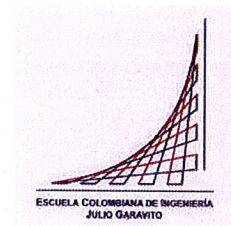


Maestría en Ingeniería Civil

**Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica del Macizo
Rocoso Puente Quebrada Oro Perdido**

Luisa Fernanda Morato Rios

Bogotá, D.C., 14 de Diciembre de 2017

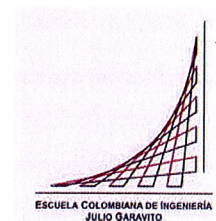


**Mejoramiento de la caracterización Geomecánica del Macizo
Rocoso Puente Quebrada Oro Perdido**

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en Geotecnia**

Jaime Dudley Pio Bateman Duran
Director

Bogotá, D.C., 14 de Diciembre de 2017



La tesis de maestría titulada "Mejoramiento de la caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso Puente Quebrada Oro Perdido", presentada por Luisa Fernanda Morato, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Geotecnia.

Ing. Jaime D. Bateman Duran

Director de la tesis

Ing. Manuel García López

Jurado

Ing. José Vicente Amórtegui

Jurado

Bogotá, D.C., 14 de Diciembre de 2017

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por acompañarme y ser mi guía a lo largo de mi vida profesional, por brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias.

Le doy gracias al Ingeniero Jaime Dudley Pio Bateman Duran por sus asesorías y compartir su conocimiento, brindándome la oportunidad de trabajar en este tema, y de esta manera generar un aporte a la geotecnia de Colombia, en especial las lutitas. A la empresa Bateman Ingeniería, por su amable y desinteresada colaboración.

A Gisaico, por permitirme conocer el proyecto, y poder acceder a la información con la cual realice esta tesis.

Agradezco a Fredy Leal, Carolina Bohórquez y Johan Velandia, por su apoyo, colaboración, comprensión y dedicación en los momentos en que más los necesite.

A mi mami Emperatriz por apoyarme, por creer en mí, por todo su cariño y ser mi fortaleza en cada etapa de mi vida. A mi papi Ignacio por los valores que me ha inculcado, y a los dos por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.

A mi hermana por ser parte importante de mi vida, porque con su inteligencia y dedicación me ha enseñado que los sueños se pueden cumplir.

A Néstor Sánchez, por su comprensión, cariño y motivación a seguir adelante en las situaciones más difíciles.

Resumen

Este trabajo de grado presenta los resultados obtenidos en la caracterización y clasificación del Macizo Rocosó Puente Quebrada Oro Perdido, Municipio Cáqueza, Colombia. El cual pertenece a la Formación Lutitas de Macanal (Kilmc) compuesta por un conjunto de lutitas negras (lodolitas y arcillolitas fisiles) con esporádicas intercalaciones de calizas.

En el análisis geotécnico del macizo rocoso, se encontró que está conformado por rocas de origen sedimentario clasificadas como lutitas silíceas a carbonadas, de resistencia media a bajas y comportamiento desfavorable en presencia de agua, moderadamente fracturada y discontinuidades ligeramente abiertas con rellenos arcillosos alterados, fuertemente deformadas debido al tectonismo regional.

Para llegar a esta clasificación se realizó una zonificación del macizo rocoso. En los ensayos de laboratorio se determinaron propiedades físicas (Densidad, Peso Específico, porosidad, etc.) y mecánicas de la roca (granulometría, carga puntal, etc.).

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. MARCO DE REFERENCIA.....	17
3.1. LOCALIZACIÓN	17
3.2. DESCRIPCIÓN.....	18
3.2.1 PUENTE No. 6	18
3.3. MARCO TEÓRICO.....	20
3.3.1 GENERALIDADES	20
3.3.2 PROPIEDADES ÍNDICE DE LOS MATERIALES DEL MACIZO	23
3.3.3 GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO I.N.V.E – 123-13.....	26
3.3.4 RESISTENCIA DE LA ROCA.....	27
3.4. MARCO GEOLÓGICO	33
3.4.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	33
3.4.2 GEOLOGÍA REGIONAL	35
3.4.3 GEOLOGÍA LOCAL.....	38
3.4.4 GEOMORFOLOGÍA.....	39
3.4.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	46
3.4.6 HIDROGEOLOGÍA.....	47
3.4.1 ESTABILIZACIÓN DEL COLUVIÓN	48
4. METODOLOGÍA.....	50
4.1. TRABAJOS DE CAMPO	50
4.2. PERFORACIONES	51
4.3. ENSAYOS DE LABORATORIO	54
4.3.1 CLASIFICACIÓN DEL SUBSUELO	54
4.4. GEOFÍSICA	64
4.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	68
4.5.1 ANÁLISIS SUPERFICIAL.....	68
4.5.2 CLASIFICACIÓN GEOLÓGICA Y VISUAL	69
4.5.1 ESTRATIFICACIÓN – DISCONTINUIDADES	84
4.5.2 ÍNDICES DE CAMPO- RESISTENCIA UNIAXIAL (ISRM)	87

4.5.1 RQD.....	87
4.5.2 COHESIÓN Y FRICCIÓN.....	88
4.5.3 METEORIZACIÓN.....	89
4.5.4 SECTORIZACIÓN DE LA ZONA	114
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
6. BIBLIOGRAFÍA.....	121

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3-1 SIMBOLOGÍA DEL SUELO	25
TABLA 3-2 TIPOLOGÍA DEL SUELO (SUCS).....	25
TABLA 3-3 CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN AASHTO	26
TABLA 3-4 RESISTENCIA A PARTIR DE ÍNDICES DE CAMPO (ISRM).....	27
TABLA 3-5 RESISTENCIA DE LA ROCA	29
TABLA 3-6 VALORES DE RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA SANA	29
TABLA 3-7 DESCRIPCIÓN DE LA CONTINUIDAD (ISRM, 1981).....	30
TABLA 3-8 CLASIFICACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS BUZAMIENTOS.....	30
TABLA 3-9 VALORACIÓN PARA TALUDES.....	30
TABLA 3-10 ÍNDICE DE CALIDAD RQD	31
TABLA 3-11 VALORES TÍPICOS DE C Y ϕ PARA ROCA INTACTA	31
TABLA 3-12 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TIPO Y NIVEL DE METEORIZACIÓN.....	32
TABLA 3-13 GRADO DE METEORIZACIÓN (ISRM, BS 5930:1981)	33
TABLA 4-1 PROFUNDIDAD Y LOCALIZACIÓN DE PERFORACIONES	51
TABLA 4-2 EXPLORACIÓN EN EL TERRENO.....	52
TABLA 4-3 DESCRIPCIÓN VISUAL EN CADA UNO DE LOS EJES, MATERIAL EXCAVADO.....	53
TABLA 4-4 NORMATIVIDAD DE ENSAYOS REALIZADOS.....	54
TABLA 4-5 TABLA GRANULOMETRÍA, LÍMITES Y HUMEDAD	54
TABLA 4-6 CLASIFICACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE DE PLASTICIDAD.....	60
TABLA 4-7 SÍNTESIS DE LAS LUTITAS.....	61
TABLA 4-8 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA SÍNTESIS DE LAS LUTITAS.....	61
TABLA 4-9 VALORES DEL ÍNDICE DE RESISTENCIA DE CARGA PUNTUAL Y SU CLASIFICACIÓN.....	62
TABLA 4-10 CLASIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN POR RMR DE BIENIAWSKI.....	63
TABLA 4-11 CLASIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	63
TABLA 4-12 TRAMO SECCIONES LÍNEA SÍSMICA	64
TABLA 4-13 CORRELACIONES USADAS PARA EL CÁLCULO DEL CBR.....	68
TABLA 4-14 CORRELACIONES DE CADA LOCALIZACIÓN.....	69
TABLA 4-15 CLASIFICACIÓN SEGÚN MUESTRAS TOMADAS EN CAMPO	83
TABLA 4-16 DATOS ESTRUCTURALES TALUD FRENTE 38+400 – PERFORACIÓN 1.....	84
TABLA 4-17 DATOS ESTRUCTURALES TALUD DEL BANQUEO FRENTE K38+468 – PERFORACIÓN O 2	84
TABLA 4-18 DATOS ESTRUCTURALES TALUD DEL BANQUEO FRENTE K 38+604 – PERFORACIÓN 4	84
TABLA 4-19 DATOS ESTRUCTURALES TALUD FRENTE K38+740 - PERFORACIÓN 6.....	85
TABLA 4-20 DATOS ESTRUCTURALES TALUD FRENTE A K38+808 – PERFORACIÓN 7.....	86
TABLA 4-21 DATOS ESTRUCTURALES TALUD FRENTE K38+872 – PERFORACIÓN 8.....	86
TABLA 4-22 DESCRIPCIÓN DE LA CLASE DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN EL TERRENO.....	87
TABLA 4-23 ÍNDICE DE CALIDAD RQD	87
TABLA 4-24 PARÁMETROS DE RESISTENCIA CON EL SPT, PUENTE NO. 6 SONDEO 1 Y 9.88	

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 3-1 LOCALIZACIÓN REGIONAL.....	17
FIGURA 3-2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	17
FIGURA 3-3 SEGUNDA CALZADA SECTOR 1 A - PUENTE TÉLLEZ A PUENTE QUETAME	17
FIGURA 3-4 PLANTA, PERFIL Y SECCIÓN TÍPICA DEL PUENTE 6.....	19
FIGURA 3-5 EVOLUCIÓN CORDILLERA DE LOS ANDES EN EL TIEMPO TERCIARIO – MIOCENO.....	22
FIGURA 3-6 ESTADO DEL SUELO.....	23
FIGURA 3-7 CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE.....	25
FIGURA 3-8 ESQUEMA DE PROCESOS Y MECANISMOS DE METEORIZACIÓN EN GEOMATERIALES.....	32
FIGURA 3-9 TENDENCIA HISTÓRICA DE LA TEMPERATURA EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	33
FIGURA 3-10 PLANO GEOLÓGICO	36
FIGURA 3-11 DEPÓSITO CLASIFICADO COMO RELLENO DE CANALES (QC3), EN LA ZONA DEL DRENAJE, COINCIDE APROXIMADAMENTE CON K38+900.....	37
FIGURA 3-12 DEPÓSITOS Y TERRAZAS ALUVIALES EN EL RÍO NEGRO.....	38
FIGURA 3-13 TALUD DE LA VÍA ACTUAL FRENTE AL PUENTE 6.....	38
FIGURA 3-14 LADERA NORORIENTAL DIVIDIDA EN 3 SUBSECTORES. EN AMARILLO GRANDES COLUVIONES.....	40
FIGURA 3-15 SE OBSERVA LA LOCALIZACIÓN DEL COLUVIÓN Y LA ZONA DE APORTE DE LOS MATERIALES (LAS LÍNEAS MORADA Y ROSADA, SEÑALAN CAMINOS). SE MUESTRA EL PERFIL LONGITUDINAL DEL COLUVIÓN.....	41
FIGURA 3-16 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL CRETÁCEO INFERIOR PARA EL SECTOR ORIENTAL DEL PIEDEMONTE DE LA CORDILLERA ORIENTAL.....	42
FIGURA 3-17 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA DEL CRETÁCEO.....	43
FIGURA 3-18 TALUDES MUY ALTOS CON PENDIENTE FUERTE EN EL TRAMO DEL K38+800 EN EL SECTOR 1A.....	44
FIGURA 3-19 ASPECTO EN DETALLE DE LA ROCA EN EL TALUD DEL K38+800.....	45
FIGURA 3-20 TALUD DEL K38+800, SE MUESTRA EN LÍNEA AMARILLA DISCONTINUA EL PLEGAMIENTO Y EN LÍNEA ROJA LA DIRECCIÓN DE LOS BLOQUES DESPLAZADOS.....	45
FIGURA 3-21 DETALLE AFLORAMIENTO EN EL TALUD OCCIDENTAL DE LA VÍA, COINCIDIENDO APROX. CON EL K39 + 000.....	46
FIGURA 3-22 PERFIL (MODIF. DE KELLOG&OJEDA, 2005) NOROESTE-SURESTE DE LA CORTEZA, AL ESTE DE LA CORDILLERA ORIENTAL. T: TERCIARIO.....	46
FIGURA 3-23 CURSO DEL RÍO NEGRO.....	48
FIGURA 3-24 TALUD SOBRE LA VÍA, PUENTE NO. 6.....	48
FIGURA 3-25 ESTABILIZACIÓN DEL TALUD SOBRE EL PUENTE NO. 6.....	48
FIGURA 4-1 INSPECCIÓN DE CAMPO A LOS TRABAJOS DE PERFORACIÓN.....	50
FIGURA 4-2 CARTA DE PLASTICIDAD PERFORACIÓN 1.....	55
FIGURA 4-3 CARTA DE PLASTICIDAD EJE 1.....	55
FIGURA 4-4 CARTA DE PLASTICIDAD EJE 2.....	56
FIGURA 4-5 CARTA DE PLASTICIDAD EJE 8.....	56
FIGURA 4-6 CARTA DE PLASTICIDAD PERFORACIÓN 6.....	57
FIGURA 4-7 CARTA DE PLASTICIDAD PERFORACIÓN 7.....	57
FIGURA 4-8 CARTA DE PLASTICIDAD EJE 13.....	58
FIGURA 4-9 CARTA DE PLASTICIDAD PERFORACIÓN 8.....	58

FIGURA 4-10 CARTA DE PLASTICIDAD EJE 15	59
FIGURA 4-11 CARTA DE PLASTICIDAD PERFORACIÓN 9	59
FIGURA 4-12 CARTA DE PLASTICIDAD PERFORACIÓN 10	60
FIGURA 4-13 UBICACIÓN LRS 1-1	64
FIGURA 4-14 TRAZADO LRS 1-1.	65
FIGURA 4-15 GRÁFICA DE LA TOMOGRAFÍA SÍSMICA DE LA SECCIÓN LRS_1-1.	66
FIGURA 4-16 GRÁFICA DEL MODELO SIMPLIFICADO DE LA SECCIÓN LRS_1-1.	66
FIGURA 4-17 GRÁFICA MASW SECCIÓN LRS_1-1 (0-115 M).	67
FIGURA 4-18 TALUD DEL BANQUEO FRENTE K38+604	85
FIGURA 4-19 TALUD DE LA VÍA ACTUAL FRENTE K38+740	86
FIGURA 4-20 TALUD DE LA VÍA ACTUAL FRENTE A K38+808	86
FIGURA 4-21 PERFIL ENTRE EL EJE 1 Y EL EJE 2	114
FIGURA 4-22 PERFIL DESPUÉS DEL EJE 2	115
FIGURA 4-23 PERFIL ENTRE EL EJE 10 Y EL EJE 11	115
FIGURA 4-24 PERFIL ENTRE EL EJE 13 Y EL EJE 14	116
FIGURA 4-25 PERFIL ENTRE LOS EJES 15 AL EJE 17	117
FIGURA 4-26 PERFIL DEL EJE 18 AL 19	117
FIGURA 4-27 PERFIL DE LOS EJES 3 AL EJE 9	118

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 3-1 CRONOLOGÍA DE LA VÍA BOGOTÁ - VILLAVICENCIO	20
GRÁFICA 3-2 CRONOLOGÍA DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS DE LAS LUTITAS EN COLOMBIA.....	21
GRÁFICA 3-3 ESQUEMA GENERAL DE LA PROPUESTA DE LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN ROCAS LODOSAS.	21
GRÁFICA 3-4 RELACIÓN EDAD-RESISTENCIA DE LAS ROCAS LODOSAS EN COLOMBIA CON BASE EN DATOS DE MONTERO, ÁNGEL Y GONZÁLEZ (1982 – INÉDITOS), ORGANIZADOS POR MONTERO Y TORRES (2010).....	22
GRÁFICA 3-5 TEMPERATURA PROMEDIO REGISTRADA, DE ACUERDO CON CADA MES DEL AÑO	34
GRÁFICA 3-6 PRECIPITACIONES PROMEDIO DE ACUERDO CON CADA MES DEL AÑO.....	34
GRÁFICA 4-1 ÍNDICE DE RESISTENCIA DE CARGA PUNTUAL EN EL CORREDOR VIAL.....	62

ANEXOS

ANEXO 1. Planos	2
Anexo 1.1. Plano Geológico de la zona de estudio	3
Anexo 1.2. Planta Perfil Plano Geológico de la zona de estudio.....	5
Anexo 1.3. Plano Perfil Estratigráfico.....	7
Anexo 1.4. Plano 1:10.000 deslizamientos Colombia.....	9
ANEXO 2. Algunos Registro de Perforaciones	10
ANEXO 3. Registro Fotográfico.....	46
ANEXO 4. Ensayos de laboratorio.....	54
Anexo 4.1. Carga Puntual.....	55
Anexo 4.1.1. Carga puntual Ejes.....	56
Anexo 4.1.2. Carga puntual S1.....	58
Anexo 4.1.3. Carga puntual S5.....	60
Anexo 4.1.4. Carga puntual S6.....	62
Anexo 4.1.5. Carga puntual S7	64
Anexo 4.1.6. Carga puntual S9	66
Anexo 4.2. Compresión.....	68
Anexo 4.2.1. Resistencia a la compresión simple roca.....	69
Anexo 4.3. Ensayos de clasificación	74
Anexo 4.3.1. Clasificación sondeo	75
Anexo 4.3.2. Granulometría.....	89
Anexo 4.3.3. Humedad.....	95
Anexo 4.3.4. Limites.....	101
Anexo 4.4. PDC	107
Anexo 4.4.1. Ensayo PDC	108
ANEXO 5. Informe detallado pruebas geofísicas.....	119
Anexo 5.1. Tabla modelo simplificado.....	120
Anexo 5.2. Tablas MASW	122
Anexo 5.3. Tablas tomografías.....	124

1. INTRODUCCIÓN

En general se tiene que Colombia debido a su origen geológico que involucra las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas (en especial los suelos sedimentarios), clima tropical, topografía variable por fallamientos geológicos y elevación de cordilleras, y a la interacción de las tres (3) placas tectónicas principales: Suramericana, Nazca y Caribe, que hacen que el territorio colombiano este caracterizado por la presencia de cadenas montañosas jóvenes, favoreciendo la vulnerabilidad a fenómenos naturales como la ocurrencia de sismos, erupciones volcánicas y movimientos en masa.

