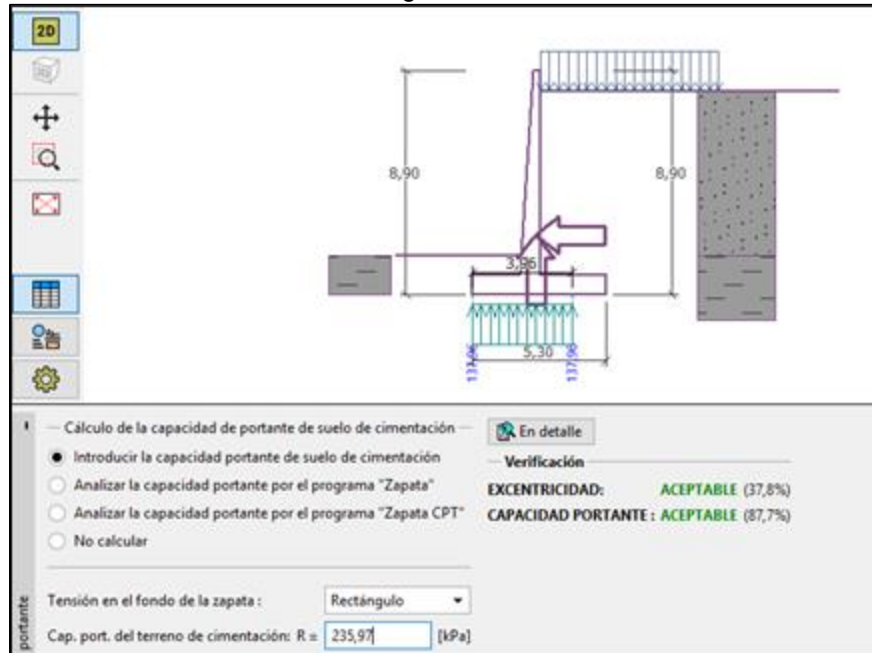
**Verificación de excentricidad**  
Máx. excentricidad de fuerza normal  $e = 0.030$   
Máxima excentricidad permitida  $e_{alw} = 0.333$   
Excentricidad de la fuerza normal **ES SATISFACTORIA**

**Verificación de la capacidad portante del fondo de la zapata**  
Max. tensión en el fondo de la zapata  $\sigma = 127.60$  kPa  
Capacidad portante del terreno de cimentación  $R_d = 357.93$  kPa  
Factor de seguridad = 2.81 > 1.50  
Capacidad portante del terreno de cimentación **ES SATISFACTORIA**

Fuente: Elaboración propia en GEO5

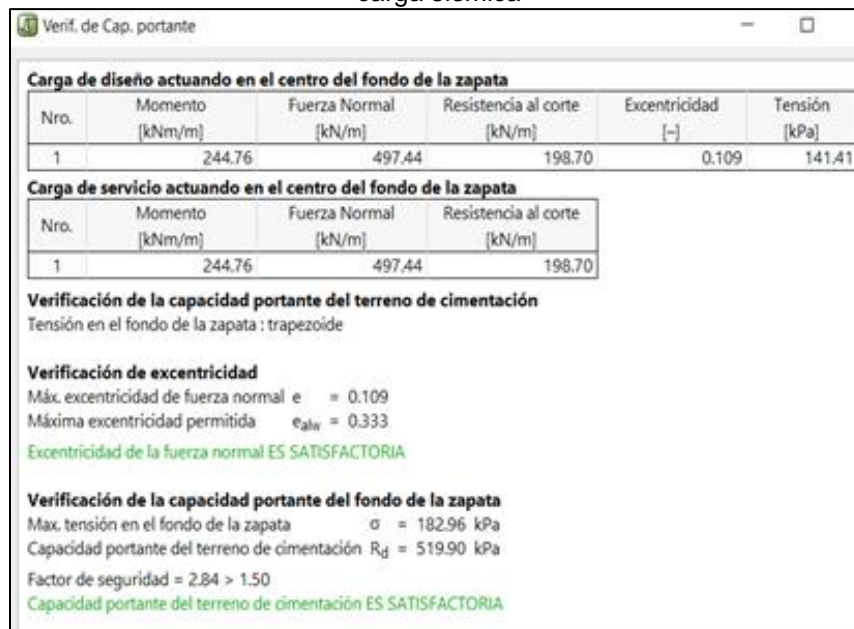


Figura 10-18 Verificación de la capacidad portante última y excentricidad máxima. Condición de carga sísmica



Fuente: Elaboración propia en GEO5

Figura 10-19 Verificación de la capacidad portante última y excentricidad máxima. Condición de carga sísmica

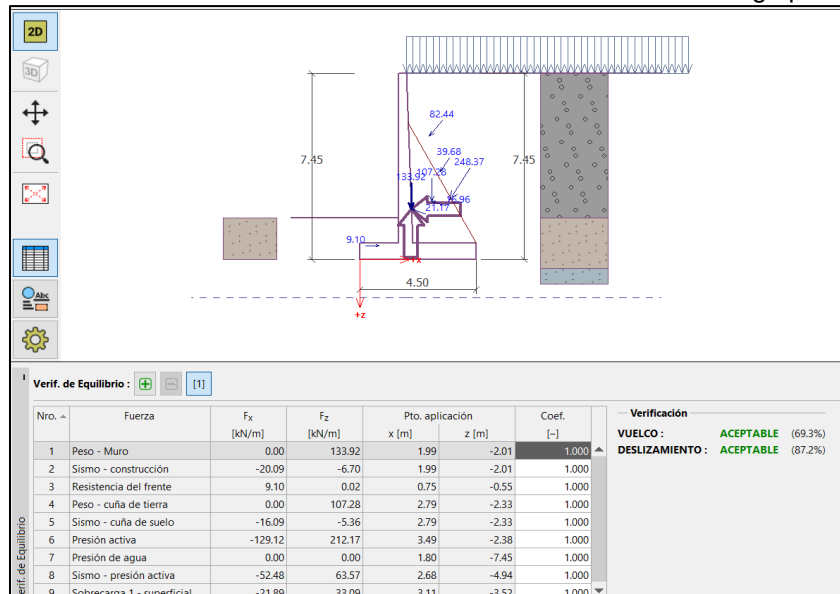


Fuente: Elaboración propia en GEO5

### 10.3.1.8.3. VERIFICACIÓN DE EQUILIBRIO CON CONDICIÓN DE CARGA PERMANENTE

La verificación de equilibrio del muro se evaluó por medio del programa 'Muro en voladizo' de GEO5. A continuación se presentan los resultados para el caso de condición de carga permanente. De acuerdo a los resultados obtenidos, la geometría establecida es favorable para la estabilidad de la estructura en relación a las verificaciones de deslizamiento y volcamiento.

Figura 10-20 Verificación de la estabilidad del muro. Condición de carga permanente



Fuente: Elaboración propia en GEO5

Figura 10-21 Verificación de la estabilidad del muro. Condición de carga permanente

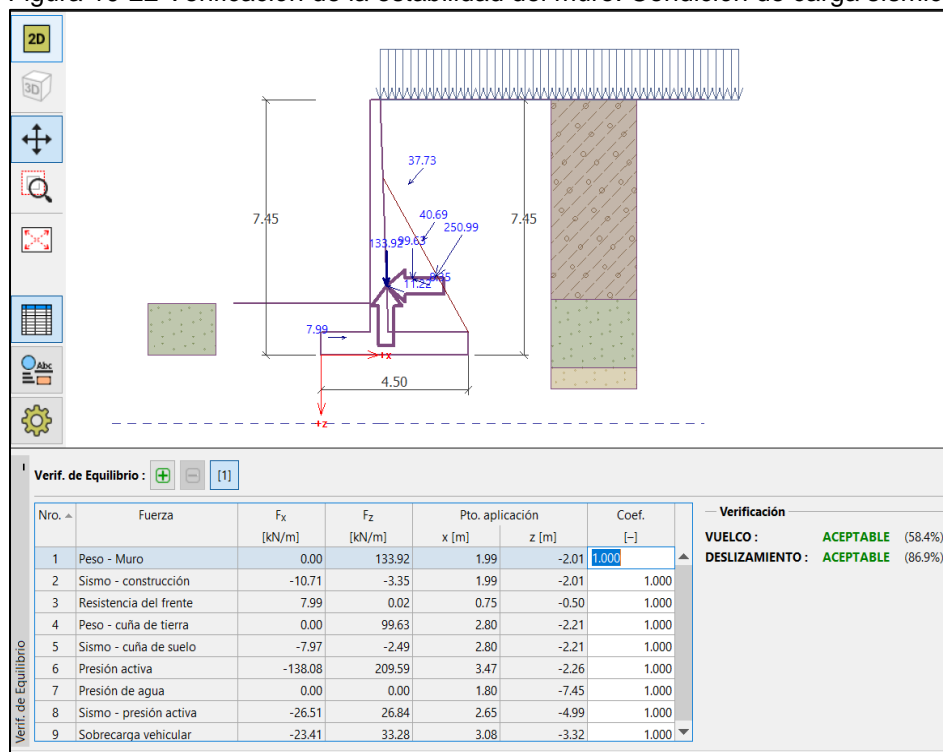


Fuente: Elaboración propia en GEO5

### 10.3.1.8.4. VERIFICACIÓN DE EQUILIBRIO CON CONDICIÓN DE CARGA SÍSMICA

A continuación, se presentan los resultados de la verificación de equilibrio del muro para el caso de condición de carga sísmica. En este análisis, se emplea la metodología de Mononobe-Okabe, con una aceleración  $k_h = 0.5 A_a$ , y  $k_v = 0.7 k_h$ . De acuerdo a los resultados obtenidos, la geometría establecida es favorable para la estabilidad de la estructura en relación a las verificaciones de deslizamiento y volcamiento.

Figura 10-22 Verificación de la estabilidad del muro. Condición de carga sísmica

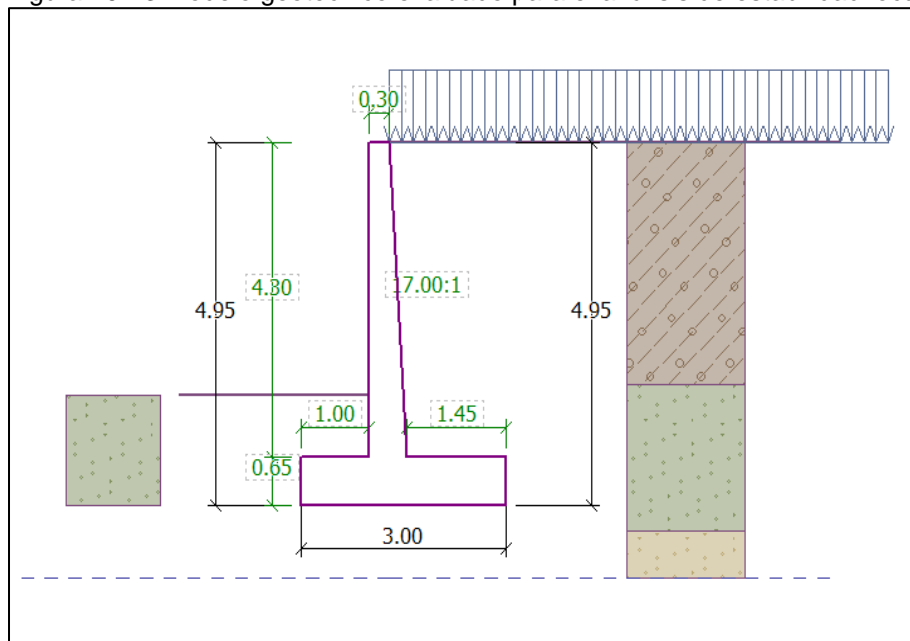


Fuente: Elaboración propia en GEO5

### 10.3.1.9. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD LOCAL – ESTRIBO 1 ALETA DERECHA, SECCIÓN E1.DER-S2

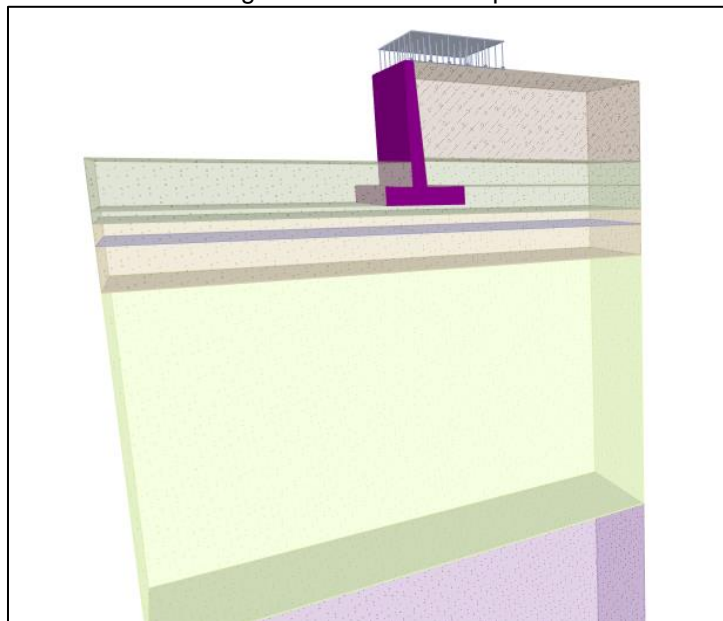
A continuación, se presenta el esquema de la sección evaluada.