En el caso de las rocas lodosas de mejor comportamiento que corresponde a los shales con poca arcilla y bien cementados, es común en la Cordillera Oriental de Colombia la ocurrencia de desprendimientos y deslizamientos controlados estructuralmente, más frecuentes en secuencias Paleozoicas y del Cretáceo Inferior Superior, como ha ocurrido en la región Quetame a lo largo de la carretera Bogotá – Villavicencio, agravados algunas veces por alto grado de fracturamiento de las rocas en zonas de falla o la ocurrencia de sismos. Los movimientos son más frecuentes en épocas de intensas lluvias. Un fenómeno muy extendido en las laderas de esta cordillera es la reptación, principalmente en zonas donde la deforestación es intensiva o se realizan prácticas de manejo inadecuadas.

El perfil de alteración de estas rocas es típico y tiene una estrecha relación con la cercanía del material a la cara libre, esto es a cambios ambientales por alivio de esfuerzos que experimenta cuando se aproxima al oxígeno libre. Además de adelantar las actividades de reconocimiento del material, es común hacer determinaciones a simple vista de las principales características morfo-estructurales de dos macizos, empleando para ello sistemas de clasificación como el Sistema Q (Barton et al., 1974) el RMR (Bieniawski 1974) y el índice Geológico de Resistencia GSI (Hoek et al., edición 2002), en los casos que estos apliquen.

En particular y con respecto a la presente investigación académica, el departamento del Meta en el sector de la cordillera oriental, en el piedemonte llanero ha estado afectado por procesos de movimientos en masa, causando desestabilización generalizado del terreno y afectaciones al tránsito vehicular, obras existentes cercanas y calidad de vida de la población.

Se presentan continuamente deslizamientos traslacionales asociados a la alta pluviosidad y sismicidad de la zona. La amenaza por deslizamientos está catalogada como “muy alta” (12.35%), y se presenta especialmente en los municipios del borde llanero, como se muestra en detalle en el Anexo No 1, imagen tomada del libro LAS AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA DE COLOMBIA (2017).

En el territorio nacional hay una alta presencia de lutitas sedimentarias que generan constantes movimientos en masa potenciados por las lluvias intensas, pendientes fuertes, materiales fracturados y meteorizados por su geología local, y en muchas ocasiones por el uso inadecuado del territorio; además, también se debe a los procesos físicos que se presentan en los materiales cambiando sus propiedades mecánicas.

“Estas rocas tienen un elemento que se llama sulfuro de hierro o pirita, que al entrar en contacto con el aire se oxida, se degrada y se altera muy fácil”, (C. Torres, 2001).

Geotécnicamente se consideran dos tipos de rocas lutitas:

1. Las de Compactación (Tipo suelo), se caracterizan por ser muy débiles, poco durables y muy inestables: se expanden y desintegran rápidamente en presencia del agua o simple exposición a la intemperie en excavaciones, y posee baja resistencia al corte y alta deformabilidad comparada con otras rocas blandas.

2. Las de Cementación (Tipo roca), son aceptablemente durables, resistentes, firmes, y se comportan mejor que las anteriores. En general estas rocas son de una calidad inferior dentro del conjunto y sus propiedades, y no se han correlacionado aun de manera satisfactoria (Montero, 2010).

Es importante destacar que este tipo de roca en condiciones inalteradas presenta propiedades mecánicas adecuadas que hacen que los cortes de taludes sean estables; sin embargo, bajo ciertas condiciones ambientales se degradan rápidamente, disminuyendo sus parámetros de resistencia y presentando cambios de volumen, pérdida de rigidez, y en algunas ocasiones, pérdida de continuidad del macizo por fisuras (Alonso y Alcovero, 2004).

Independientemente del tipo de roca lodosa (cementación o consolidación) estas rocas son muy abundantes en ambos costados de la cordillera oriental y se involucran junto con los coluviones arcilloso que cubren las laderas, en muchos tipos de inestabilidad, a tal punto que, en estas regiones, junto con la zona cafetera, se concentra el 60% a 65% de los deslizamientos de mayor tamaño en el país (Montero et al, 2005).

Actualmente existen diversas investigaciones en el mundo que han hecho aportes sobre el comportamiento de las lutitas y su degradación, aunque en el ámbito colombiano no se ha investigado lo suficiente sobre el comportamiento de este tipo de rocas a la fecha (Tovar, 2008).

Con esta investigación se ampliará el conocimiento acerca del comportamiento de las lutitas de acuerdo con la humedad, densidad y carga aplicada, con lo cual se pueda obtener una caracterización de este tipo de rocas y el comportamiento del macizo rocoso, puntualmente en el sector de la vía Autopista Bogotá – Villavicencio, en torno a la Quebrada Oro Perdido, abscisa K38+400, por donde cruzan grandes obras estructurales como lo es el Puente No. 6, siendo este puente el eje y estabilidad de la segunda calzada de la vía en esta zona del proyecto.

Es por ello que el problema que enfrenta la presente investigación radica en que es insuficiente el alcance y contenido de los estudios que se han hecho de los macizos rocosos en torno a la Quebrada Oro Perdido, ya que los mismos no son diferenciados no contrastados geomecánicamente, lo que en muchos casos puede producir soluciones incorrectas de diseño geotécnico, gastos excesivos y afectaciones a la seguridad durante los trabajos que en ellos se efectúen; además, en los diseños iniciales no se tuvo presente que las excavaciones en el macizo rocoso podrían ser afectadas por la resistencia al corte de las discontinuidades dentro del mismo.

La caracterización geomecánica de las rocas lodosas con propósitos ingenieriles constituye una tarea compleja, en particular cuando se trata de rocas de compactación (tipo de suelo según Mead, 1936) con poca presencia de compuestos cementantes, poca durabilidad y una relativa baja resistencia a la compresión.

Si la roca presenta orientación desfavorable por parte de las discontinuidades, con respecto al corte y/o talud conformado, su resistencia para propósitos de diseño puede ser notablemente reducida, ya que estas pueden interceptarse y formar cuñas potencialmente inestables, o bien pueden orientarse e inclinarse formando planos de deslizamiento, el comportamiento del macizo rocoso es también influenciado por condiciones de las juntas como la rugosidad de las superficies, alteraciones y/o material de relleno si está presente. Los estudios realizados a la zona se fundaron en el comportamiento geológico de la zona, omitiendo la caracterización de la Zona, y estudios geotécnicos de esta, lo cual generó un rediseño durante la construcción de la vía.

La formulación de la hipótesis parte del hecho de que si se realiza la caracterización geomecánica de los macizos rocosos entonces se posibilita la diferenciación de los mismos de acuerdo con su comportamiento, teniendo en cuenta que esta zona está compuesta por lutitas con suelos residuales, coluviones, capas arcillo lacustres, con buzamiento horizontal que gobierna el terreno de construcción lo que permitiría alcanzar soluciones de proyecto y constructivas de las obras más económicas y seguras.

Lo cual se generó por los estudios previos realizados a la zona, estipulándose un diseño inicial el cual no logró cumplir con las expectativas previstas en campo, por lo tanto, se realizó un diseño nuevo en los ejes de cimentación y un cambio de parámetros durante la ejecución del proyecto.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar los parámetros de los depósitos de suelo y unidades de roca presentes en la zona de la Quebrada Oro Perdido, Puente No.6 vía Bogotá Villavicencio, entre Cáqueza y Puente Quetame, con el fin de mejorar la caracterización del suelo en esta zona, para obtener parámetros geotécnicos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

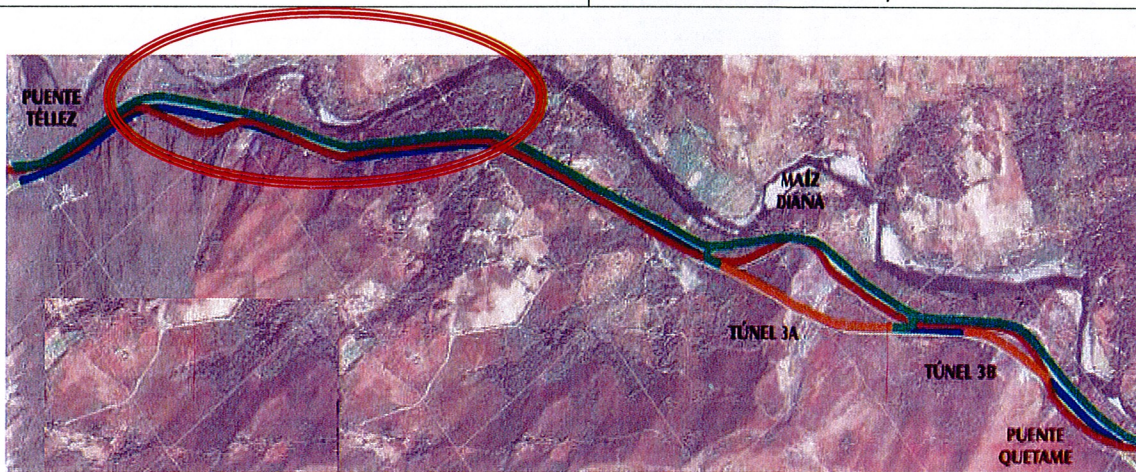
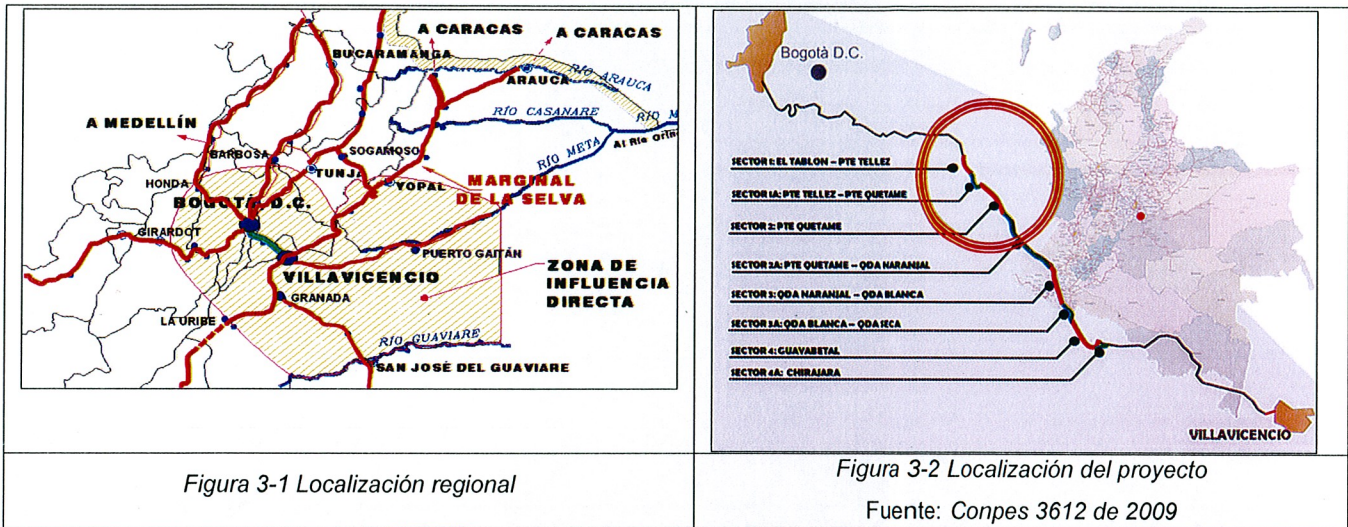
- Realización de ensayos de laboratorio, para determinar las condiciones físicas y mecánicas del material rocoso, en la zona donde se ubica el puente No. 6 en Quebrada Oro Perdido, vía Bogotá – Villavicencio.
- Obtener las características geomorfológicas de la zona en estudio.
- Obtener los parámetros de comportamiento del material de fundación.
- Determinar el comportamiento geo-mecánico y las propiedades físico-mecánicas del suelo y el material rocoso en cada uno de los apoyos del puente No. 6, mediante la ejecución de perforaciones exploratorias, recuperación de muestras y ensayos de laboratorio.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1. LOCALIZACIÓN

La zona determinada para el análisis está comprendida en la vía Bogotá – Villavicencio en el sector 1A, comprendido entre Puente Téllez y Puente Quetame, inicia en el K38+402 (Eje Izquierdo), en el sitio en el cual termina el túnel 3 del sector 1; desde este punto se desarrolla un diseño de dos calzadas hasta el K39+017 (Eje Izquierdo).

En las Figura 3-1 y Figura 3-2 se encuentra la localización regional y su respectiva sectorización.



Vía Existente Nueva calzada Túnel nueva calzada Tramos nuevos par vial Accesos veredales

Figura 3-3 Segunda Calzada Sector 1 A - Puente Téllez a Puente Quetame

Fuente: https://www.infraestructura.org.co/bibliotecas/VPT/Seguimientoproyectos/doble_calzada_bogota.pdf

El criterio para la selección fue el conocimiento de la existencia de las lutitas en el sector, que al quedar expuestas en los taludes sufrieron degradación superficial, teniendo como consecuencia el desprendimiento de material en bloque y residual en varios taludes; conjuntamente se presentó el cambio de diseño de la cimentación del puente No. 6, teniendo en cuenta la geomorfología del sector.

Como resultado del estudio de pre factibilidad llevado a cabo en el año 2005 por las firmas EDL Ltda. y CEI S.A. para COVIANDES, esta última contrató los diseños para la construcción del mejoramiento de cuatro sectores, y los estudios que se presentan en esta tesis hacen parte de los diseños de fase III y corresponden al sector 1A, Puente No. 6, el cual se encuentra localizado sobre la calzada izquierda del Par vial diseñado, comprendido entre las abscisas K38+402.68 – K39+016.77, en sentido Villavicencio – Bogotá.

La vía discurre por la margen derecha del río Negro, en zonas de depósitos aluviales y cortes a media ladera que cruzan coluviones, formaciones de lutitas e intercalaciones de algunas areniscas, con morfología que va de ondulada a montañoso y escarpada, lo cual exige la construcción de terraplenes altos y túneles, además de otras soluciones ingenieriles normalmente utilizadas.

3.2. DESCRIPCIÓN

3.2.1 PUENTE No. 6

Consiste en un puente localizado sobre la calzada izquierda del Par vial diseñado, que inicia en la abscisa K38+402.68 y finaliza en él K39+017, funcionando en el sentido Villavicencio-Bogotá. En la Figura 3-4 se observa en planta y en perfil el puente No. 6.

La estructura consiste en un puente curvo de 614.02 m de longitud, conformado por 18 luces de 34m cada una apoyadas sobre 2 estribos y 17 pilas.

El tablero tiene un ancho de 12.80 m, construido en concreto reforzado vaciado en el sitio sobre plaquetas prefabricadas o pre tensionadas. Este puente comienza a ensancharse a partir del eje 9, hasta el eje 13, debido a que en este apoyo comienza a desarrollarse la conexión vial que servirá como retorno a Bogotá (Puente 8). Después del eje 13 y hasta el eje 19 la estructura retoma su ancho típico de 12.80m.

La cimentación de los estribos del Puente es del tipo silleta sobre 3 pilotes de diámetro 1.20m y reciben las vigas sobre neoprenos de 0.60x0.70x0.05.

La cimentación de los demás apoyos (ejes 2 al 18), consta de un mono Jeisson hueco, de diámetro 2.80m y profundidades variables de acuerdo con las recomendaciones geotécnicas. Este tipo de cimentación (con un solo apoyo), es conveniente en el caso de terrenos con pendientes fuertes, porque facilitan la construcción de esta misma.

Debido a las altas pendientes transversales del terreno y al hecho de tener una cimentación con un solo elemento, se recomienda dejar anclajes de tierra contra el talud para asegurar la estabilidad de la estructura completa. Se dejará por cada apoyo entre los ejes 2 y 18, 24 torones de diámetro 5/8" tensionados a 21 toneladas cada uno.

Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocoso Puente Quebrada Oro Perdido

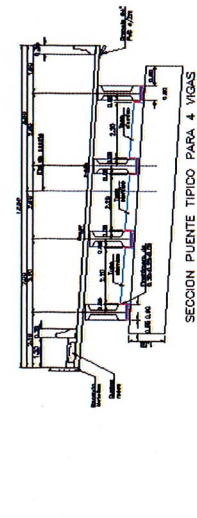
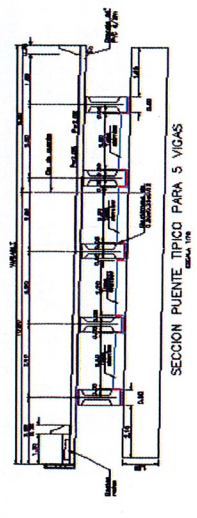
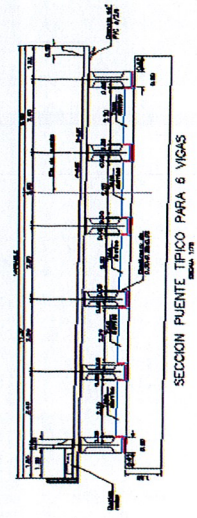
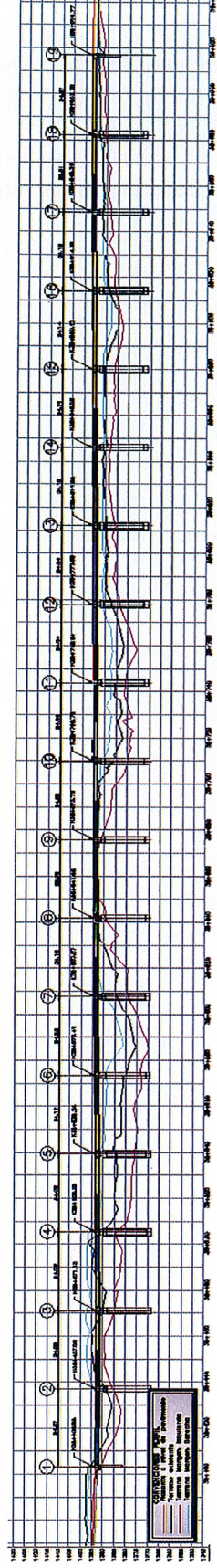
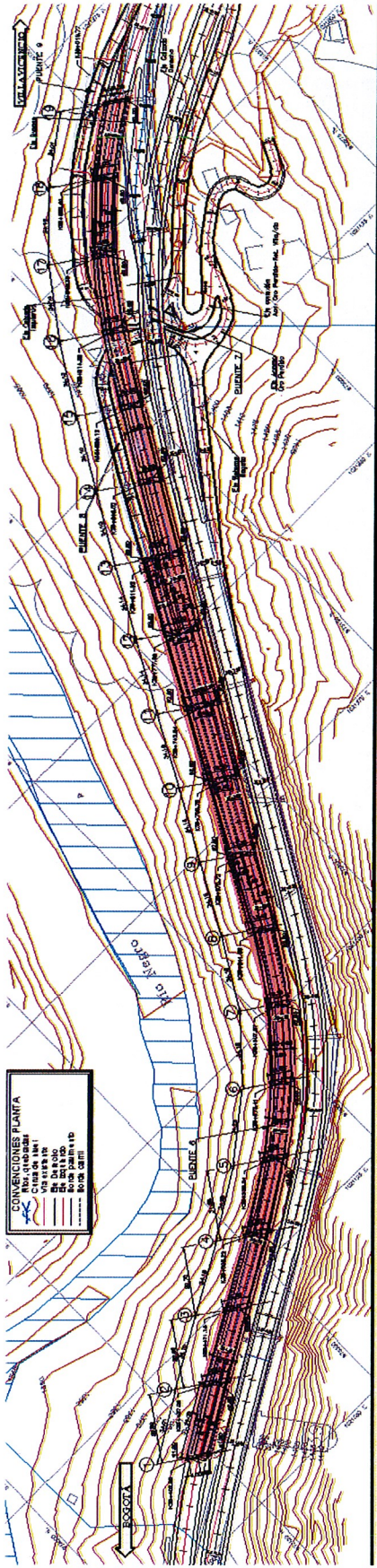


Figura 3-4 Planta, perfil y sección típica del Puente 6.
Fuente: EDL S.A.S. Ingenieros Consultores

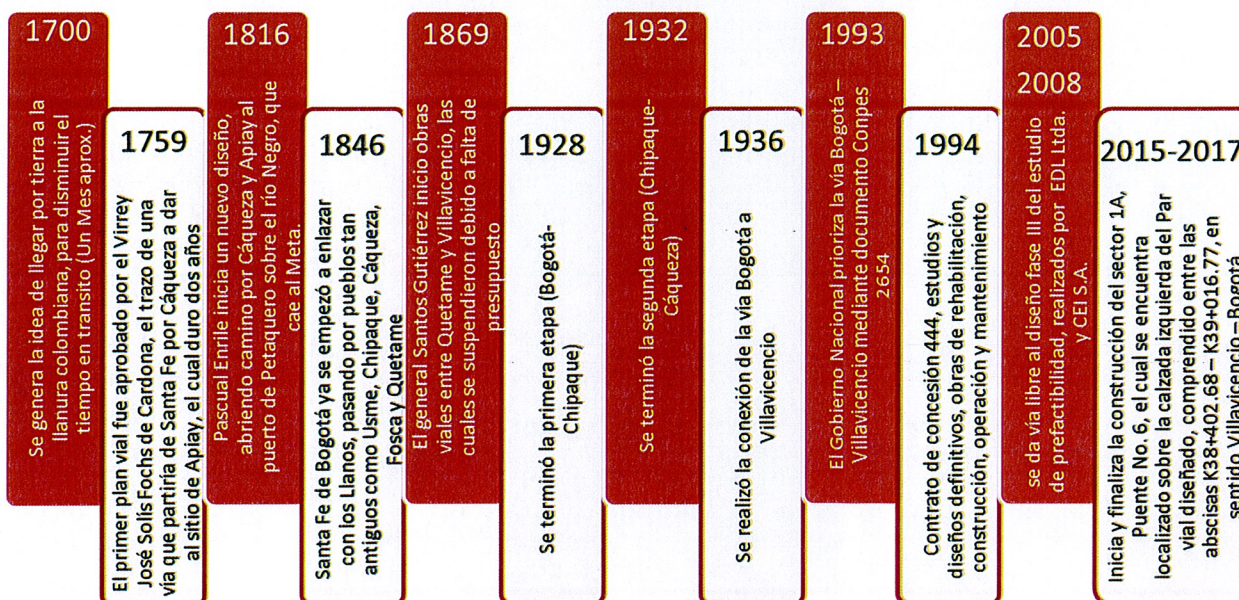
3.3. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de la presente investigación se sustentará este trabajo por medio de las siguientes teorías de clasificación de los suelos como análisis general del terreno y detalladamente se explorará el comportamiento de la roca.

3.3.1 GENERALIDADES

3.3.1.1 CRONOLOGÍA VÍA BOGOTÁ A VILLAVICENCIO

¹En la Gráfica 3-1, se presentan los sucesos a través de la historia de la construcción de la vía Bogotá- Villavicencio, hasta la fecha de la entrega del Puente No. 6.

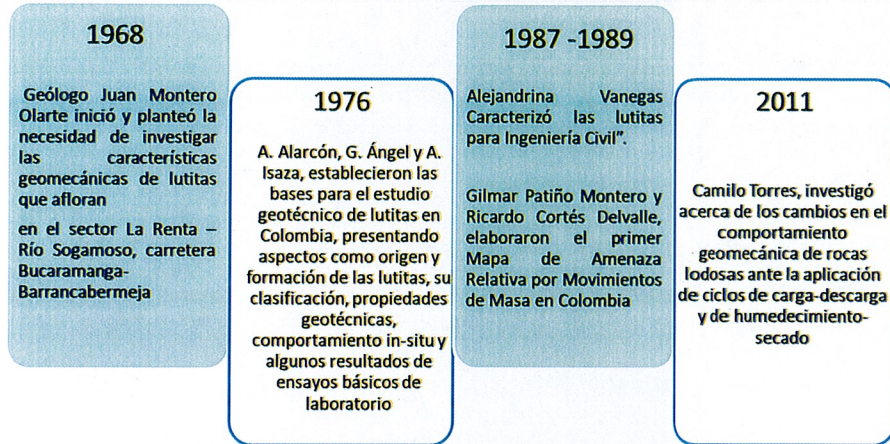


Gráfica 3-1 Cronología de la vía Bogotá - Villavicencio

¹ Primer proyecto vial, EL TIEMPO, 08 de abril 1997, <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-520475>

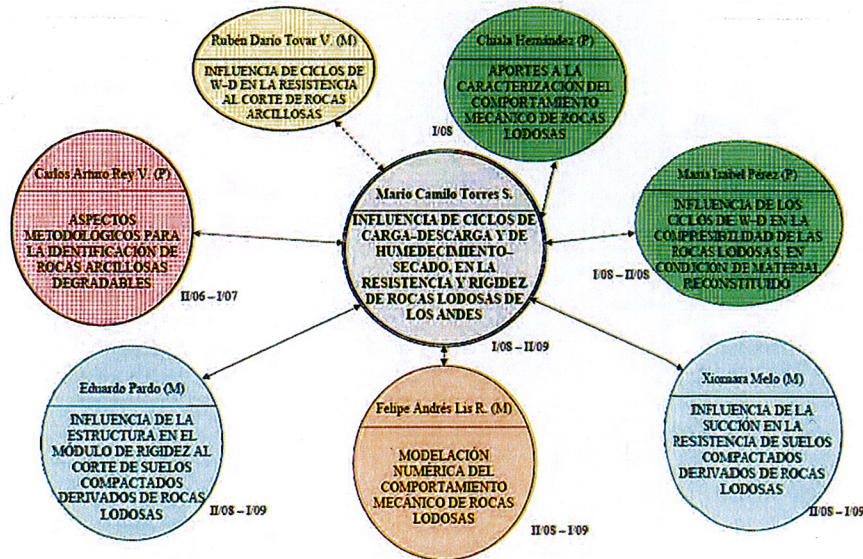
3.3.1.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS LUTITAS

En Colombia el estudio de las lutitas (Rocas Lodosas), inicia en 1968 por la necesidad de saber cómo es el comportamiento geomecánico de este material, en la Gráfica 3-2 se presenta la cronología;



Gráfica 3-2 Cronología de los estudios realizados de las lutitas en Colombia

El Ingeniero Camilo Torres continua con esta investigación desde el 2006, hasta la fecha, liderando diversas tesis en el tema, las cuales se pueden visualizar en la gráfica a continuación:



Gráfica 3-3 Esquema general de la propuesta de Línea de Investigación en Rocas Lodosas.

Fuente: Tesis Doctoral Secado En El Comportamiento Geomecánico De Rocas Lodosas De Los Andes Colombianos, Camilo Torres, 2011

A lo largo de toda la historia geológica las cuencas sedimentarias en Colombia han recibido una fuerte influencia de las presiones y distensiones de origen tectónico a que han estado sometidas.

El origen de las rocas en Colombia, entre ellas por supuesto las rocas lodosas, está íntimamente ligado a su evolución tectónica.

Durante el Neógeno se presentan dos pulsos orogénicos muy importantes: la Orogenia Pre Andina (Eoceno Inferior), que causa intenso plegamiento y fallamiento (fallas de Cambrás, Alto del Trigo, Bucaramanga – Santa Marta y Guaicáramo, entre otras); y la Orogenia Andina (Plioceno Superior) con externo vulcanismo andesítico en la Cordillera Central, la más intensa y responsable de la macroestructura actual de la Cordillera Andina de Colombia. (Camilo, 2011)

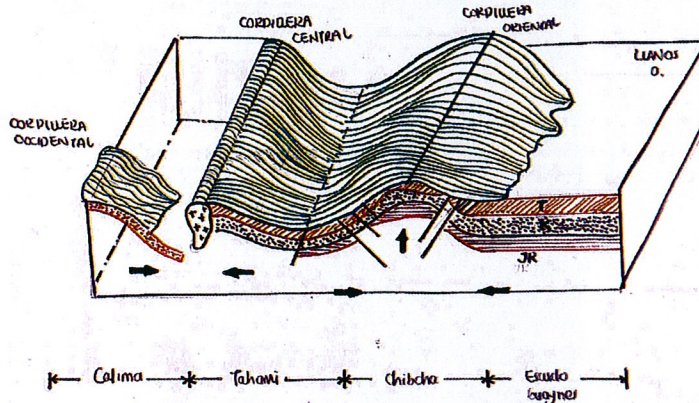
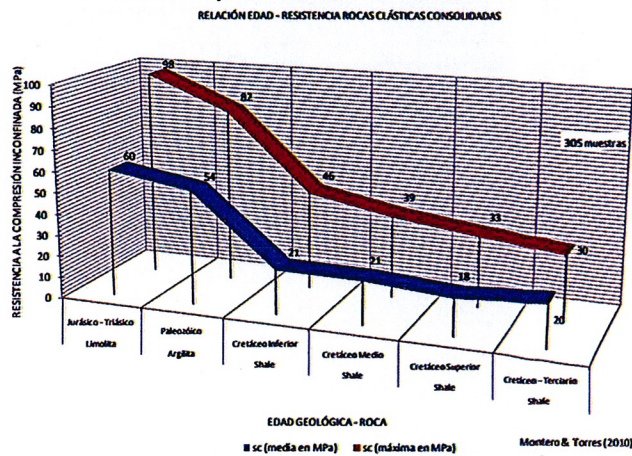


Figura 3-5 Evolución cordillera de los Andes en el tiempo Terciario – Mioceno

Fuente: Modificado del esquema original por RCD

En Colombia, y en particular en la vertiente oriental de la Cordillera Oriental, se encuentra una gruesa secuencia de rocas lodosas. El área considerada en este trabajo comprende un corredor de 614.02m de longitud y 12.80 m de ancho.

En la Gráfica 3-4 se muestran intervalos de calidad de algunas rocas lodosas colombianas con base en datos de Montero, Ángel y González (1982) organizados por Torres y Montero (2010); se observa que la resistencia de las rocas en Colombia decrece con su edad, aunque la calidad depende también de su deformabilidad, cuyos datos no se tienen.



Gráfica 3-4 Relación edad-resistencia de las rocas lodosas en Colombia con base en datos de Montero, Ángel y González (1982 – inéditos), organizados por Montero y Torres (2010).

Fuente: Tesis Doctoral Mario Camilo Torres, 2011

3.3.2 PROPIEDADES ÍNDICE DE LOS MATERIALES DEL MACIZO

Los suelos que poseen algo de cohesión, según su naturaleza y cantidad de agua, pueden presentar propiedades que lo incluyan en el estado sólido, semi-sólido, plástico o semi-líquido. El contenido de agua o humedad límite al que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro.

Los límites fueron originalmente ideados por un autor de nacionalidad sueca de apellido Atterberg, dedicado a la agronomía, y posteriormente redefinidos por Arthur Casagrande, para fines de mecánica de suelos de la manera que hoy se conocen. Los cuales se describen a continuación:

3.3.2.1 LÍMITE LÍQUIDO I.N.V.E. – 125-13

Albert Mauritz Atterberg definió los límites de consistencia de los suelos finos, con el fin de caracterizar su comportamiento. Estos límites son: Límite de Cohesión, Límite de Pegajosidad, Límite de Contracción, Límite Plástico y Límite Líquido.

El Límite Líquido además de ser un parámetro esencial para la clasificación de los suelos puede ser útil para la determinación de correlaciones de los suelos como la compresibilidad, permeabilidad y compactibilidad; es usado el límite líquido en conjunto con el límite plástico y el índice de plasticidad.

A continuación, en la Figura 3-6 se puede observar el estado de los límites.

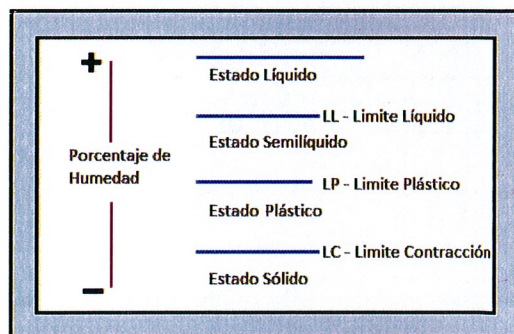


Figura 3-6 Estado del suelo

3.3.2.2 LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.N.V.E – 126-13

El límite plástico fue definido por Atterberg como la frontera que existe entre los estados plástico y semisólido del suelo. En términos de ensayos de laboratorio este límite es definido como el momento en términos de contenido de humedad, en que rollitos de aproximadamente 3 mm de diámetro empiezan a presentar desmoronamiento y agrietamiento. Es importante resaltar que el diámetro de los rollitos fue propuesto por Terzaghi, dado que Atterberg nunca especificó este parámetro.

El índice de plasticidad es la diferencia entre los valores de Limite Líquido y Limite Plástico. Un Índice de plasticidad bajo, significa que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo, lo transforma de semisólido a la condición de líquido, es decir resulta muy sensible a los cambios de humedad. Por el contrario, un índice de plasticidad alto, indica que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua y además presentaría mayor cambio de volumen.

Con los límites anteriores se obtiene el Índice de Plasticidad (IP), que representa el intervalo de humedades para pasar del estado semisólido al estado semilíquido, este es representado por medio de la siguiente expresión:

$$IP = LL - LP$$

3.3.2.1 Clasificación del suelo

A continuación, se presentan dos métodos de clasificación de suelos, por medio de las cuales se determina el comportamiento del suelo con base en sus propiedades

I. MÉTODO SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (USCS)

Es un sistema de clasificación de suelos que describe la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado u otros, siendo aplicable a la mayoría de los materiales sin consolidar

De acuerdo a Casagrande en 1942 ideó un sistema genérico de clasificación de suelos, tras un estudio experimental de diferentes muestras de suelos de grano fino, lo cual ubica en un diagrama que relaciona el límite líquido (LL) con el (IP), según la Figura 3-7. Con lo cual crea dos líneas que delimitan los suelos

$$\text{Línea A: } IP = 0.73 \times (LL - 20)$$

$$\text{Línea B: } LL = 50$$

$$\text{Línea U: } IP = 0.90 \times (LL - 0.8)$$

Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocosu Puente Quebrada Oro Perdido

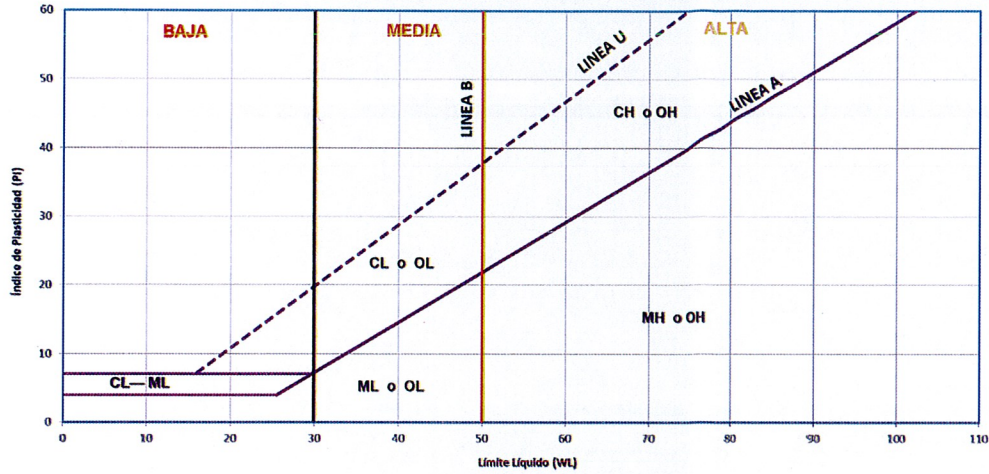


Figura 3-7 Carta de plasticidad de Casagrande

Definiendo el suelo por medio de los siguientes símbolos:

TIPO DEL SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien Graduado	W
Arena	S	Pobremente graduadas	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo	H

Tabla 3-1 Simbología del suelo

De los anteriores símbolos se puede establecer las siguientes combinaciones, las cuales parten de la granulometría realizada hasta el pasa tamiz No. 200 (Granulometría por tamizado).

SÍMBOLO	Características generales		
GW GP GM GC	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduadas
			Pobremente graduadas
		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
			Componente arcilloso
SW SP SM SC	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduadas
			Pobremente graduadas
		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
			Componente arcilloso
ML MH	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
		Alta plasticidad (LL>50)	
CL CH	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
		Alta plasticidad (LL>50)	
OL OH	SUELOS ORGÁNICOS	Baja plasticidad (LL<50)	
		Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Tabla 3-2 Tipología del suelo (SUCS)

Fuente: https://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02010103.pdf

II. SISTEMA AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO)

Se basa en determinaciones de ensayos de laboratorio de Granulometría, Límite, Líquido e Índice de Plasticidad. Es un método realizado principalmente para Obras Viales. Restricción para los finos:

%malla N° 200 > 35% => Fino

Inspirada en el modelo de Casagrande, considera siete grupos básicos de suelos, numerados desde el A-1 hasta el A-7. A continuación se presente la Tabla 3-3 de clasificación.

DIVISIÓN GENERAL		Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
GRUPO		A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7		
Subgrupo		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	#10	≤ 50											
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
Límite líquido				NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	>41 [IP<LL-30]	>41 [IP>LL-30]
Índice de plasticidad	≤ 6				≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	0	≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20				
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena	Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas			Suelos limosos		Suelos arcillosos					
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA						

Tabla 3-3 Clasificación del suelo según AASHTO

Fuente: https://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02010103.pdf

Este método tiene como referencia, los ensayos de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad.