Figura 10-23 Modelo geotécnico evaluado para el análisis de estabilidad local



Fuente: Elaboración propia en GEO5

Figura 10-24 Vista 3D del modelo geotécnico evaluado para el análisis de estabilidad local



Fuente: Elaboración propia en GEO5

#### 10.3.1.9.1. CAPACIDAD PORTANTE

La capacidad portante de la cimentación del muro se evaluó por medio del programa 'Zapata' de GEO5. A continuación, se presenta el esquema de la sección evaluada junto con los cálculos realizados y los resultados obtenidos.



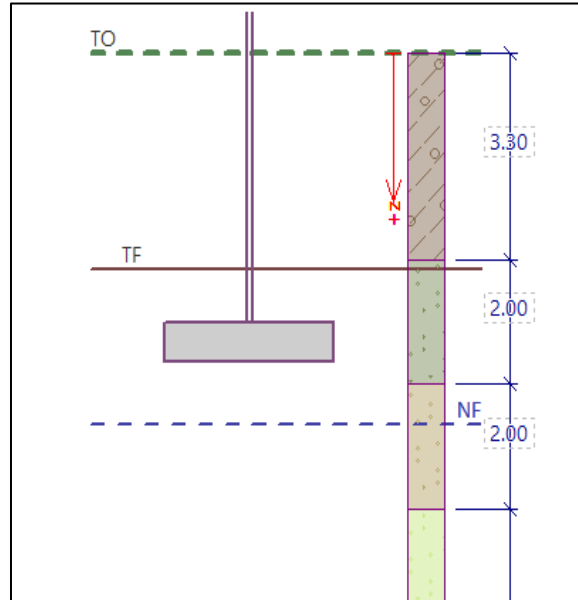
|                                                                                                                                                        |                                                                                                                         |                  |                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>         CIMENTACION PROYECTO<br/>         TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>         GUAIMARO</b> |                  |  <b>CONSORCIO<br/>         TERRITORIAL<br/>         2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-5</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                                                   | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                                          |

Figura 10-25 Profundidad de desplante en el cálculo de capacidad portante



Fuente: Elaboración propia en GEO5

Se utilizó la metodología estándar del programa para obtener la capacidad portante del suelo en condiciones no drenadas. De acuerdo a la estimación de la capacidad de carga para una cimentación tipo zapata continua (Franja de cimentación), se obtiene un valor de carga última para cálculos de  $q_{ult} = 983.14$  kPa en la condición de carga permanente y  $q_{ult} = 589.58$  kPa en la condición de carga sísmica.

Figura 10-26 Capacidad portante última, condición de carga permanente



Fuente: Elaboración propia en GEO5



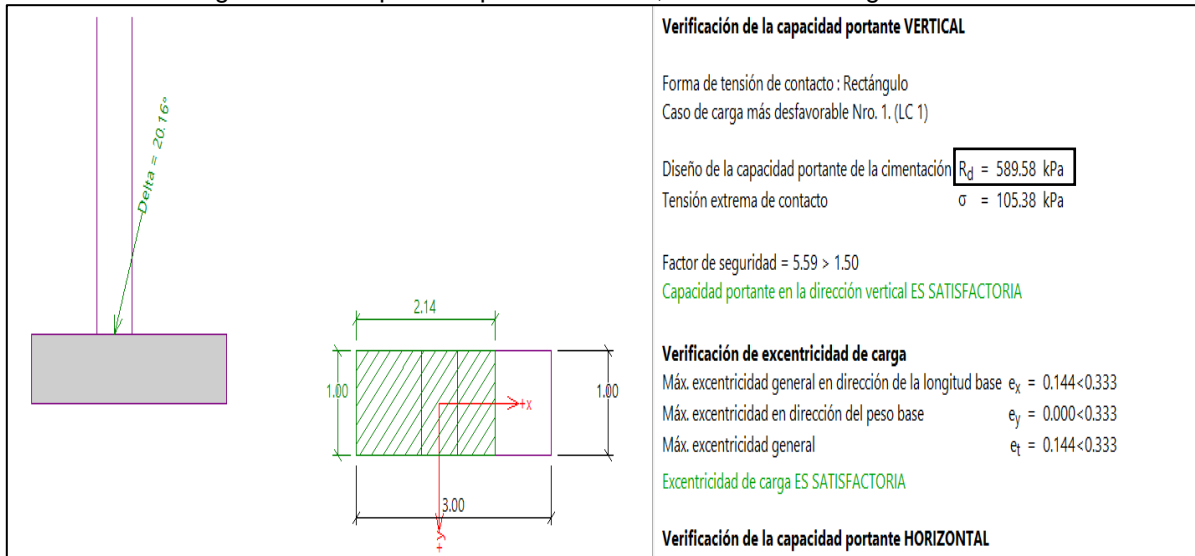
|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                  |