Durante el desarrollo de este trabajo se usará el método- sistema unificado de clasificación de suelos (USCS)

3.3.3 GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO I.N.V.E – 123-13

Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. El ensayo es importante, ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en bases o subbases de carreteras, presas de tierra o diques, drenajes, etc., depende de

este análisis. Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente.

Para suelos con tamaño de partículas mayor a 0,074 mm. (74 micrones), se utiliza el método de análisis mecánico mediante tamices de abertura y numeración como se indica a continuación. Para suelos de tamaño inferior, se utiliza el método del hidrómetro, basado en la ley de Stokes.

3.3.4 RESISTENCIA DE LA ROCA

La Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas o International Society for Rock Mechanic, describe ciertos tipos de rocas dependiendo de las características numéricas que estos tengan, ya sea por una descripción visual, o por información obtenida de los ensayos de laboratorio.

3.3.4.1 PROPIEDADES MECÁNICAS: RESISTENCIA Y DEFORMABILIDAD

I. Índices de campo: estimación de la resistencia uniaxial (ISRM)

Permite establecer una estimación cuantitativa del rango de resistencia en suelos cohesivos y rocas.

Clase	Descripción	Identificación de campo	≈ Resistencia a la compresión (MPa)
S ₁	Suelo muy blando	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0,0025
S ₂	Suelo blando	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0,0025 – 0,05
S ₃	Suelo firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo.	0,05 – 0,10
S ₄	Suelo rígido	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo.	0,10 – 0,25
S ₅	Suelo muy rígido	Con cierta presión puede marcarse con la uña.	0,25 – 0,50
S ₆	Suelo duro	Se marca con dificultad al presionar con la uña.	> 0,50
R ₀	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0,25 – 1,0
R ₁	Roca muy blanda	Al golpear con la punta del martillo la roca se desmenuza. Con navaja se talla fácilmente.	1,0 – 5,0
R ₂	Roca blanda	Al golpear con la punta del martillo se producen ligeras marcas. Con la navaja se talla con dificultad.	5,0 – 25
R ₃	Roca moderadamente dura	Con un golpe fuerte del martillo puede fracturarse. Con la navaja no puede tallarse.	25 – 50
R ₄	Roca dura	Se requiere más de un golpe del martillo para fracturarla.	50 – 100
R ₅	Roca muy dura	Se requiere muchos golpes del martillo para fracturarla.	100 – 250
R ₆	Roca extremadamente dura	Al golpear con el martillo sólo saltan esquirlas.	> 250

Tabla 3-4 Resistencia a partir de índices de campo (ISRM)

II. Ensayo de carga Puntual ASTM D 5731

El ensayo de carga puntual se utiliza para determinar la resistencia a la compresión simple de fragmentos irregulares de roca, testigos cilíndricos de sondajes o bloques, a partir del índice de resistencia a la carga puntual (Is). El procedimiento consiste en romper una muestra entre dos puntas cónicas metálicas accionadas por una prensa. Las ventajas de este ensayo son que se pueden usar muestras de roca irregulares sin preparación previa alguna y que la máquina es portátil.

El cálculo de la carga puntual se realizará con las siguientes formulas:

Is= Índice de resistencia de carga puntual no corregido, (Mpa).

$$I_s = \frac{P}{De^2}$$

Donde:

P= carga aplicada, (KN)

De= Diámetro equivalente del espécimen, (mm).

Ensayo Diametral $De = D$

Ensayo No Diametral $De = \left(\frac{4A}{\pi}\right)^{0.5}$

D= Distancia entre puntas, (mm).

A= Área de la sección transversal mínima paralela a la sección de la carga, (m²).

$$A = W \times D$$

W= Ancho del espécimen perpendicular a la dirección de la carga, (mm).

I_{s50} = Índice de resistencia de carga puntual corregido, (Mpa).

$$I_{s50} = \left(\frac{De}{50}\right)^{0.45} \times I_s$$

III. Resistencia a la compresión

El ensayo permite determinar la resistencia uniaxial no confinada de la roca, o resistencia a la compresión simple, clasificando la roca por su resistencia y deformabilidad. Obteniendo como resultado el módulo de Young (o **módulo de elasticidad** longitudinal que es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza), y el coeficiente de Poisson (es una constante elástica que proporciona una medida del estrechamiento de sección de un prisma de material elástico lineal e isótropo cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza en las direcciones perpendiculares a la de estiramiento).

La relación entre los esfuerzos aplicados en el ensayo es:

$$\sigma_1 \neq 0; \sigma_2 = \sigma_3 = 0$$

El ensayo trata de la aplicación gradual de una fuerza axial a un cilindro de roca, hasta que se produce su rotura, los datos obtenidos son: σ_1 obtenido del ensayo, σ_2 , σ_3 . Con estos datos se puede obtener σ_c (resistencia a la compresión simple)

La dureza de la roca se puede clasificar de acuerdo con los intervalos de resistencia a la compresión simple según se observa en la *Tabla 3-5*

• Clasificación de la resistencia de la roca matriz (ISRM, 1981; Bieniawski, 1973):

Clase	Descripción (ISRM)	Resistencia a la compresión simple (MPa)	Resistencia (Bieniawski)	Valores del ensayo PLT (MPa)	
R ₀	Extremadamente blanda	< 1	Muy baja	No aplicable	≈ Suelos
R ₁	Muy blanda	1 – 5			Bajas
R ₂	Blanda	5 – 25	Media	2 – 4	
R ₃	Moderadamente dura	25 – 50			Alta
R ₄	Dura	50 – 100	> 200	Muy alta	
R ₅	Muy dura	100 – 250			
R ₆	Extremadamente dura	> 250			

1 MPa = 10,2 Kp/cm²

Tabla 3-5 Resistencia de la Roca

Fuente: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia_geotecnia.pdf

A continuación, se describen algunos rangos en los cuales las rocas son clasificadas según su resistencia a compresión simple en MPa.

roca intacta	resistencia a compresión simple (Mpa)	
	valores medios	rango de valores
Andesita	210-320	100-500
Anfibolita	280	210-530
Anhidrita	90	80-130
Arenisca	55-140	30-235
Basalto	150-215	80-350
Caliza	80-140	60-200
Cuarcita	200-320	100-500
Diabasa	240-350	130-365
Diorita	180-245	120-335
Dolerita	200-300	100-350
Dolomía	90-250	65-350
Esquisto	50-60	20-160
Gabro	210-280	180-300
Gneiss	160-200	85-250
Granito	170-230	100-300
Grauvaca	180	80-220
Limolita		35-250
Lutita	30-70	10-100
Marga	70-140	70-190
Mármol	120-200	60-250
Pizarra	100-180	90-250
Sal	12	5-30
Toba		10-46
Yeso	25	10-40

Tabla 3-6 Valores de resistencia de la matriz rocosa sana

Fuente: Información obtenida a partir de Rahn (1986), Walther (1999), Obert y Duvall (1967), Farmer (1968).

IV. Descripción de continuidad y discontinuidades

Longitud o extensión superficial del plano de la discontinuidad, medir la longitud de los dos lados del plano: dirección y buzamiento - representar en esquemas o bloques diagrama

Clase	Descripción	Longitud (m)
I	Muy baja continuidad	< 1
II	Baja continuidad	1 – 3
III	Continuidad media	3 – 10
IV	Alta continuidad	10 – 20
V	Muy alta continuidad	> 20

Tabla 3-7 Descripción de la continuidad (ISRM, 1981)

Para la valoración de este parámetro se debe clasificar la roca de acuerdo con el rumbo y buzamiento con respecto a la obra civil que se va a ejecutar, esta clasificación se especifica a continuación:

Dirección Perpendicular al Eje de la obra				Dirección Paralelo al Eje de la obra		Buzamiento 0 -20° Cualquier dirección
Excav. Con buzamiento.		Excav. Contra buzamiento		Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	
Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	Buz 45°-90°	Buz 20° - 45°	Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Desfavorable

Tabla 3-8 Clasificación para la determinación de los buzamientos

Calificativo	Valoración
Muy favorable	0
Favorable	-5
Medio	-25
Desfavorable	-50
Muy desfavorable	-60

Tabla 3-9 Valoración para Taludes

Fuente: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/12527/Capitulo9.pdf>

V. RQD (Rock Quality Designation)

En 1964, Deere propuso un índice cuantitativo de la calidad de la roca basado en la recuperación de los núcleos con perforaciones de diamante, llamado Rock Quality Index, el cual es representado como se expresa en la siguiente fórmula:

$$RQD (\%) = 100 \times \frac{\sum \text{Long de núcleos} \geq 10 \text{ cm}}{\text{Largo total de la perforación}}$$

Deere propuso la siguiente relación entre el valor numérico RQD y la calidad de la roca desde el punto de vista en la ingeniería:

• Clasificación de la calidad del macizo según el índice RQD:

Clase	Calidad	RQD (%)
I	Muy mala	< 25
II	Mala	25 – 50
III	Aceptable	50 – 75
IV	Buena	75 – 90
V	Muy buena	90 – 100

Tabla 3-10 Índice de calidad RQD

Fuente: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/12527/Capitulo9.pdf>

VI. Cohesión y Fricción

La resistencia es función de las fuerzas cohesivas y friccionales del material (además de otros valores extrínsecos al material rocoso). La cohesión, c , es la fuerza de unión a cortante entre las partículas minerales que forman la roca. El ángulo de fricción interna, ϕ , es el ángulo de rozamiento entre dos planos de la misma roca, para la mayoría de las rocas este ángulo varía entre 25° y 45° . La resistencia de la roca no es un valor único, ya que además de los valores c y ϕ , depende de otras condiciones, como la magnitud de los esfuerzos confinantes, la presencia de agua en los poros o la velocidad de aplicación de la carga de rotura. También, incluso en rocas aparentemente isótropas y homogéneas, los valores de c y ϕ pueden variar según el grado de cementación o variaciones en la composición mineralógica.

roca	Cohesión (Mpa)	Angulo de fricción ($^\circ$)
Andesita	28	45
Arenisca	8-35	30-50
Basalto	20-60	48-55
Caliza	5-40	35-50
Caliza margosa	1-6	30
Cuarsita	25-70	40-55
Diabasa	90-120	40-50
Diorita	15	50-55
Dolomía	22-60	25-35
Esquistó	25 20-15*	25-30* 20-30*
Gabro	30	35
Gneiss	15-40	30-40
Granito	15-50	45-58
Grauvaca	6-10	45-50
Mármol	15-35	35-45
Lutita	3-35	40-60 12-25*
Pizarra	10-50 <10*	40-55 15-30*
Toba	0,7	
Yeso		30

(*) En superficies de laminación o esquistocidad

Tabla 3-11 Valores típicos de c y ϕ para roca intacta

Fuente: Información obtenida a partir de Walthan (1999), Rahn (1986), Goodman (1968), Jiménez Salas y Justo Alpañés (1975).

VII. Meteorización

En términos generales se tiene que la meteorización incluye procesos de alteración natural que experimentan los materiales geológicos, debido a la acción de agentes medioambientales, los cuales a su vez inducen modificaciones en sus propiedades. Los procesos de meteorización normalmente se inician en las escalas espaciales del nivel microscópico y por lo general aquellos

asociados con mecanismos de naturaleza física (cambios en la energía potencial) afectan en las primeras instancias a los materiales. Como se ve en el proceso de la Figura 3-8

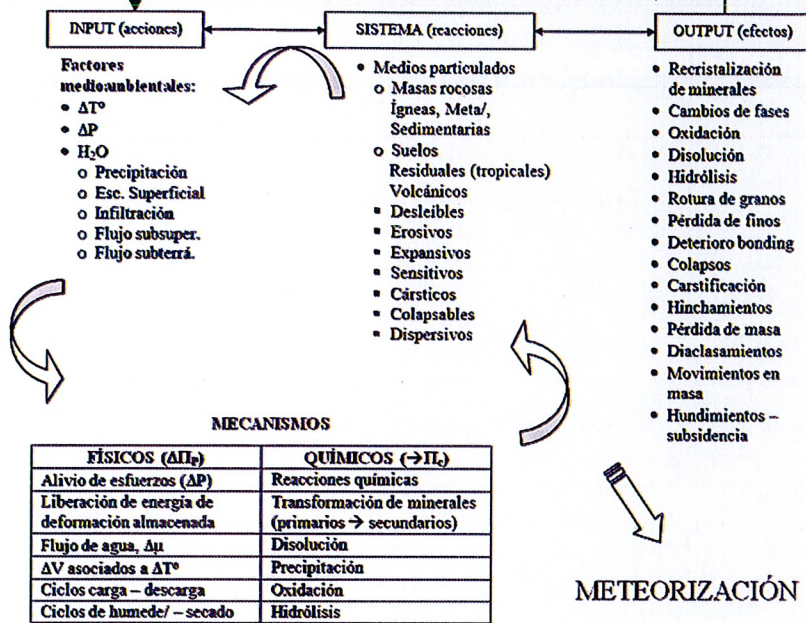


Figura 3-8 Esquema de procesos y mecanismos de meteorización en geomateriales.

Dentro de los procesos de meteorización de mayor incidencia, las propiedades ingenieriles de los materiales geológicos se cuentan: procesos de descarga, contracción y expansión térmica, crecimiento de cristales y coloides, materia orgánica, disolución, hidrólisis, oxidación, intercambio catiónico y carbonatación, entre otros. En la naturaleza estos procesos por lo general se presentan en forma paralela, los cuales tienen efectos como desintegración de partículas, rotura de enlaces, liberación de energía de deformación almacenada (Bjerrum, 1967), desprendimientos, descascaramientos, hundimientos, colapsos, carstificación, arrastre de materiales, cementación, etc.

Un aspecto clave es la determinación del nivel de meteorización que exhiba la pared de discontinuidad, para lo cual se requiere exponer el macizo e identificar dicho nivel según la Tabla 3-12 o la que mejor se ajuste a las características reales de los materiales objeto de la caracterización.

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN	NIVEL
Fresca	No hay signos visibles de meteorización del material rocoso; quizás alguna decoloración en las superficies de las discontinuidades.	I
Ligeramente meteorizada	Decoloración indica meteorización del material rocoso y de las superficies de las discontinuidades; por lo general el material meteorizado será menos resistente que el fresco	II
Moderadamente meteorizada	Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo, la roca fresca o decolorada está presente en los extremos o como núcleos de roca	III
Moderadamente meteorizada	Más de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo; la roca fresca o decolorada está presente en forma discontinua o como núcleos de roca	IV
Completamente meteorizada	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo; la estructura original de la masa rocosa está aún intacta.	V
Suelo residual	Todo el material rocoso se convirtió en suelo, la estructura de la masa y la fábrica del material se destruyeron; hay cambios de volumen importantes, pero el suelo no ha experimentado transporte significativo.	VI

Tabla 3-12 Descripción general del tipo y nivel de meteorización

Igualmente se presenta un estado de meteorización mediante índices normalizados

Término	Descripción
FRESCA	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa.
DECOLORADA	Se observan cambios en el color original de la roca debidos a meteorización. Indicar el grado de cambio y si dicho cambio se limita a uno o varios minerales.
DESINTEGRADA*	Roca meteorizada a suelo, conservándose la fábrica original. Los granos minerales están sin alterar, pero la roca es friable.
DESCOMPUESTA*	Roca meteorizada a suelo, conservándose la fábrica original. Algunos o todos los granos minerales están descompuestos.

*Admiten grados: ligeramente (<10%), moderadamente (<35%), altamente (<75%), extremadamente (>75%)

Tabla 3-13 Grado de meteorización (ISRM, BS 5930:1981)

3.4. MARCO GEOLÓGICO

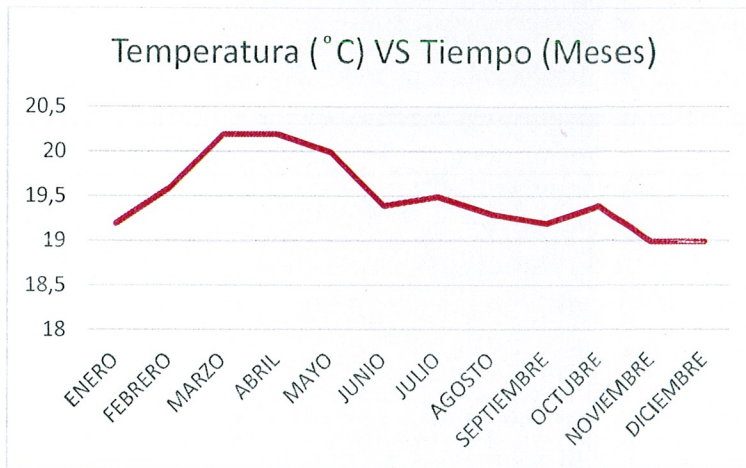
3.4.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

La característica climatológica del área del proyecto corresponde a una zona de clima tropical, la temperatura en la zona de estudio está entre 14°C y 25°C con un promedio de 19°C; en la Figura 3-9 se presenta la tendencia de temperatura durante un año. En un año, la precipitación media es del orden de los 1831 mm.

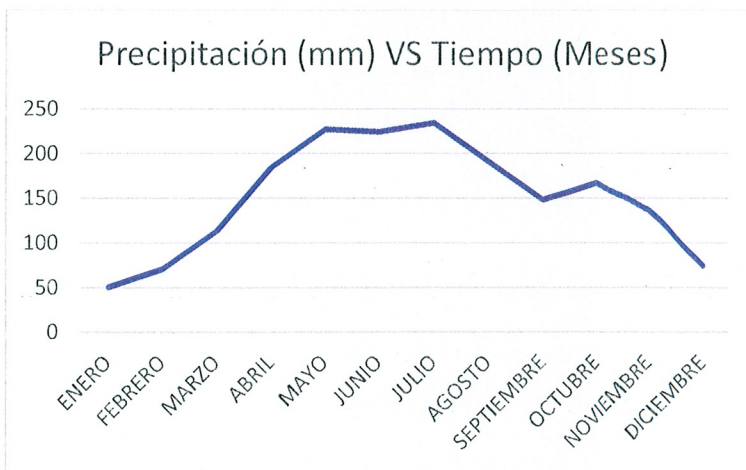
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	19.2	19.6	20.2	20.2	20	19.4	19.5	19.3	19.2	19.4	19	19
Temperatura mín. (°C)	14.1	14.6	15.6	16	16	15.4	15.3	15	14.5	14.9	14.7	14.2
Temperatura máx. (°C)	24.4	24.7	24.9	24.5	24	23.4	23.7	23.7	24	23.9	23.4	23.8
Temperatura media (°F)	66.6	67.3	68.4	68.4	68.0	66.9	67.1	66.7	66.6	66.9	66.2	66.2
Temperatura mín. (°F)	57.4	58.3	60.1	60.8	60.8	59.7	59.5	59.0	58.1	58.8	58.5	57.6
Temperatura máx. (°F)	75.9	76.5	76.8	76.1	75.2	74.1	74.7	74.7	75.2	75.0	74.1	74.8
Precipitación (mm)	51	71	114	185	228	225	235	192	149	168	138	75

Figura 3-9 Tendencia Histórica de la Temperatura en la zona de estudio

Fuente: <https://es.climate-data.org/location/32449/>



Gráfica 3-5 Temperatura promedio registrada, de acuerdo con cada mes del año



Gráfica 3-6 Precipitaciones promedio de acuerdo con cada mes del año

La variación de la lluvia a través del año se caracteriza por tener un régimen bimodal con dos períodos secos entre los meses de enero – febrero y julio – agosto, y dos períodos húmedos entre abril – junio y octubre – noviembre. El mes más seco es enero, con 51 mm. En julio, la precipitación alcanza su pico, con un promedio de 235 mm.

La diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 184 mm. La variación en la temperatura anual está alrededor de 1.2 °C

Según Torres (2006), el inicio de la investigación sobre las lutitas se remonta a Terzaghi y Peck hacia los 60's, cuando describieron los shales (lutitas), como materiales localizados entre zonas de cementación incipiente y completa, es decir que varían entre un suelo duro y una roca real. Adicionalmente, Taylor estableció en 1948 que los shales son en sí mismos considerados como rocas, pero cuando se exponen al aire o sufren cambios en el contenido de humedad pueden descomponerse rápidamente.

Entre las primeras investigaciones en el país sobre lutitas se encuentra la realizada por los ingenieros A. Alarcón, G. Ángel y A. Isaza en el año 1976, titulado "Bases para el estudio geotécnico de las lutitas en Colombia", donde se presenta su clasificación, propiedades geotécnicas, comportamiento in situ y algunos resultados de ensayos básicos de laboratorio (Torres, 2006).

Tovar (2008) realizó el estudio sobre la influencia de los ciclos de humedecimiento y secado en la resistencia al corte de rocas arcillosas, donde propone un método para evaluar la resistencia al corte en muestras de lutitas partiendo de la humedad máxima de la roca.

3.4.2 GEOLOGÍA REGIONAL

El alineamiento de las obras relacionadas se construirá en su totalidad en rocas de la Formación Cáqueza (Kc) compuesta de lutitas laminadas y areniscas, las cuales están parcialmente cubiertas por unidades cuaternarias. En el Figura 3-10 se observa el plano geológico de la zona de estudio.

Las características de estos materiales son las siguientes:

➤ Depósitos aluviales (Qal)

Son restringidos a las llanuras aluviales y cauces originados por el Río Negro y sus afluentes. Están conformados por materiales sueltos, bloques y cantos redondeados y sub-redondeados, gravas, arenas y en menor proporción limos y arcillas.

➤ Depósitos de coluvión (Qc)

Estos depósitos consisten en fragmentos angulares de bloques y gravas de lutitas y areniscas, caóticamente dispuestos en una matriz areno-arcillosa, presentando consolidación baja, rellenando el paisaje según la pendiente topográfica. Extensos coluviones se localizaron entre los tramos K38+750 – K39+480 y K39+480 y en el K41+500, la mayoría de los cuales se encuentran afectados por fenómenos de remoción y de inestabilidad.

Se puede inferir de estas acumulaciones, que las fuentes de origen de los fragmentos rocosos constituyentes están relativamente cercanas. Los cambios fuertes de pendiente y los pliegues estrechos de baja amplitud no facilitan un estándar medible de la continuidad de estos depósitos. Algunos se aprecian extensos y abanicados sobre los que se han desarrollado suelos rojizos hasta de 3 metros y muestran fuerte contraste con las zonas abruptas de la Formación Cáqueza Inferior.

➤ Formación Cáqueza inferior (Kc).

Esta formación de origen sedimentario está compuesta por lutitas grises e intercalaciones de limolitas silíceas, que se disponen en capas por lo general delgadas; otros niveles son de lodolitas negras físlles con areniscas en estratos delgados y medios con cierta gradación de espesores hacia la base de la secuencia. Las fracturas presentan rellenos de cuarzo lechoso, sulfatos, yeso o melanteritas y solamente en las perforaciones se encontraron muy esporádicas venas de calcita con costras ferruginosas. Algunos afloramientos que evidencian presencia de agua o humedad presentan horizontes "calichosos" confundibles con carbonatos.

Desde el punto de vista geomorfológico el corredor vial se dividió en tres (3) unidades: Unidad de Planicies Aluviales, Unidad de Vertientes Suaves a Moderadas y Unidad de Vertientes Empinadas.

La primera de ellas corresponde con una unidad muy suave, prácticamente plana, formada por extensos depósitos aluviales y llanuras del río Negro. Esta será poco intervenida en los trabajos de ampliación de la vía.

La segunda agrupa las vertientes con pendientes suaves y las inferiores a los 30°, las cuales drenan a la cuenca del río Negro y forman franjas angostas alargadas, modeladas por coluviones, algunos flujos, escombros y derrubios que se localizan en la base de las lomas principales.

Y la tercera unidad agrupa los terrenos cuyas vertientes muestran pendientes entre los 30° y 45°. La Formación Cáqueza Inferior se puede diferenciar en el campo por presentar los mayores escarpes a todo lo largo de la angostura del río Negro en ambos márgenes, exhibiendo espectaculares plegamientos muy localizados.

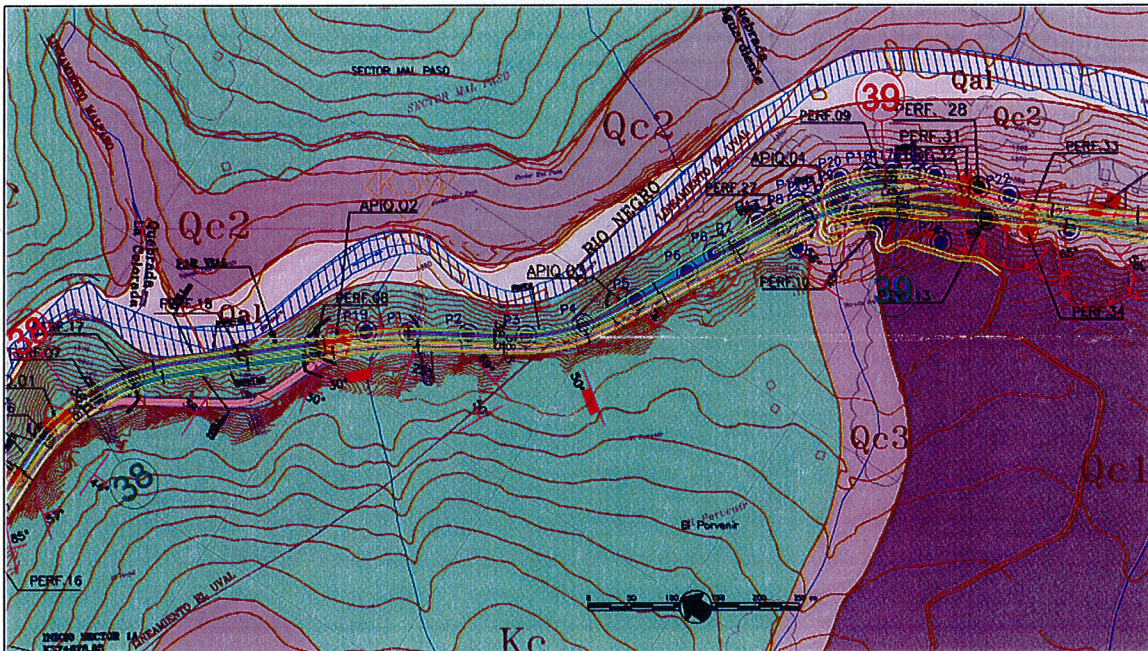


Figura 3-10 Plano Geológico

3.4.2.1 Unidades Del Cuaternario

La evolución geológica reciente de la zona, donde han interactuado en conjunto la acción fluvial del río Negro y los procesos de inundación en laderas de pendiente fuerte, ha dado como producto una diversidad de depósitos con características geomecánicas diferentes que son de gran importancia para tener en cuenta geotécnicamente. Los cuales se describen a continuación:

- COLUVIÓN ANTIGUO CENTRAL (Qc1.); integrado por materiales provenientes de la erosión de las montañas que lo circundan su matriz es limo-arenosa gris oscuro y con fragmentos de tamaños más reducidos de lutita, en general de forma angulosa.
- COLUVIONES RECIENTES (Qc2); Estos depósitos consisten en fragmentos angulosos de bloques y gravas de lutitas y areniscas, caóticamente dispuestos en una matriz areno-arcillosa, presentando consolidación baja, rellenando el paisaje según la pendiente topográfica. La mayoría de estos se encuentran afectados por fenómenos de remoción y de inestabilidad
- RELLENO DE CANALES (Qc3); Son depósitos más recientes que se localizan en las partes bajas de las laderas rellenando los valles formados por los drenajes menores ubicados a lado y lado del gran coluvión antiguo o Coluvión Central. Dado su origen estos son más heterogéneos, integrados por materiales en su mayoría provenientes de la desintegración del mismo Coluvión Central y en parte de las laderas rocosas de las montañas altas.
- SUELOS; Por lo general los suelos reconocidos en la zona contienen gravas limosas o arcillosas, con alguna plasticidad y en algunos sitios arenas limosas de baja plasticidad.

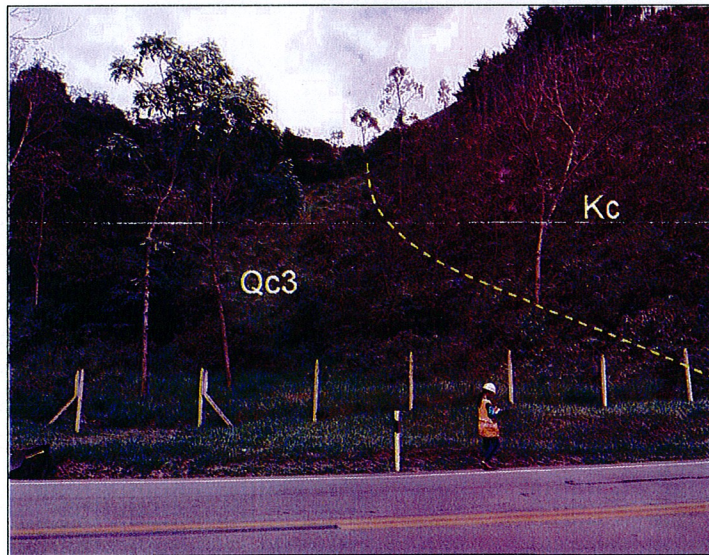


Figura 3-11 Depósito clasificado como relleno de canales (Qc3), en la zona del drenaje, coincide aproximadamente con K38+900.

- DEPÓSITOS Y TERRAZAS ALUVIALES (QAL), (QT); Se encuentran restringidos a las llanuras aluviales y cauces originados por el Río Negro y sus afluentes. Están conformados por materiales sueltos, bloques y cantos redondeados y subredondeados, gravas, arenas y en menor proporción limos y arcillas.

Las terrazas de los ríos (**Qt**) se encuentran inactivos; En la zona de la Cordillera, a 10 largo de los ríos Blanco, Negro, fueron observados depósitos de gravas y arenas, en forma de terrazas.

Depósitos (**Qal**) se encuentran activos; En las actuales llanuras aluviales, vastas superficies planas periódicamente inundadas por las aguas, los ríos llevan materiales que reflejan la variedad de rocas presentes en la parte del Macizo de Quetame.



Figura 3-12 Depósitos y terrazas aluviales en el río Negro

3.4.3 GEOLOGÍA LOCAL

Este puente de gran longitud se localiza en su totalidad en la ladera de la margen derecha del Río Negro, con pendiente muy fuerte en la parte inicial y fuerte a intermedia en la parte final. Hasta el K38+870 el puente se cimentaría sobre rocas duras y de esta abscisa hasta el final en rocas muy alteradas, todas correspondientes al Cáqueza inferior Kc. De acuerdo a las observaciones de los taludes cortados para la vía actual (ver, Figura 3-13) las rocas duras corresponden a una alternancia de areniscas de grano fino negro en capas delgadas, con areniscas de grano medio gris oscuro en capas un poco más gruesas, encontrándose también capas delgadas de lutitas. La resistencia del macizo rocoso es de intermedia a ocasionalmente alta, aunque en los sectores donde se encuentran capas más gruesas de lutita la resistencia puede ser débil. Esta secuencia se encuentra recubierta por una capa de depósitos de ladera y suelo de poco espesor, los cuales, por la escala, no se pueden representar en planta.

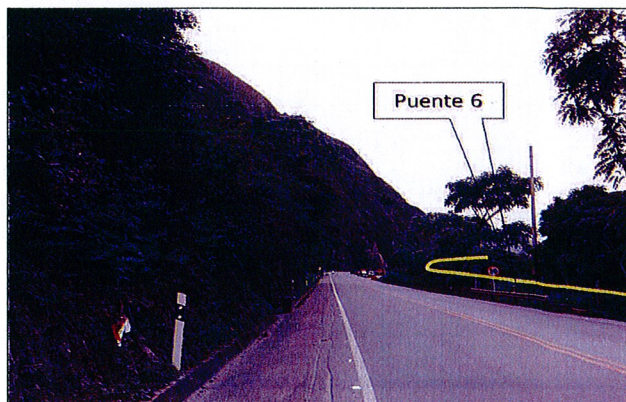


Figura 3-13 Talud de la vía actual frente al Puente 6.

En la zona de rocas blandas, de acuerdo con las perforaciones mecánicas, estas corresponden en su mayor parte a lutitas carbonosas de resistencia muy débil, dado su grado de alteración. De acuerdo con los registros geofísicos, la roca más competente se encontraría a los 30 m de profundidad. En esta parte la roca alterada está cubierta por un depósito reciente, in-consolidado, de hasta 12 m de espesor en la parte alta de la ladera, integrado por cantos angulosos de areniscas en abundante matriz limo-arenosa a limo-arcillosa con alta saturación.

El tramo corresponde al valle estrecho del río Negro, donde su cauce combina una curva interna, luego una externa y finalmente un tramo recto, con depósitos de material aluvial como barras laterales. La curva externa se localiza en la abscisa 38+500, donde los problemas de socavación de orillas han estrechado ostensiblemente la ladera.

Las observaciones sobre el talud del frente, cortado para la vía actual, permiten ver una estratificación de ángulos altos, 70° en promedio, de las capas, que buzcan en promedio con un azimut de 120°, encontrándose tramos de la vía actual en donde la dirección del buzamiento concuerda con la dirección de la pendiente del talud. Se observa la caída frecuente de bloques y fragmentos de roca a partir de cuñas formadas entre la estratificación y las diaclasas, lo que ocasiona, en algunos casos, que la pendiente del talud sea la misma de la estratificación. A continuación se consignan las tablas con los datos estructurales tomados en los taludes, localizadas según la cimentación del Puente.

3.4.4 GEOMORFOLOGÍA

Localmente la ubicación del sector 1A en el interfluvio entre los ríos Negro y Sáname, marca el rasgo geomorfológico más importante para diferenciarlo de otros sectores.

La ladera nororiental donde se localiza el sector 1A, fue dividida para el desarrollo, estudio y análisis de este proyecto en tres subsectores fisiográficos, los cuales se describen a continuación, y se pueden observar en la Figura 3-14.

SS1. Subsector 1: tramo donde la ladera tiene mayor longitud, controlado por un macizo rocoso de resistencia media a alta, con ángulos altos de inclinación de la estratificación, con dirección tendiente al nororiente. Aquí los taludes generados por la vía son los más altos, que sin embargo no presentan problemas de inestabilidad profunda, limitándose estos a la caída de bloques y fragmentos de roca a partir de cuñas entre la estratificación y dos familias de diaclasas.

SS2: Subsector 2: tramo donde la divisoria de aguas presenta una fuerte inclinación. Este tramo se destaca por la presencia de un coluvión de gran tamaño que se ha denominado Coluvión Central.

SS3. Subsector 3: Tramo donde la longitud de la ladera es la más corta. En esta parte, se alternan en la vía, taludes en roca y taludes en coluvión. Aquí el macizo rocoso presenta la resistencia más débil, las rocas están más plegadas y se distingue la alternancia de lutitas carbonosas con areniscas.



Figura 3-14 Ladera nororiental dividida en 3 Subsectores. En amarillo grandes coluviones
Fuente: Imagen tomada de Google Earth y modificada por EDL S.A.

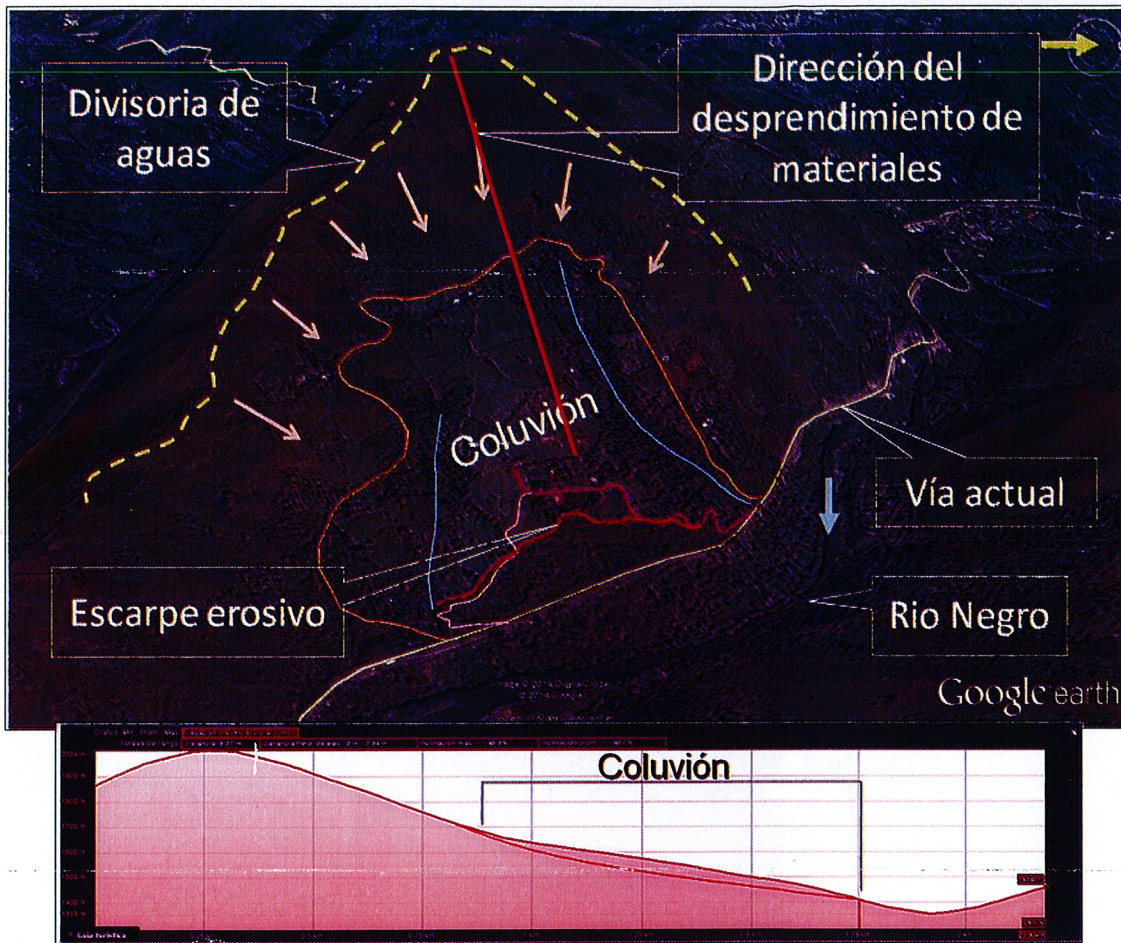


Figura 3-15 Se observa la localización del coluvión y la zona de aporte de los materiales (las líneas morada y rosada, señalan caminos). Se muestra el perfil longitudinal del coluvión.