Figura 10-27 capacidad portante última, condición de carga sísmica

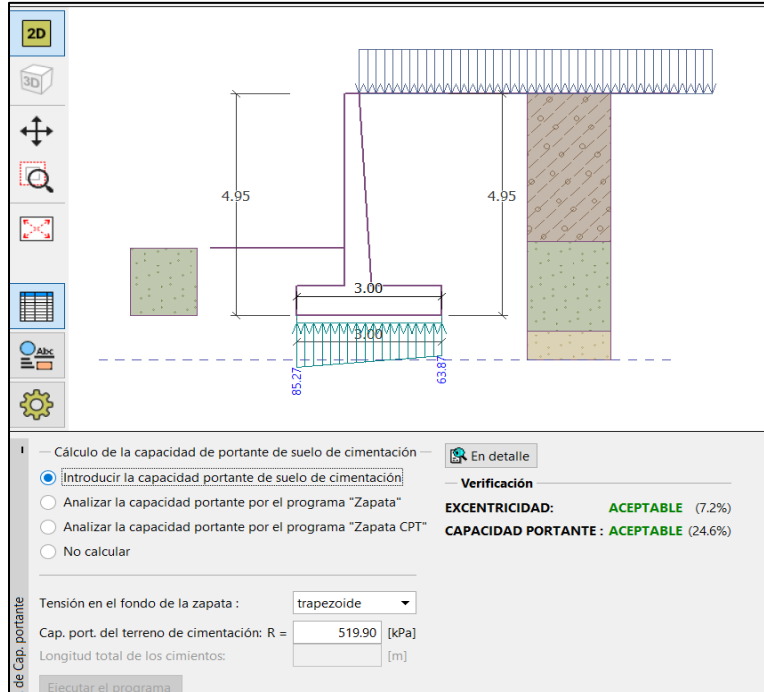


Fuente: Elaboración propia en GEO5

### 10.3.1.9.2. VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE

La verificación de la capacidad portante de la cimentación del muro y la excentricidad de la carga se evaluó por medio del programa 'Muro en voladizo' de GEO5. Se adoptaron los factores de seguridad previamente descritos en este documento y una excentricidad máxima permitida igual a  $e_{max} = 0.333$ . A continuación, se presentan los resultados para los casos de condición de carga permanente y condición de carga sísmica. De acuerdo a los resultados obtenidos, la geometría establecida es favorable para la estabilidad de la estructura en relación a la capacidad portante vertical y la excentricidad de la carga.

Figura 10-28 Verificación de la capacidad portante última y excentricidad máxima. Condición de carga permanente



Fuente: Elaboración propia en GEO5

Figura 10-29 Verificación de la capacidad portante última y excentricidad máxima. Condición de carga permanente

| Carga de diseño actuando en el centro del fondo de la zapata |                 |                      |                             |                   |               |
|--------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------------|-------------------|---------------|
| Nro.                                                         | Momento [kNm/m] | Fuerza Normal [kN/m] | Resistencia al corte [kN/m] | Excentricidad [-] | Tensión [kPa] |
| 1                                                            | 16.08           | 223.92               | 61.57                       | 0.024             | 78.31         |

| Carga de servicio actuando en el centro del fondo de la zapata |                 |                      |                             |
|----------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------------|
| Nro.                                                           | Momento [kNm/m] | Fuerza Normal [kN/m] | Resistencia al corte [kN/m] |
| 1                                                              | 16.08           | 223.92               | 61.57                       |

**Verificación de la capacidad portante del terreno de cimentación**  
Tensión en el fondo de la zapata : trapezoide

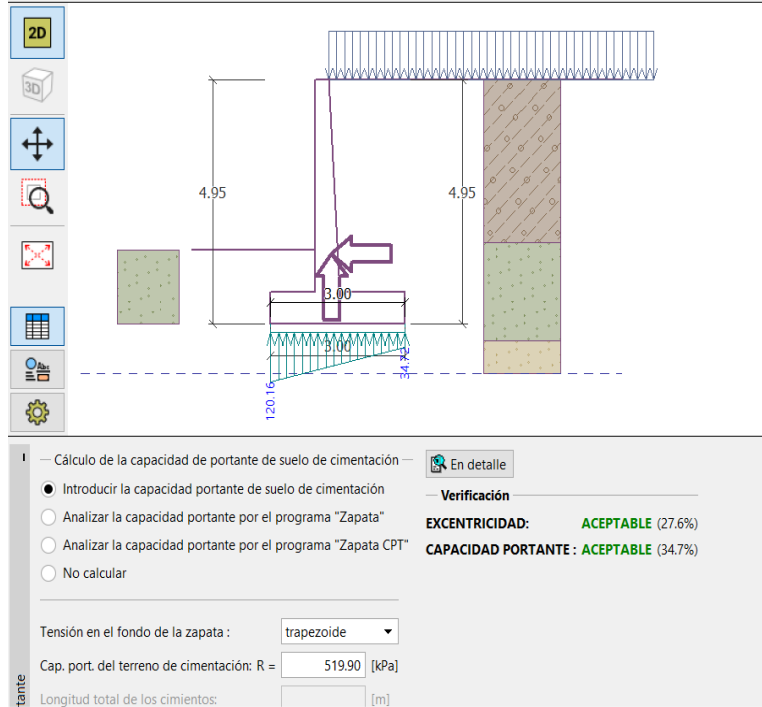
**Verificación de excentricidad**  
Máx. excentricidad de fuerza normal  $e = 0.024$   
Máxima excentricidad permitida  $e_{alw} = 0.333$   
Excentricidad de la fuerza normal ES SATISFACTORIA

**Verificación de la capacidad portante del fondo de la zapata**  
Max. tensión en el fondo de la zapata  $\sigma = 85.27$  kPa  
Capacidad portante del terreno de cimentación  $R_d = 519.90$  kPa  
Factor de seguridad =  $6.10 > 1.50$   
Capacidad portante del terreno de cimentación ES SATISFACTORIA

Fuente: Elaboración propia en GEO5



Figura 10-30 Verificación de la capacidad portante última y excentricidad máxima. Condición de carga sísmica