Fuente: Imagen tomada de Google Earth y modificada por EDL S.A.

3.4.4.1 LITOLOGÍA

Esta formación se encuentra parcialmente cubierta por depósitos de tipo aluvial en la Vereda Tutaza, en el Sector llamado Llano de Tutaza en la confluencia del Río Payero y la Quebrada Combita; también en la confluencia de las Quebradas Tobacía y Combita.

Como accidentes geográficos sobresalientes de esta formación se encuentran en la Vereda Guacal la Loma la Asomada entre las Quebradas Quiriní y Río Negro; en la Vereda Tutaza el Alto Aguadero, en la Vereda el Morro la Loma la Avanzada, en la Vereda Mombita el Cerro La Calabera entre el Río Payero y la Quebrada Tobacía y en la Vereda San José el Alto Redondo.

La edad de la formación ha sido considerada como Berriasiano- Valanginiano.

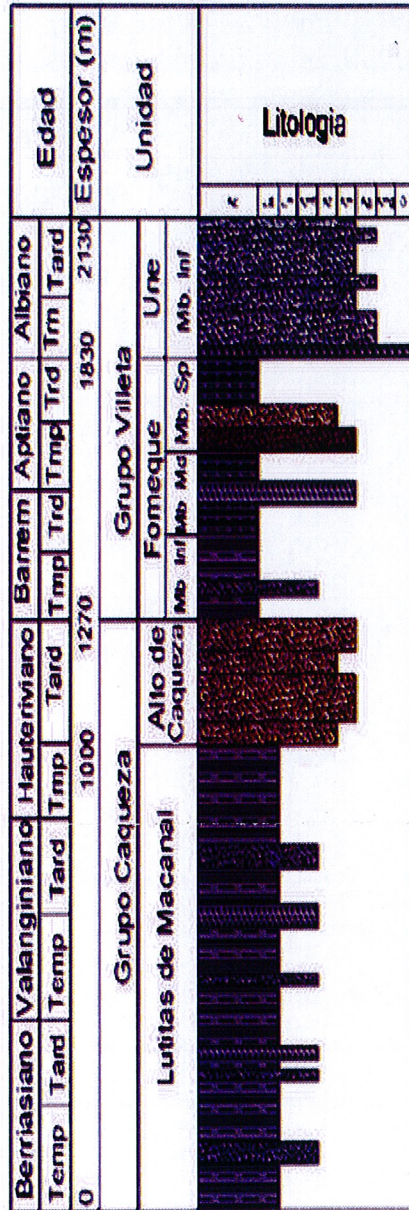


Figura 3-16 Columna Estratigráfica del Cretáceo inferior para el sector Oriental del Piedemonte de la Cordillera Oriental

Fuente: https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/22167/html_24

3.4.4.2 ESTRATIGRAFÍA

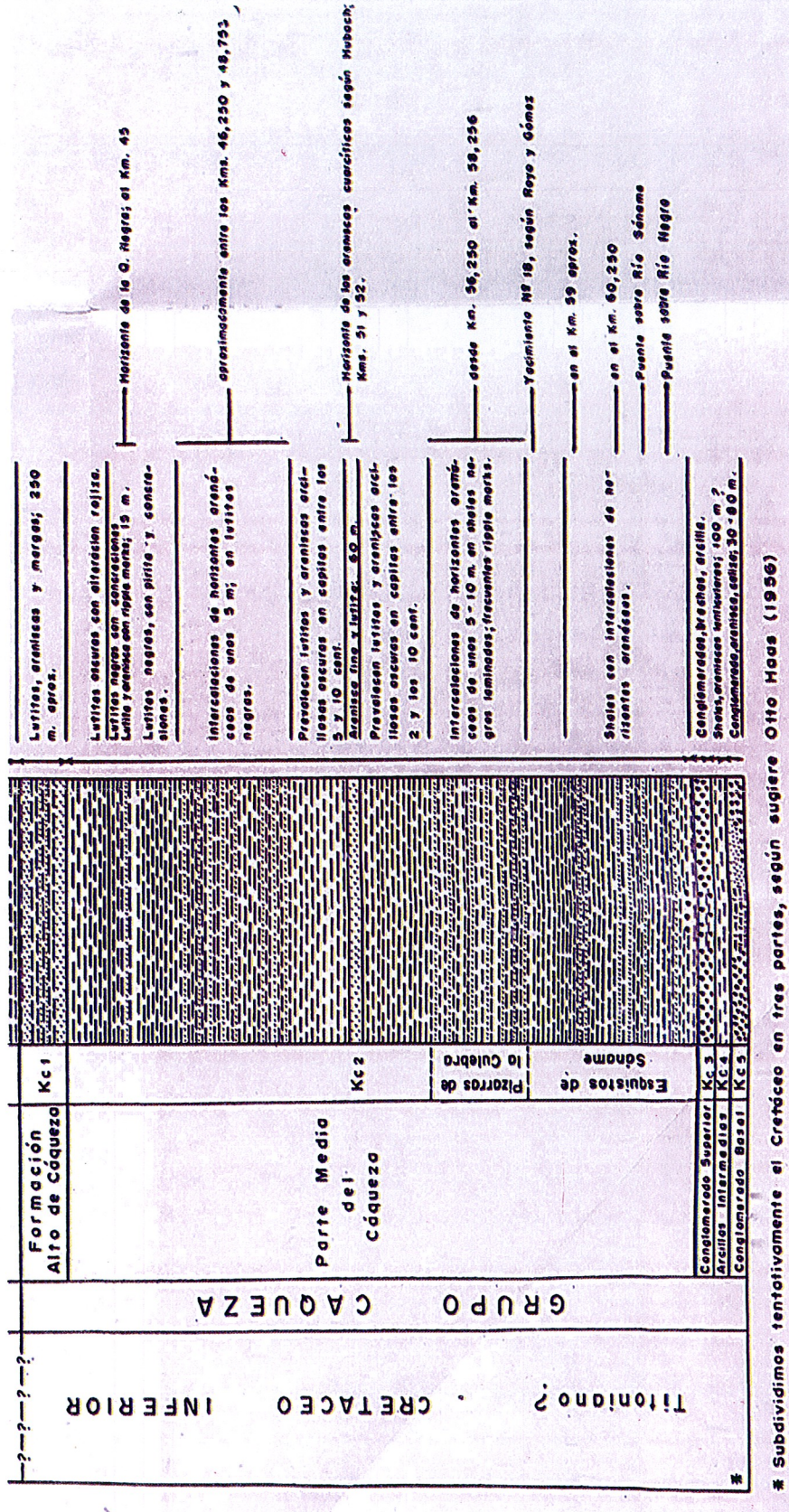


Figura 3-17 Columna Estratigráfica Generalizada del Cretáceo
FUENTE: Giancarlo Renzoni, Geología Del Macizo De Quetame, Bogotá, Diciembre de 1967.

Según la estratigrafía se encontró que la zona de Cáqueza - Puente Quetame; está conformada por lutitas y shales gris oscuros a negros, generalmente arcillosos o arcillo-arenosos y de forma redonda a aplanada.

Localmente aflora estratigrafía horizontal constituida por lutitas o areniscas en diferentes posiciones dentro de la secuencia. Debajo de la Formación Alto de Cáqueza aflora un grueso horizonte de lutitas grises oscuras con alteración rojiza, macizas o en gruesos estratos, cuya parte baja lleva nódulos.

A lo largo del corredor vial se encontraron suelos y aluviones relacionados con la dinámica del Río Negro y sus afluentes, coluviones, algunos flujos y derrubios de ladera, que cubren parcialmente las lutitas y capas delgadas de limolitas y areniscas de la *Formación Cáqueza Inferior (Kc)*.

Las principales unidades litológicas encontradas en el área del proyecto son:

I. ROCAS DEL CRETÁCEO

En los taludes que se encuentran en el trayecto de la vía actual se puede ver roca sedimentaria de color gris oscuro a negro, laminada en capas delgadas, integrada en general por una alternancia de lutitas y areniscas plegadas con un grado alto de fracturamiento, las cuales se asocian, de acuerdo a la literatura de Ingeominas, a la Formación lutitas de Macanal (**K1m**), descritas en la literatura como secuencias espesas de lodolitas grises a shales negros con nódulos ferruginosos intercaladas con areniscas cuarzosas a líticas de grano fino a medio. En el presente trabajo se utiliza la definición de la Formación Cáqueza Inferior (**Kc**).

La resistencia intermedia (arenisca de grano fino) a altas (areniscas de grano medio) y la inclinación de la estratificación inciden probablemente para que no se presenten graves problemas por inestabilidad profunda, restringiéndose ésta a la caída de fragmentos y bloques de roca a partir de las cuñas formadas entre la estratificación y dos familias de diaclasas. La parte intermedia del trayecto tiene taludes altos en roca, infiriéndose, por la geomorfología, que continúa hacia la totalidad de la montaña (ver, Figura 3-18).

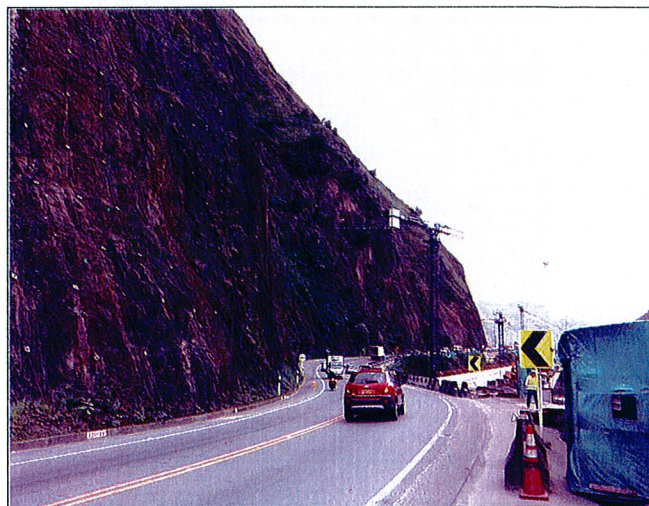


Figura 3-18 Taludes muy altos con pendiente fuerte en el tramo del K38+800 en el sector 1A.

Aquí, la roca presenta cambios, correspondiendo a intercalaciones de arenisca de grano fino con lutitas de resistencia débil en su mayor parte, en capas delgadas que promedian los 30 mm de espesor, presentándose también intercalaciones de areniscas de grano medio, de mayor resistencia, en capas de 0.10 m a 0.15 m, como se puede ver en la. Figura 3-19.



Figura 3-19 Aspecto en detalle de la roca en el talud del K38+800.

En esta parte se pueden observar claramente los plegamientos favoreciendo el desprendimiento de bloques hacia la vía, dando como resultado un talud irregular con problemas de inestabilidad (ver, Figura 3-20).



Figura 3-20 Talud del K38+800, se muestra en línea amarilla discontinua el plegamiento y en línea roja la dirección de los bloques desplazados.

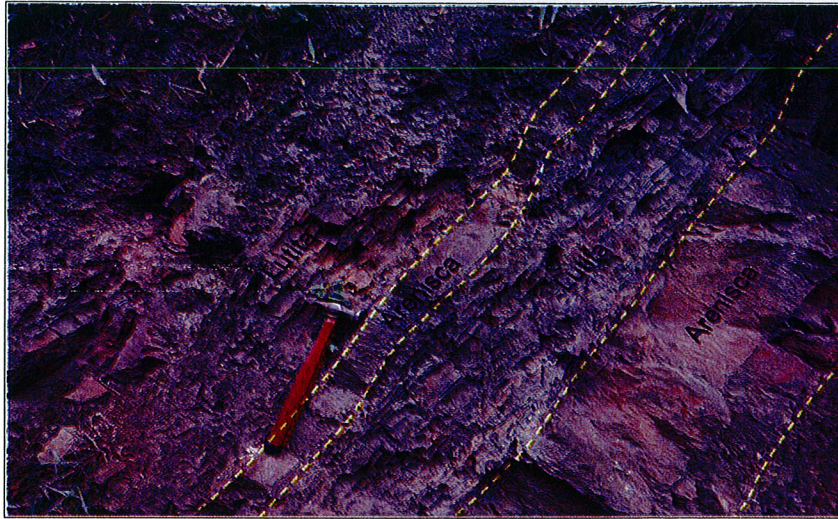


Figura 3-21 Detalle afloramiento en el talud occidental de la vía, coincidiendo aprox. con el K39 + 000

En la Figura 3-21 se aprecia la roca con resistencia débil, de color gris a marrón oscuro, correspondiendo a capas finas de lutita intercaladas con capas más gruesas de arenisca de grano medio. El fracturamiento intenso es absorbido principalmente por la lutita.

3.4.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La cuenca sedimentaria cretácica de la cordillera oriental, producida por subsidencia en una dorsal oceánica Paleozoica, empezó a levantarse en el Mioceno por la colisión de un arco de islas de Panamá con el norte de los Andes, formando un puente norte - sur América y generando un acortamiento de 140 Km. (Kellog & Ojeda, 2005, Figura 3-22). Medidas satelitales muestran que la colisión continúa a una tasa de 2cm/año. El modelo sur de la Cordillera indica 65 Km. de acortamiento del flanco ESTE y un ancho original de 290 km de toda la cuenca.

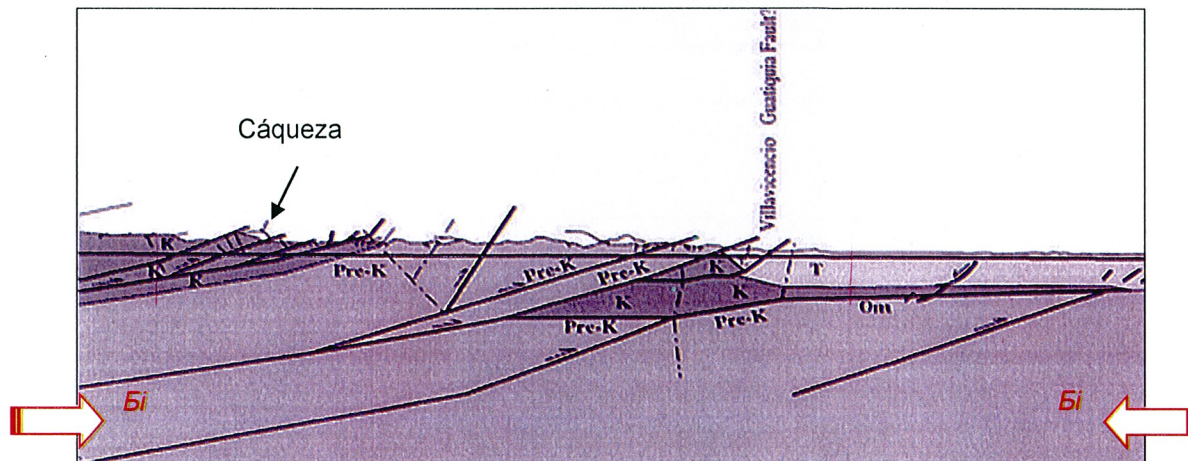


Figura 3-22 Perfil (modif. de Kellog&Ojeda, 2005) Noroeste-Sureste de la corteza, al ESTE de la Cordillera Oriental. T: Terciario.

De la figura anterior se muestra la geología de la zona de estudio, cuyas convenciones hacen referencia a:

- Pre-K: Precretácico,
- K: Cretácico
- Om: Ordovícico Metamórfico

Los efectos de ese acortamiento desarrollaron fallas de cabalgamiento y plegamientos de rumbo noreste (NE) que son las que se aprecian en la vía Bogotá- Villavicencio, las cuales deben transferir su movimiento a otras fallas conectándose en forma de cuñas, para que en profundidad converjan en el núcleo de la cordillera, cuya parte central la conforman las rocas que constituyen el Macizo de Quetame.

3.4.6 HIDROGEOLOGÍA

El área donde se localiza el puente No. 6 es drenada principalmente por el Río Negro y varias quebradas afluentes y de bajo caudal; el sector 1A propuesto en el diseño, transcurre en su totalidad por la margen derecha del Río Negro en cortes medios sobre rocas lutitas y coluviones y aluviones que las cubren parcialmente.

Se distinguen las unidades de la siguiente manera:

3.4.6.1 Unidad hidrogeológica U1

Se distingue por las morfologías planas y de pendiente moderada sobre depósitos aluviales, coluviales y suelos residuales, estas masas de materiales granulares dispuestos en matriz arcillo limo-arenosa poco a nada consolidada, presentan permeabilidades primarias medias a bajas; la saturación de ellas causa presión e inestabilidad en el terreno, pudiéndose generar algunos surcos de erosión y cárcavas en los taludes expuestos y en la banca de la vía.

Dentro de esta zona de la cuenca fluvial, los procesos dominantes son principalmente la deposición y el transporte; el Río Negro con sus afluentes, caracterizan cuencas con pequeños conos aluviales, algunos de tipo torrencial, lo cual puede facilitar las avalanchas en temporadas lluviosas prolongadas; la acumulación y la infiltración de aguas lluvias y de escorrentía han sido favorecidas por coberturas vegetales inapropiadas y por el mal uso del suelo que se hace en la región.