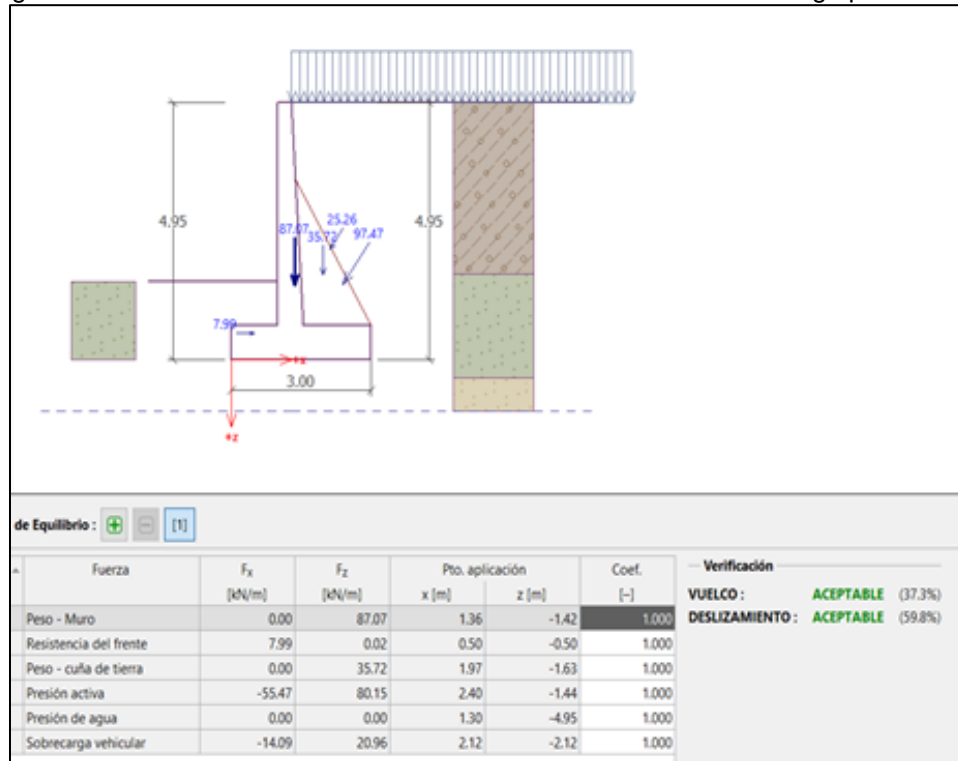


Fuente: Elaboración propia en GEO5

### 10.3.1.9.3. VERIFICACIÓN DE EQUILIBRIO CON CONDICIÓN DE CARGA PERMANENTE

La verificación de equilibrio del muro se evaluó por medio del programa 'Muro en voladizo' de GEO5. A continuación se presentan los resultados para el caso de condición de carga permanente. De acuerdo a los resultados obtenidos, la geometría establecida es favorable para la estabilidad de la estructura en relación a las verificaciones de deslizamiento y volcamiento.

Figura 10-31 Verificación de la estabilidad del muro. Condición de carga permanente





Fuente: Elaboración propia en GEO5

#### 10.3.1.9.4. VERIFICACIÓN DE EQUILIBRIO CON CONDICIÓN DE CARGA SÍSMICA

A continuación, se presentan los resultados de la verificación de equilibrio del muro para el caso de condición de carga sísmica. En este análisis, se emplea la metodología de Mononobe-Okabe, con una aceleración  $k_h = 0.5 A_a$ , y  $k_v = 0.7 k_h$ . De acuerdo a los resultados obtenidos, la geometría establecida es favorable para la estabilidad de la estructura en relación a las verificaciones de deslizamiento y volcamiento.



|                                                                                                                                                        |                                                                                    |                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | ESTUDIO GEOTECNIA<br>CIMENTACION PROYECTO<br>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br>GUAIMARO |                  |  <b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br><small>NTT. No. 901.283.823-S</small> |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                              | Fecha: Dic 2019. |                                                                                                                                                                |

#### 10.4. UTILIZACIÓN CARTILLA DE DISEÑO DEL INVIAS

Con resolución No. 10133 del 28 de diciembre del 2017, el Ministerio del Transporte, por intermedio del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) adoptó la “*Cartilla Guía para la evaluación de cantidades y ejecución de presupuesto para la construcción de obras menores y de contención de la Red Terciaria y Férrea*”, en donde se mencionan que la misma “*vislumbra metodología de cálculo estructural, contemplado losas de cimentación, muros de contención, alcantarillas, incluyendo box culvert, así como puentes hasta 20m*”. además, dice la resolución que: “*La cartilla guía contiene criterios de diseño que deben ser verificados en el sitio de la obra y si estos no cumplen en su totalidad, el diseño estructural deberá ser revisado y ajustado para las condiciones locales del proyecto*”.

Las obras hidráulicas de la Cartilla están diseñadas para criterios geotécnicos que se muestran en forma comparativa con los obtenidos en este estudio.

Tabla 41 Parámetros geotécnico Cartilla Invias vs Estudio de campo

| Parámetro                | Cartilla                                                                                                                                                                      | Estudio                                                  | Valido (SI/NO) |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------|
| Relleno sobre estructura | -Peso específico del relleno: 19.0 kN/m <sup>3</sup><br>-Coeficiente activo de presión de tierra Ka = 0.40<br>-Coeficiente de presión lateral del suelo en reposos, K0 = 0.50 | No tendrá relleno sobre la estructura                    | SI             |
| Suelo de fundación       | Capacidad de carga admisible del suelo de fundación 13.0 tonf/m <sup>2</sup>                                                                                                  | Para el menor valor la capacidad admisible es de 164 kPa | SI             |
| Parámetros sísmicos      | Coeficiente de aceleración pico del suelo Aa<=0.30                                                                                                                            | Aa = 0.15                                                | SI             |

Fuente: Propia

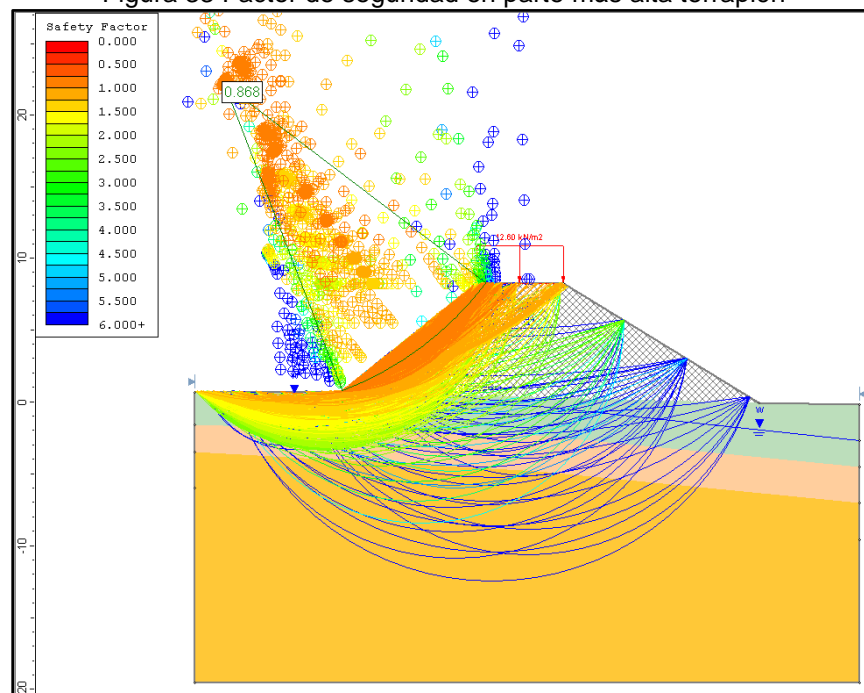
Dado que los estudios geotécnicos identificados en el presente estudio cumplen con todos los parámetros de diseño presentados por la “*Cartilla Guía para la evaluación de cantidades y ejecución de presupuesto para la construcción de obras menores y de contención de la Red Terciaria y Férrea*”, se puede usar dicho documento para el dimensionamiento de las obras hidráulicas del proyecto.