3.4.6.2 Unidad hidrogeológica U2

Se caracteriza por presentar morfologías de lomas de pendientes moderadas, altas y empinadas, las cuales se desarrollan sobre areniscas y lutitas y algunos saprolitos y suelos residuales relacionados con la roca parental. Las areniscas y lutitas de la Formación Cáqueza, que presentan dureza media a medio alta, originalmente son impermeables, pero incrementan su porosidad y por consiguiente su permeabilidad a través de sus fracturas (permeabilidad secundaria). El relieve de esta unidad hidrogeológica es más alto, con pendientes entre 40° y 60°, las condiciones fisiográficas son más complejas, la presencia de laderas con inclinaciones altas y longitudinales superiores a los 300 metros (además de los macizos rocosos altamente fracturados y meteorizados), facilitan que los movimientos de masa sean frecuentes en esta parte de la cuenca del Río Negro.

Dentro de esta zona de la cuenca del río, el proceso dominante es el de producción de agua y sedimentos y el proceso donde se inicia el transporte de los materiales de carga. En el macizo donde se proyecta excavar el Túnel 3A, predomina esta unidad hidrogeológica, en terrenos de mayor pendiente. Consultar mapa anexo de hidrogeología.



Figura 3-23 *Curso del Río Negro*

3.4.1 ESTABILIZACIÓN DEL COLUVIÓN

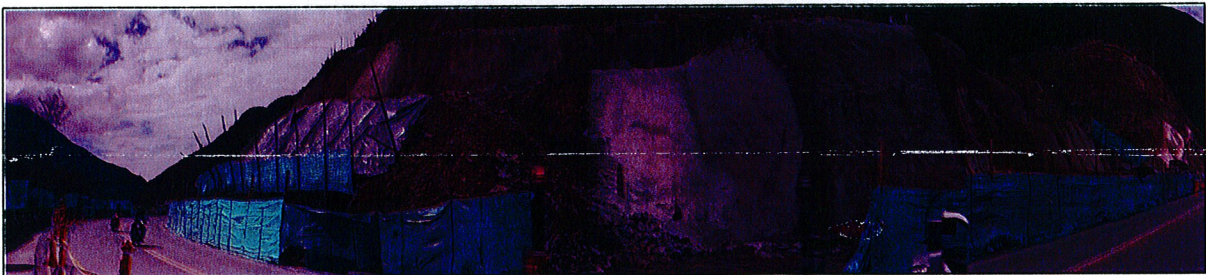


Figura 3-24 Talud sobre la vía, puente No. 6

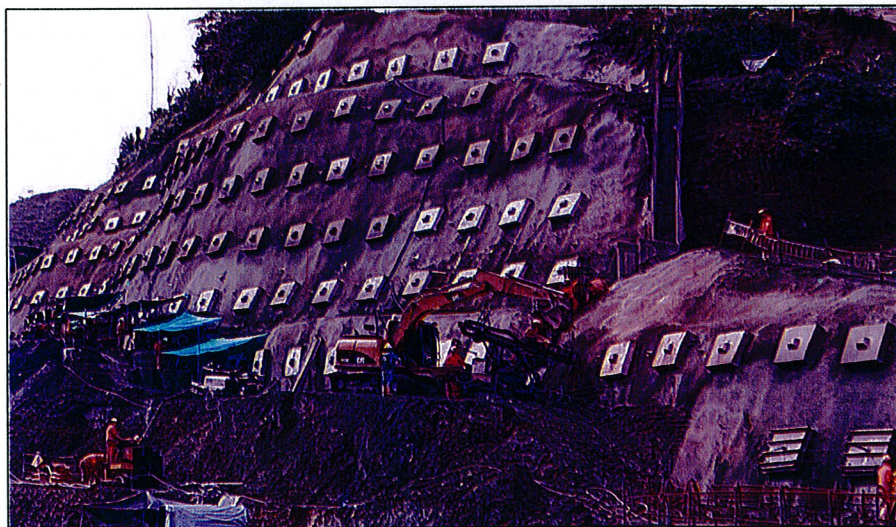


Figura 3-25 Estabilización del talud sobre el puente No. 6

Se hizo un análisis en la seguridad de un talud, siendo un poco inestable, por lo cual se opta por hacer un terraceo, anclajes dinámicos y estabilizar la zona con concreto lanzado; su estabilidad se mejoró a través de la colocación de anclajes de tensión, con lo que el factor de seguridad aumentará. Éstos fueron colocados en forma de retícula, con separaciones que varían de 3 metros.

Los anclajes soportan y protegen una determinada sección de la cara del material, así como su interior, evitando posibles desplazamientos y movimientos del suelo, generando estabilidad en la zona la cual a través del tiempo ha demostrado baja capacidad cortante.

Para los anclajes se usó un diámetro de 0.6", y aproximadamente 5 torones por anclajes con una fuerza de tensionamiento de 10 Ton por torón, tensados en su totalidad, y de acuerdo al terreno donde se realiza el anclaje tuvo una mayor o menor perforación, siendo la mínima longitud de 20 m.

4. METODOLOGÍA

Se realizará una investigación de forma descriptiva, ya que se escogió una zona específica (Puente No. 6 entre Puente Quetame y Caquezá), dentro de la construcción de la doble calzada Bogotá – Villavicencio, creando una base de datos donde se presente una caracterización de las propiedades índice de las unidades de lutitas y los depósitos de suelo presentes en la zona de estudio. Por medio de la exploración del terreno, una serie de ensayos de laboratorio, caracterizando el sector.

Para este trabajo se tendrá presente, que las perforaciones fueron realizadas previamente por EDL. SA, para el diseño de la vía y los Ejes se refieren al material encontrado y analizado en cada punto donde se fundó el caisson.

4.1. TRABAJOS DE CAMPO

Durante los años 2009, 2010, 2012, 2014, 2015, 2016 y 2017, se hicieron reconocimientos de campo con los especialistas de geotecnia, diseño geométrico y geología, para analizar el trazado horizontal y vertical, y verificar los diseños iniciales con respecto a los ejecutados.

El trabajo de campo estuvo centrado en la realización de recorridos en los cuales se estudió la geología regional y de detalle.



Figura 4-1 Inspección de campo a los trabajos de perforación.

En 2014, 2015, 2016 y 2017 se realizaron jornadas de campo para detalle geológico e inspección de perforaciones y realización de registros.

Para determinar las condiciones del subsuelo, se realizaron perforaciones mecánicas en los apoyos de los puentes y en los muros más importantes, llevados a profundidades hasta de 30 m de profundidad. En las perforaciones de los años 2014 y 2015, se realizaron ensayos de penetración estándar para lo cual se empleó una toma de muestra tipo Split-spoon que se hincó mediante la

caída libre de 30" de un martillo de 140 lbs de peso. En los estratós rocosos se tomaron núcleos para determinar el RQD. A partir del año 2016, se tomaron muestras durante las excavaciones de cada uno de los ejes del puente No. 6, se recuperaron muestras alteradas, por lo tanto, se les hizo ensayos de carga puntual, granulometría, entre otros.

4.2. PERFORACIONES

Realizados por EDL. S.A.S. Ingenieros Consultores durante el transcurso del año 2015

En el siguiente cuadro se presenta la localización y profundidad de las perforaciones:

Perforación No	Localización	Profundidad (m)
1	K38+400	25.00
2	K38+468	24.00
4	K38+604	25.00
5	K38+672	25.00
6	K38+740	25.00
6-1	K38+780	25.00
7	K38+808	25.00
8	K38+876	25.00
9	K38+944	25.00
10	K39+012	25.00

Tabla 4-1 Profundidad y localización de perforaciones

En el Anexo 1, se presenta la localización de las perforaciones, en el anexo 2, el registro de perforaciones y en el anexo 3 se presenta el registro fotográfico realizado en campo.

Perforaciones realizadas por el personal de GISAICO S.A., durante el transcurso de los años 2015, 2016 y 2017, se realizaron las excavaciones de las pilas de fundación de las cuales se extrajo material para hacer el análisis de las propiedades del suelo allí presentes, en la Tabla 4-2 Exploración en el terreno se presenta la ubicación y profundidad de exploración.

LOCALIZACIÓN	PROFUNDIDAD DISEÑO (m)	PROFUNDIDAD EXCAVADA (m)	DIFERENCIA
Eje 1, K38+402 Izquierdo	8.00	8.00	0,00
Eje 1, K38+402 Centro	8.00	8.00	0,00
Eje 1, K38+402 Derecho	8.00	8.00	0,00
Eje 2, K38+437 Central	10.00	10.10	0,10
Eje 3, K38+471 Central	8.00	10.60	2,60
Eje 4, K38+505 Central	8.00	9.00	1,00
Eje 5, K38+539 Central	8.00	8.65	0,65
Eje 6, K38+573 Central	8.00	8.97	0,97
Eje 7, K38+607 Central	8.00	10.80	2,80
Eje 8, K38+642 Central	9.00	12.20	3,20
Eje 9, K38+676 Derecho	9.00	10.65	1,65
Eje 9, K38+676 Izquierdo	9.00	10.90	1,90

**Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocosó Punte Quebrada Oro Perdido**

Eje 10, K38+710 Derecho	10.00	14.14	4,14
Eje 10, K38+710 Izquierdo	10.00	10.65	0,65
Eje 11, K38+744 Derecho	10.00	10.65	0,65
Eje 11, K38+744 Izquierdo	10.00	10.65	0,65
Eje 12, K38+778 Derecho	11.00	10.65	-0,35
Eje 12, K38+778 Izquierdo	11.00	15.15	4,15
Eje 13, K38+811 Derecho	11.00	18.50	7,50
Eje 13, K38+811 Izquierdo	11.00	16.65	5,65
Eje 14, K38+846 Central	13.00	10.10	-2,90
Eje 15, K38+880 Central	18.00	21.10	3,10
Eje 16, K38+914 Central	14.00	23.00	9,00
Eje 17, K38+948 Central	18.00	21.10	3,10
Eje 18, K38+983 Central	16.00	19.50	3,50
Eje 19, K39+017 Central	15.00	19.00	4,00
Eje 19, K39+017 Izquierdo	15.00	16.00	1,00

Tabla 4-2 Exploración en el terreno

De acuerdo con el material encontrado en el terreno durante cada perforación, se realizó un análisis visual, caracterizándolo por su textura, fracturamiento, desleimiento, color y otras características físicas, allí vistas.

UBICACIÓN	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN VISUAL
Eje 1, K38+402	0.00 – 3.20 m	Limo de plasticidad baja, consistencia blanda, con gravas gruesas a finas algo laminar.
	3.20 – 8.00 m	Lutitas de consistencia muy dura, algo laminar con planos de fractura lisos, vetas de óxido.
Eje 2, K38+437	0.00 – 2.50 m	Limo de color gris de baja plasticidad, consistencia blanda y gravas gruesas en estado suelto.
	2.50 – 10.10 m	Lutitas y areniscas de consistencia dura, con planos de fractura lisos, con bloques angulosos
Eje 3, K38+471	0.00 – 8.00 m	Areniscas y lutitas color marrón con discontinuidades altas y rocas alto grado de meteorización
	8.00 – 10.60 m	Bloques de areniscas color marrón, de consistencia dura
Eje 4, K38+505	0.00 – 9.00 m	Lutitas y areniscas de consistencia dura, color gris claro y marrón
Eje 5, K38+539	0.00 - 8.65 m	Lutitas y areniscas con planos de fractura lisos, en su mayoría bloques angulosos
Eje 6, K38+573	0.00 - 8.97 m	Limolitas de consistencia muy dura, con planos de fractura lisos, en su mayoría bloques angulosos
Eje 7, K38+607	0.00 - 8.00 m	Lutitas color marrón con discontinuidades altas y suelo meteorizado
	8.00 - 10.80 m	Lutitas y limolitas de consistencia muy dura, con planos de fractura lisos
Eje 8,	0.00 - 8.00 m	Lutitas y areniscas de consistencia muy dura, con planos de fractura lisos

**Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocosó Puente Quebrada Oro Perdido**

K38+642	8.00 - 12.20 m	Bloques de areniscas y lutitas y vetas de limo con algo de plasticidad
Eje 9, K38+676	0.00 – 1.00 m	Limo con plasticidad gris claro, de consistencia blanda con incrustaciones de gravas
	2.00 – 10.65 m	Limolita y areniscas color gris oscuro y habano de consistencia dura
	10.65– 10.90 m	Bloques de areniscas color marrón con una meteorización moderada
Eje 10, K38+710	0.00 – 3.00 m	Limo de plasticidad baja
	3.00 – 13.86 m	Lutita y areniscas color gris oscuro y habano de consistencia dura
Eje 11, K38+744	0.00 - 4.50 m	Limo de plasticidad baja, color gris claro, blanda e incrustaciones de gravas ocasionales y trazas de arena en estado suelto.
	4.50 – 13.15 m	Bloques de areniscas y lutitas de forma angular con meteorización moderada,
Eje 12, K38+778	0.00 – 6.00 m	Limo con algo de plasticidad, color gris claro, de consistencia blanda e incrustaciones de gravas
	6.00 – 15.15 m	Bloques de areniscas y lutitas de forma angular con meteorización moderada
Eje 13, K38+811	0.00 – 5.40 m	Limo con algo de plasticidad, color gris claro, de consistencia blanda con gravas
	5.40 – 16.50 m	Bloques de areniscas color marrón, lutitas color habano de consistencia dura
Eje 14, K38+846	0.00 – 3.60 m	Arena de grano fino y limo con algo de plasticidad
	3.60 – 10.10 m	Lutitas y areniscas color gris oscuro y habano de consistencia dura, algo laminar con oxido, en su gran mayoría se presentan bloques angulosos
Eje 15, K38+880	0.00 – 3.20 m	Arena de grano fino y limo con algo de plasticidad, color gris claro con gravas
	3.20 – 18.00 m	Bloques de areniscas y lutitas y limo. Con plasticidad
Eje 16, K38+914	0.00 – 3.20 m	Arena de grano fino y limo con algo de plasticidad, color gris claro, de consistencia blanda e incrustaciones de gravas, saturado.
	3.20 – 23.00 m	Limo de plasticidad media de consistencia blanda, arena de grano fino con gravas
Eje 17, K38+948	0.00 – 6.80 m	Arena de grano fino y limo con algo de plasticidad, color gris claro
	6.80 – 21.10 m	Lutitas y areniscas color gris oscuro y habano, con oxido, bloques angulosos homogéneos
Eje 18, K38+983	0.00 – 3.20 m	Arena de grano fino a medio y limo con algo de plasticidad
	3.20 – 16.20 m	Areniscas de consistencia dura, en bloques angulosos y gravas
	16.20 – 19.50 m	Areniscas en bloques angulosos, de consistencia muy dura.
Eje 19, K39+017	0.00 - 7.40 m	Limos arcillosos con algo de plasticidad
	9,20 - 13.20 m	Bloques de lutita consolidada de color gris oscuro, con vetas de oxido
	13.20 - 15.10 m	Lutita de color gris de alta resistencia con betas rojizas.
	15.10 - 16.00m	Bloque de lutita de color gris de alta resistencia betas rojizas.

Tabla 4-3 Descripción visual en cada uno de los ejes, material excavado.

4.3. ENSAYOS DE LABORATORIO

Las pruebas se adelantan siguiendo la siguiente normatividad:

Ensayo	Norma del ensayo
Granulometría por tamizado	INV E-123- 13
Límite líquido	INV E-125-13
Límite plástico	INV E-126-13
Compresión simple en roca	INV E-156-13
Carga puntual	ASTM D 5731

Tabla 4-4 Normatividad de ensayos realizados

El detalle de los ensayos de laboratorio se incluye en el Anexo 4.

4.3.1 CLASIFICACIÓN DEL SUBSUELO

4.3.1.1 Granulometría y límites

De acuerdo con el material obtenido en campo en cada uno de los ejes, según la calidad de las muestras en cada uno de los ejes, se realizaron ensayos para obtener las propiedades físicas (ensayos realizados por Bateman Ingeniería S.A.), y la información obtenida para las perforaciones iniciales, se relaciona en la Tabla 4-5.

UBICACIÓN		MUESTRA			GRANULOMETRÍA				Clasificación	PLASTICIDAD			Wn (%)	CLAS. U.S.C.
					% PASA TAMIZ					LL (%)	LP (%)	IP (%)		
		No.	PROF. (m)		No. 4	No. 10	No. 40	No.200						
EJE 1	K38+402	1	7.50	7.80	59	53	48	41	Arena Gruesa con finos	28.0	15.0	13.0	10	Grava arcillosa
EJE 2	K38+437	1	7.00	7.10	90	87	76	61	Arena Gruesa con finos	29.0	19.0	10.0	12	Grava arcillosa
EJE 8	K38+642	1	10.50	10.70	58	48	34	26	Arena Media con finos	23	15	8	7.0	Arena arcillosa
SONDEO 7	K38+808	4	2.50	3.00	71	55	38	26.6	Arena Media con finos	31.0	20.0	11.0	6.3	Arena arcillosa
EJE 13	K38+811	1	5.00	5.10	40	31	20	14.4	Arena Gruesa	27.0	18.0	9.0	8.0	Grava arcillosa
SONDEO 8	K38+876	12	13.00	14.00	99	98	49	0.0	Arena Gruesa	NL	NP	NP	29.1	Arena con grava
EJE 15	K38+880	1	17.00	17.10	59	53	48	41	Arena Gruesa con finos	29	19	10	10	Grava arcillosa
SONDEO 10	K39+012	5	6	7	70	54	34	23.5	Arena Gruesa con finos	24.0	17.0	7.0	17.6	Arena arcillosa

Tabla 4-5 Tabla Granulometría, límites y humedad

El material encontrado entorno de las lutitas y areniscas, fue clasificado granulométricamente, siendo la arena gruesa y la arcilla los elementos que predominan la zona.