## 10.5. ESTABILIDAD Y PROTECCION DE TERRAPLENES

Los terraplenes de este puente tendrán una local e inicial protección o contención con las aletas; se evalúa acá las condiciones de estabilidad de secciones características de los terraplenes, pero adicionalmente se propone protecciones de los mismos contra la erosión hídrica en eventos de que el nivel sobrepase los valores de inundación previstos y que normalmente las altura máxima de las aguas previstas en puentes, si bien no afectan la estructura si pueden afectar los acceso con materiales granulares, dada su baja condición de cohesión. El chequeo se hará con el programa Slide6.0.

En la zona más alta, el factor de seguridad para los terraplenes en condiciones normales inferior a 1.5.

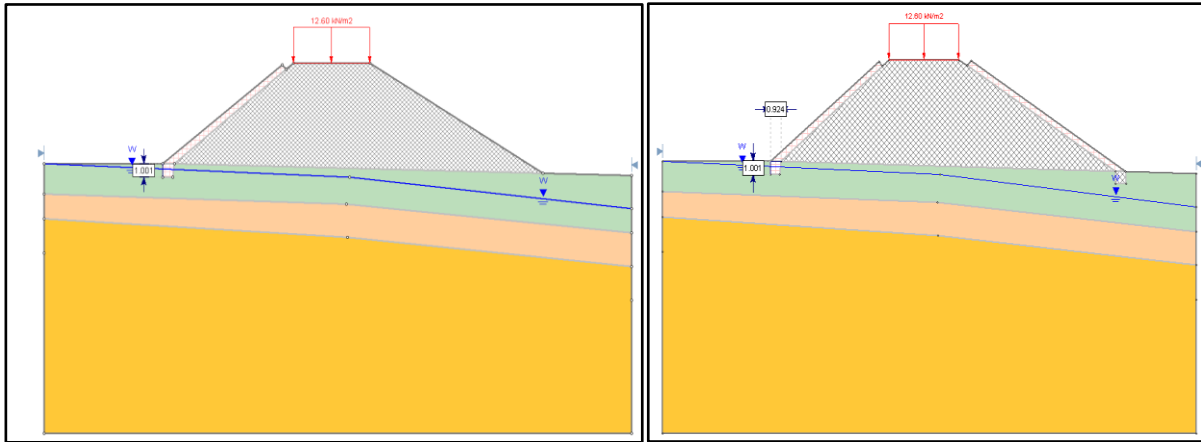
Figura 33 Factor de seguridad en parte más alta terraplén



Fuente: Propia

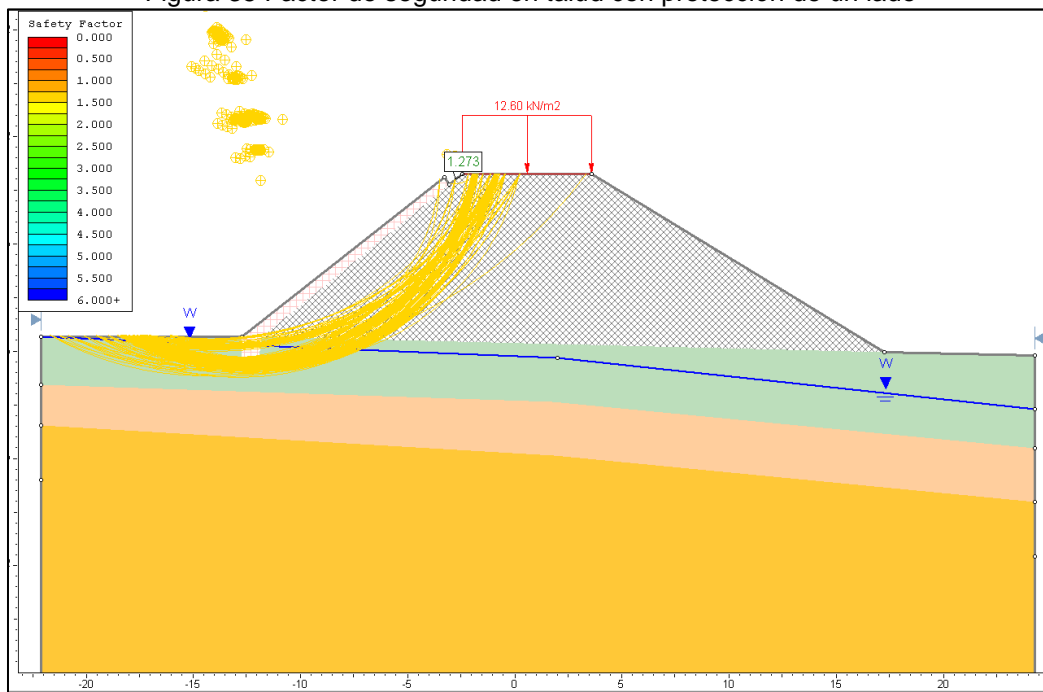
Para garantizar la estabilidad de los taludes y además la protección de los mismos se propone utilizar protección tipo colchones.

Figura 34 Modelos de protección en un talud y en los dos taludes



Fuente: Propia Con un talud protegido se obtienen un factor de seguridad aun no satisfactorio de 1.27.

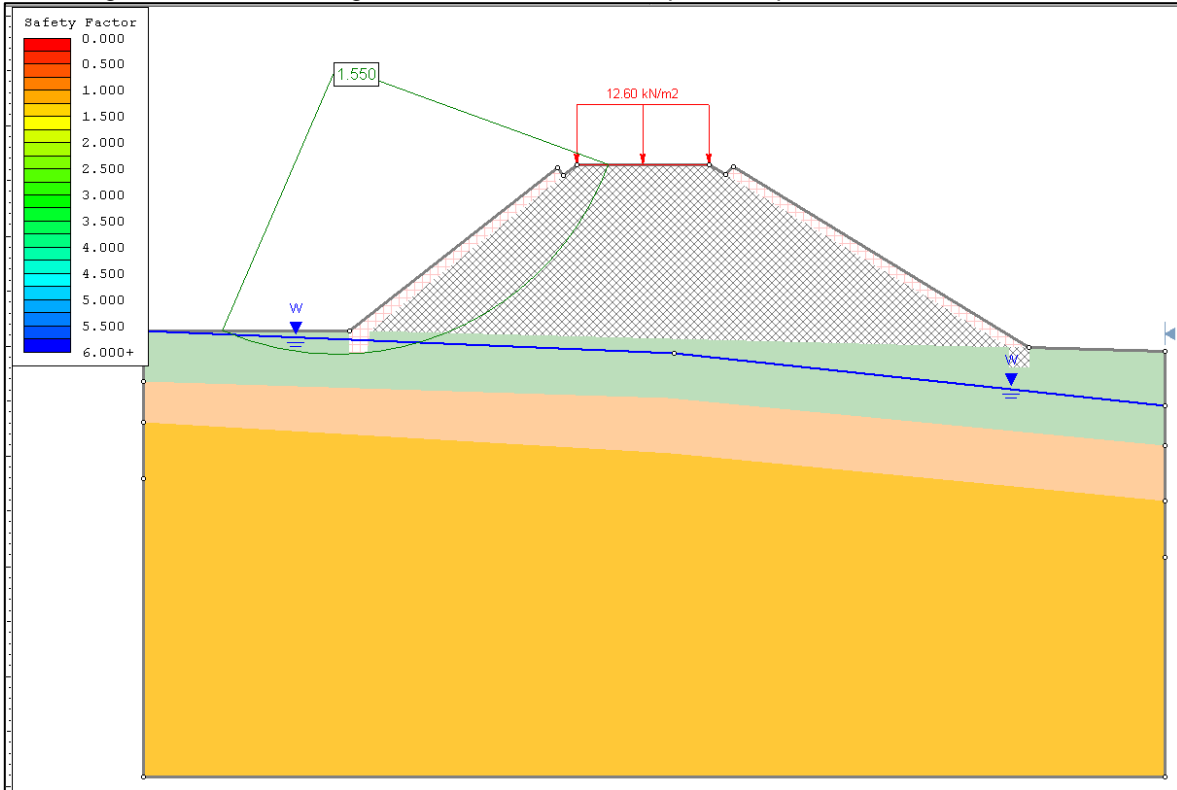
Figura 35 Factor de seguridad en talud con protección de un lado



Fuente: Propia



Al utilizar la protección tipo colchones en los taludes el comportamiento modelado es satisfactorio.

Figura 36 Factor de seguridad en taludes de terraplén con protección en los dos lados



Fuente: propia



|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                  |

## 11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente informe se desarrolló los estudios y diseños de estructuras para el proyecto de construcción de puente vehicular sobre la quebrada Urales en la vía que conduce del municipio de Tarazá a el corregimiento El Guáimaro, departamento de Antioquia. Específicamente, se identifica 1 tramo crítico a intervenir en el presente proyecto, solucionados con la construcción de un puente de 35 metros, para mejorar la intercomunicación terrestre en parte del territorio rural del municipio.

A partir de los aspectos geotécnicos y estructurales analizados en cada caso, se plantearon las siguientes soluciones de ingeniería:

- En la abscisa K14+590 se planteó el reemplazo de embarcadero artesanal si obra de cruce, por la construcción de uno en concreto de 35 metros de largo. La cimentación del puente es de tipo profunda, específicamente se proponen pilotes en concreto pre-excavados.

En el aspecto de cimentación del puente se realizaron sondeos hasta 25m de profundidad, donde la caracterización de los suelos corresponde a suelos arenosos con presencia del nivel freático a 1m de profundidad. La socavación no afecta las cimentaciones, según el reporte hidráulico e hidrológico. En la tabla 28 se hace un resumen de los parámetros geotécnicos adoptados para los cálculos de la cimentación, considerando el análisis de correlaciones de diversos autores y de los ensayos de laboratorios ejecutados.

Las cimentaciones propuestas para los estribos corresponden a pilotes de 20m de longitud, según tabla 8-4 (tres pilotes en la viga cabezal).

La profundidad de desplante mínima es de 1.50m y de acuerdo a las cotas de los esquemas del plano constructivo.



Las cimentaciones de las aletas de contención son superficiales tipo zapata.

El diseño de la cimentación de los puentes se realizó de acuerdo con diferentes metodologías reconocidas en la literatura y detalladas en el presente informe.



La estabilidad de los muros de contención que confinan los terraplenes o rampas de acceso a los puentes se evaluaron por medio del programa GEO5-Muro en voladizo. Este confinamiento de los terraplenes con los muros aletas, evitan que el material se desconfine y genere deformaciones en la parte superior del talud.

Con el programa Slide V6.0 se hace el modelo de los taludes altos y se verifica la solución de colocar colchones de contención y protección a ambos lados del terraplén.

Todos los materiales y procesos constructivos asociados a las soluciones presentadas en este informe deberán cumplir las normas y especificaciones

|                                                                                                                                                                |                                                                                              |                                                                                                                                                         |                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|  <p><b>El futuro es de todos</b><br/>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |  <p><b>CONSORCIO TERRITORIAL 2019</b><br/>NIT: No. 901.283.823-5</p> |                    |
|                                                                                                                                                                | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p>                                                                                                                                 | <p>Versión: 01</p> |

establecidas en los pliegos. Además, se recomienda seguir las especificaciones INVIAS y controlar la calidad de los materiales por las mismas normas de esta Entidad.

|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                                                                                  |                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL 2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |                    |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p>                                                                                                                          | <p>Versión: 01</p> |

## REFERENCIAS

*Foundation Analysis an Design – Bowles 2001*



*Ingeniería de Cimentaciones – Peck , Hanson y Thornburn*

*Manual de Cimentaciones - INVIAS*

*Manual de Drenaje – INVIAS*

*Cartilla Guía para la evaluación de cantidades y ejecución de presupuestos – INVIAS*

*Norma Colombia de Diseño de Puentes CCP 14*

|                                                                                                                                                            |                                                                                              |                         |                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>El futuro es de todos</p> <p>Agencia de Renovación del Territorio</p> | <p>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</p> |                         |  <p>CONSORCIO TERRITORIAL<br/>2019<br/>NIT. No. 901.283.823-5</p> |
|                                                                                                                                                            | <p>Contrato: SC 01521 19</p>                                                                 | <p>Fecha: Dic 2019.</p> |                                                                                                                                                      |

## 12. ANEXOS

### 12.1. MEMORIAS



Ver memorias del diseño estructural en carpeta de Anexos – Estructuras – Archivos:

- ANEXO MEMORIAS DE CÁLCULO PUENTE TARAZA L=35m.docx
- ANEXO MEMORIAS DE CALCULO ALETAS 1 Y 2.PDF
- ANEXO MEMORIAS DE CALCULO ALETAS 3 Y 4.PDF

### 12.2. PLANOS

Ver planos en carpeta de Anexos – Estructuras – Archivos:

- EST\_Taraza\_1\_de\_7\_PuenteUrales.pdf
- EST\_Taraza\_2\_de\_7\_PuenteUrales.pdf
- EST\_Taraza\_3\_de\_7\_PuenteUrales.pdf
- EST\_Taraza\_4\_de\_7\_PuenteUrales.pdf
- EST\_Taraza\_5\_de\_7\_PuenteUrales.pdf
- EST\_Taraza\_6\_de\_7\_PuenteUrales.pdf
- EST\_Taraza\_7\_de\_7\_PuenteUrales.pdf

|                                                                                                                                                        |                                                                                              |                  |                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>El futuro es de todos</b><br>Agencia de Renovación del Territorio | <b>ESTUDIO GEOTECNIA<br/>CIMENTACION PROYECTO<br/>TARAZÁ – CORREGIMIENTO EL<br/>GUAIMARO</b> |                  |  |
|                                                                                                                                                        | Contrato: SC 01521 19                                                                        | Fecha: Dic 2019. |                                                                                     |

## 13. ANEXOS

### 13.1. RESUMEN DE CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SONDEOS

#### 13.1.1. PUENTE L=35 METROS (K14+590)

Tabla 42 Caracterización Geotécnica sondeo para PUENTE L=35 METROS (K14+590)

| ID                                  | 1                                    | 2                                    | 3                                    | 4                                    |
|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Sondeo / cata/ estrato:             | 1                                    | 1                                    | 1                                    | 1                                    |
| Profundidad inicial (m):            | 0.50                                 | 1.50                                 | 2.00                                 | 3.00                                 |
| Profundidad final (m):              | 1.00                                 | 2.00                                 | 3.00                                 | 4.00                                 |
| Profundidad media (m):              | 0.75                                 | 1.75                                 | 2.50                                 | 3.50                                 |
| <b>Tamiz (mm)</b>                   | <b>Granulometría 1<br/>Pasa (%):</b> | <b>Granulometría 2<br/>Pasa (%):</b> | <b>Granulometría 3<br/>Pasa (%):</b> | <b>Granulometría 4<br/>Pasa (%):</b> |
| 100                                 | 100.00                               | 100.00                               | 100.00                               | 100.00                               |
| 80                                  | 100.00                               | 100.00                               | 100.00                               | 100.00                               |
| 63                                  | 100.00                               | 100.00                               | 100.00                               | 100.00                               |
| 50                                  | 100.00                               | 100.00                               | 100.00                               | 100.00                               |
| 40                                  | 100.00                               | 100.00                               | 100.00                               | 100.00                               |
| 25                                  | 100.00                               | 100.00                               | 100.00                               | 100.00                               |
| 20                                  | 100.00                               | 100.00                               | 100.00                               | 100.00                               |
| 12.5                                | 96.21                                | 94.43                                | 94.17                                | 92.71                                |
| 10                                  | 93.63                                | 92.18                                | 91.81                                | 89.66                                |
| 6.3                                 | 100.00                               | 100.00                               | 100.00                               | 100.00                               |
| 5                                   | 90.88                                | 89.53                                | 89.76                                | 86.10                                |
| 2                                   | 87.78                                | 87.27                                | 87.43                                | 81.02                                |
| 1.25                                | 73.58                                | 73.35                                | 71.68                                | 65.76                                |
| 0.4                                 | 59.38                                | 59.43                                | 55.92                                | 50.51                                |
| 0.160                               | 96.78                                | 67.50                                | 67.50                                | 67.50                                |
| 0.080                               | 4.30                                 | 2.96                                 | 7.09                                 | 8.14                                 |
| LL (%)                              | 0.00                                 | 0.00                                 | 0.00                                 | 0.00                                 |
| LP (%)                              | 0.00                                 | 0.00                                 | 0.00                                 | 0.00                                 |
| IP (%)                              | 0.00                                 | 0.00                                 | 0.00                                 | 0.00                                 |
| Humedad natural (%)                 | 9.50                                 | 10.40                                | 11.50                                | 10.20                                |
| Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.74                                 | 1.82                                 | 1.60                                 | 1.80                                 |
| H/LL                                |                                      |                                      |                                      |                                      |
| H/LP                                |                                      |                                      |                                      |                                      |
| <b>Colapsabilidad</b>               | <b>Suelo colapsable</b>              | <b>Suelo colapsable</b>              | <b>Suelo colapsable</b>              | <b>Suelo colapsable</b>              |
|                                     | 2.60                                 | 2.60                                 | 2.60                                 | 2.60                                 |
| <b>Marcador</b>                     |                                      |                                      |                                      |                                      |
| <b>Indice de consistencia</b>       |                                      |                                      |                                      |                                      |
| lc (C.R.)=                          |                                      |                                      |                                      |                                      |
| <b>Indice de liquidez</b>           |                                      |                                      |                                      |                                      |
| li=                                 |                                      |                                      |                                      |                                      |
| <b>Indice de compresión</b>         |                                      |                                      |                                      |                                      |
| Cc=                                 | -0.090                               | -0.090                               | -0.090                               | -0.090                               |
| <b>Contracción lineal</b>           |                                      |                                      |                                      |                                      |
| CL (%)=                             | 0.000                                | 0.000                                | 0.000                                | 0.000                                |
| <b>Indice de Grupo</b>              | N/IP                                 | N/IP                                 | N/IP                                 | N/IP                                 |
| <b>Clasificación AASHTO</b>         | A-3                                  | A-3                                  | A-3                                  | A-3                                  |
| <b>Clasificación USCS</b>           | SP                                   | SP                                   | SP SM                                | SP SM                                |
| <b>Descripción</b>                  | Arena mal graduada SP                | Arena mal graduada SP                | Arena mal graduada con limo SP SM    | Arena mal graduada con limo SP SM    |

Fuente: Elaboración Propia.