4.3.1.2 Clasificación UCSC

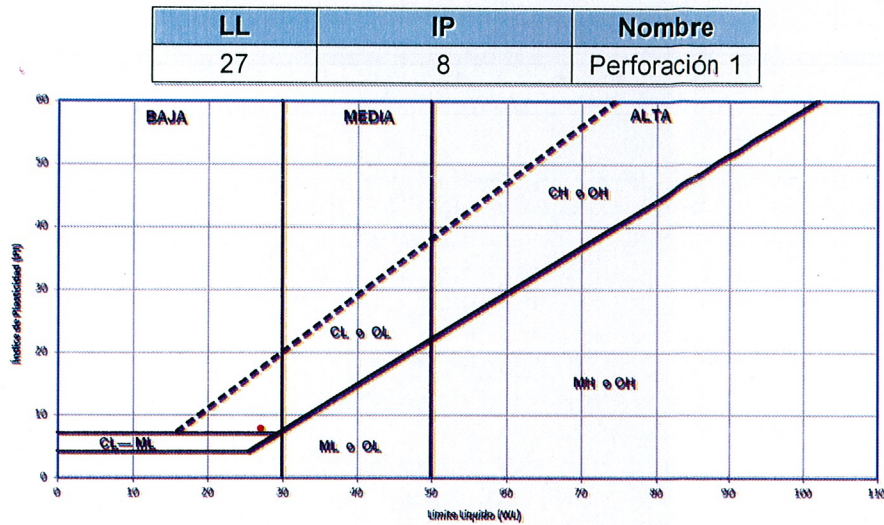


Figura 4-2 Carta de Plasticidad Perforación 1

Como se observa en la figura anterior, el depósito de suelo encontrado en la exploración del subsuelo en la perforación No. 1 se encuentra en la carta de plasticidad en la zona de suelos de clasificación CL o OL, por lo cual se caracteriza por ser un Limo de muy baja plasticidad.

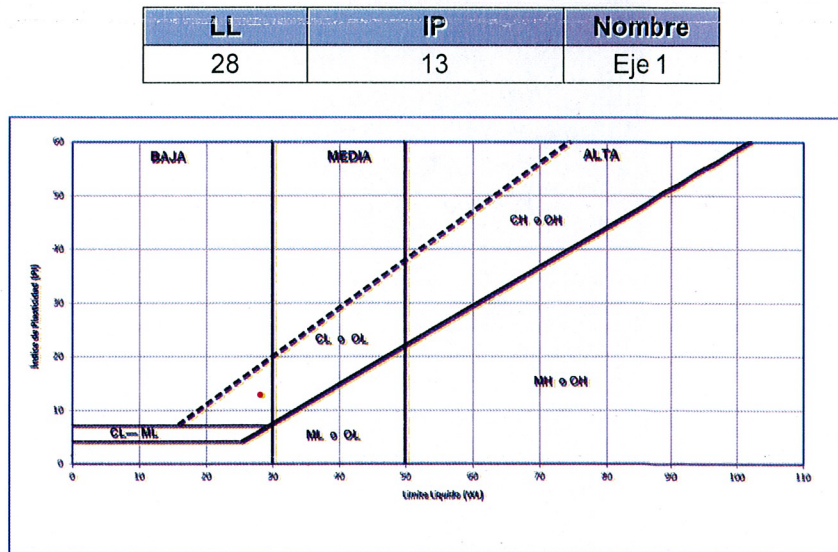


Figura 4-3 Carta de Plasticidad Eje 1

Como se observa en la figura anterior, el depósito de suelo encontrado en la exploración del subsuelo en el Eje No. 1 se encuentra en la carta de plasticidad en la zona de suelos de clasificación CL o OL, por lo cual se caracteriza por ser un Limo de baja plasticidad.

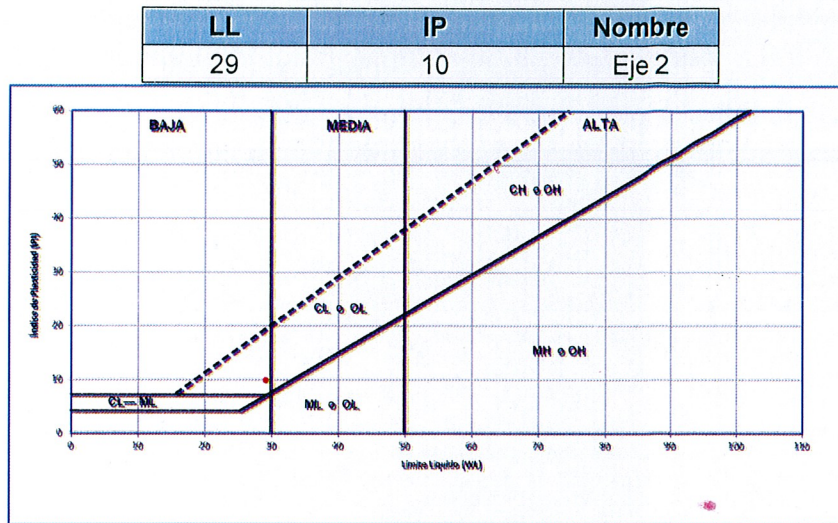


Figura 4-4 Carta de Plasticidad Eje 2

Como se observa en la figura anterior, el depósito de suelo encontrado en la exploración del subsuelo en el Eje No. 2 se encuentra en la carta de plasticidad en la zona de suelos de clasificación CL o OL, por lo cual se caracteriza por ser un Limo arcilloso de muy baja plasticidad.

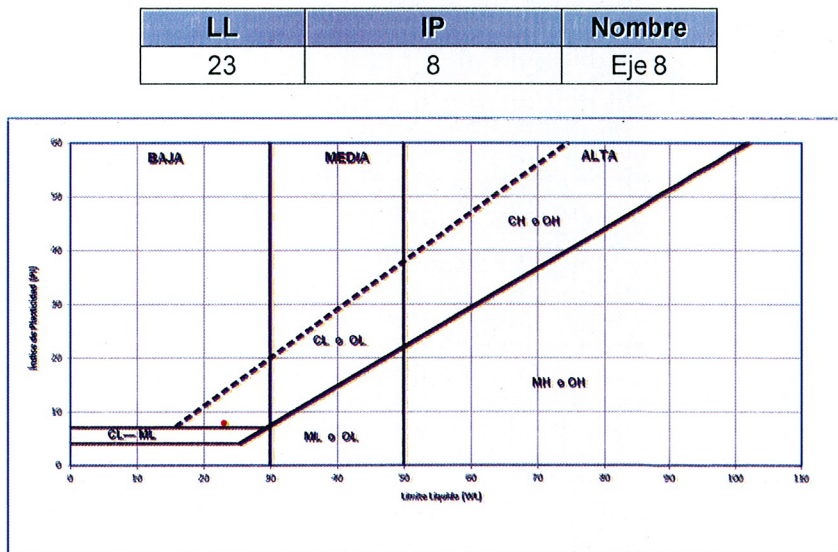


Figura 4-5 Carta de Plasticidad Eje 8

Como se observa en la figura anterior, el depósito de suelo encontrado en la exploración del subsuelo en el Eje No. 8 se encuentra en la carta de plasticidad en la zona de suelos de clasificación entre CL o OL – ML o OL, por lo cual se caracteriza por ser una arcilla de baja plasticidad, en límite con arenas muy finas.

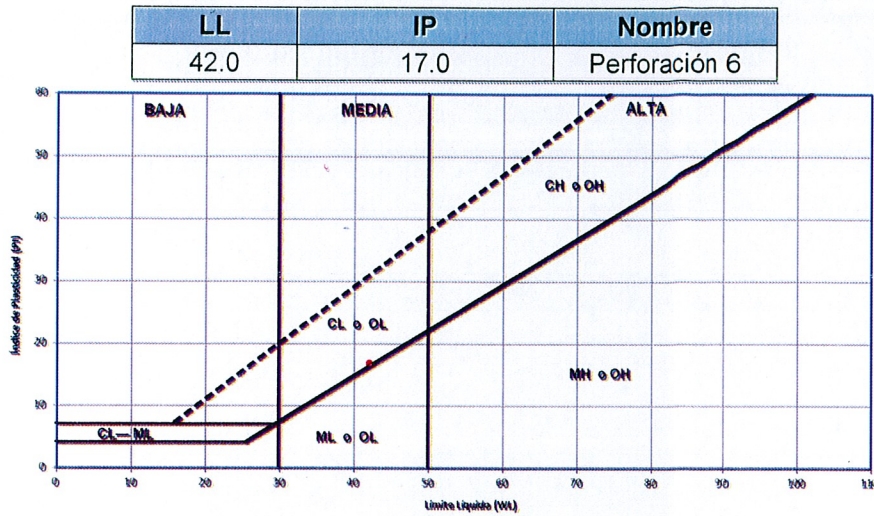


Figura 4-6 Carta de Plasticidad Perforación 6

Como se observa en la figura anterior, el depósito de suelo encontrado en la exploración del subsuelo en la perforación No. 6 se encuentra en la carta de plasticidad en la zona de suelos de clasificación en el límite del CL o OL – ML o OL, por lo cual, se caracteriza por ser una arcilla de baja plasticidad, en límite con arenas muy finas.

LL	IP	Nombre
29.0	11.0	Perforación 7
30.0	10.0	Perforación 7
31.0	11.0	Perforación 7

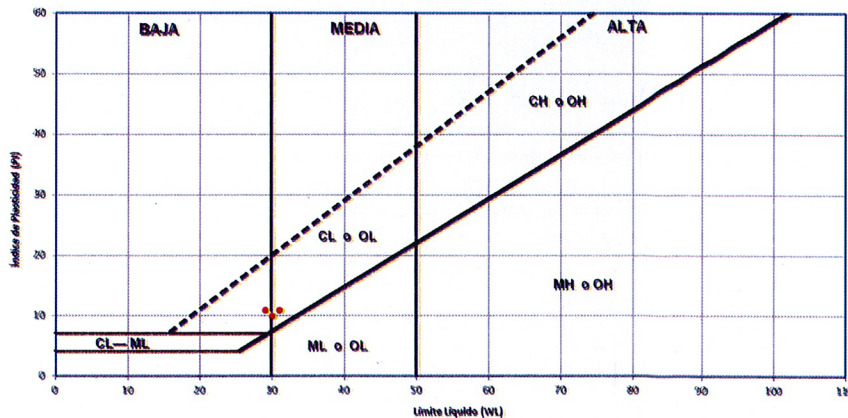


Figura 4-7 Carta de Plasticidad Perforación 7

Como se observa en la figura anterior, el depósito de suelo encontrado en la exploración del subsuelo en la perforación No. 7 se encuentra en la carta de plasticidad en la zona de suelos de clasificación CL o OL, por lo cual se caracteriza por ser un Limo arcilloso de muy baja plasticidad.

LL	IP	Nombre
27	9	Eje 13

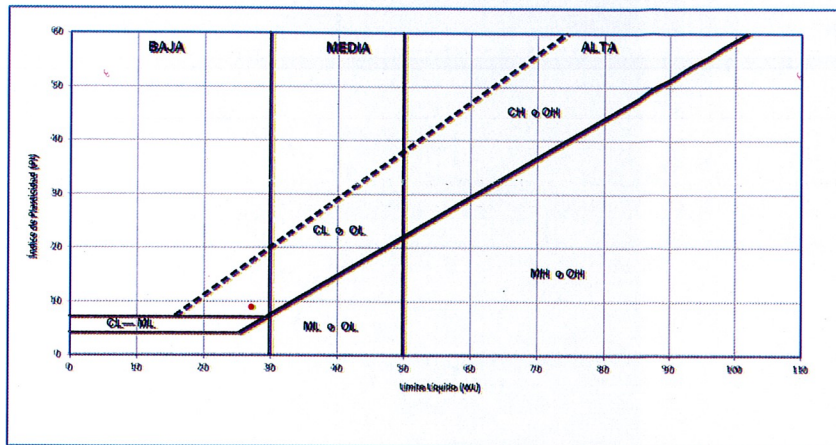


Figura 4-8 Carta de Plasticidad Eje 13

Como se observa en la figura anterior, el depósito de suelo encontrado en la exploración del subsuelo en el Eje No. 13 se encuentra en la carta de plasticidad en la zona de suelos de clasificación CL o OL, por lo cual se caracteriza por ser un Limo arcilloso de muy baja plasticidad.

LL	IP	Nombre
35.0	15.0	Perforación 8
42.0	20.0	Perforación 8
NL	NP	Perforación 8

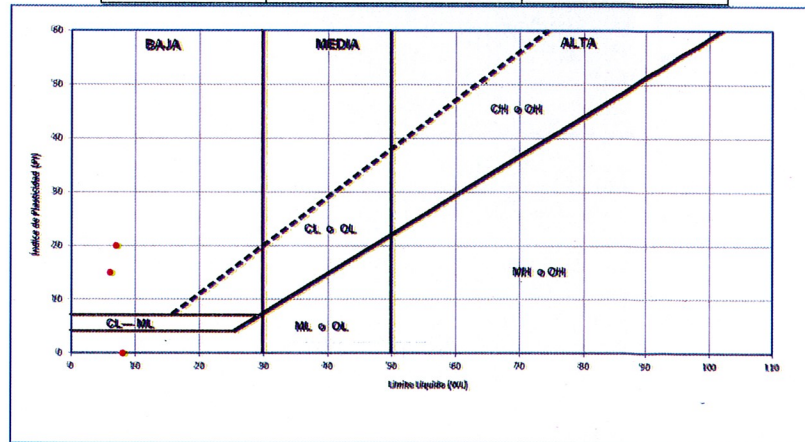


Figura 4-9 Carta de Plasticidad Perforación 8

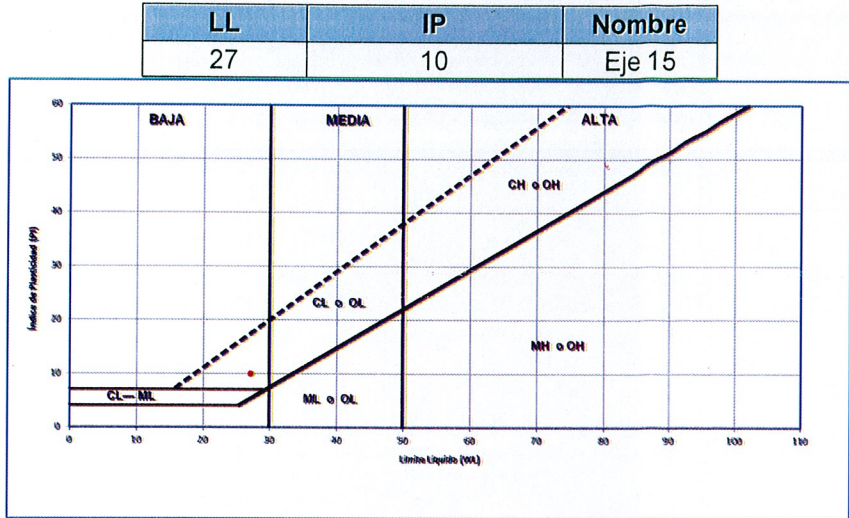


Figura 4-10 Carta de Plasticidad Eje 15

Como se observa en la figura anterior, el depósito de suelo encontrado en la exploración del subsuelo en el Eje No. 13 se encuentra en la carta de plasticidad en la zona de suelos de clasificación CL o OL, por lo cual se caracteriza por ser un Limo arcilloso de muy baja plasticidad

LL	IP	Nombre
22	1	Perforación 9
37	16	Perforación 9

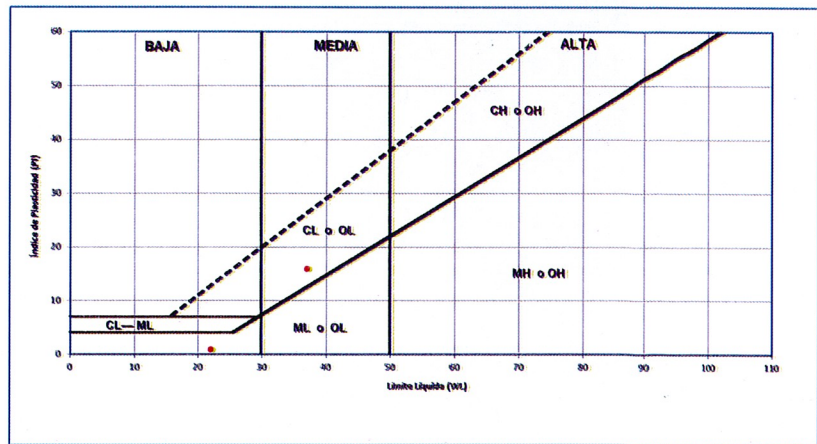


Figura 4-11 Carta de Plasticidad Perforación 9

Como se observa en la figura anterior, el depósito de suelo encontrado en la exploración del subsuelo en la perforación No. 9 se encuentra en la carta de plasticidad en la zona de suelos de clasificación CL o OL, por lo cual se caracteriza por ser un Limo de muy baja plasticidad.

LL	IP	Nombre
24	7	Perforación 10

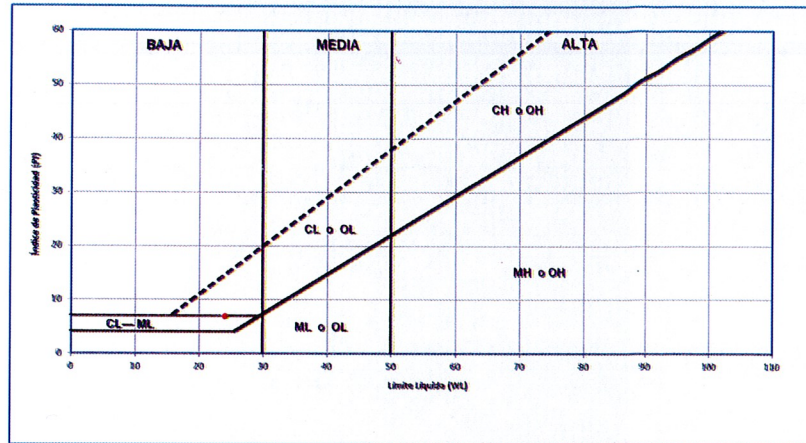


Figura 4-12 Carta de Plasticidad Perforación 10

Como se observa en la figura anterior, el depósito de suelo encontrado en la exploración del subsuelo en la perforación 1 se encuentra en la carta de plasticidad en la zona de suelos de clasificación se encuentra en intermedio de CL o OL y CL o ML, por lo cual se caracteriza por ser un Limo arcilloso de muy baja plasticidad.

El resumen de la información anterior se obtiene la Tabla 4-6

UBICACIÓN	LL	IP	CLASIFICACIÓN
Sondeo 1	27	8	CL o OL, Limo de muy baja plasticidad
Eje 1	28	13	CL o OL, Limo de muy baja plasticidad
Eje 2	29	10	CL o OL, Limo arcilloso de muy baja plasticidad.
Eje 8	23	8	CL o OL – ML o OL, arcilla de baja plasticidad, en límite con arenas muy finas
Sondeo 6	42	17	CL o OL – ML o OL, arcilla de baja plasticidad, en límite con arenas muy finas
Sondeo 7	29	11	CL o OL, Limo arcilloso de muy baja plasticidad.
	30	10	
	31	11	
Eje 13	27	9	CL o OL, Limo arcilloso de muy baja plasticidad.
Eje 15	27	10	CL o OL, Limo arcilloso de muy baja plasticidad
Sondeo 9	37	16	CL o OL, Limo de muy baja plasticidad.
Sondeo 10	24	7	CL o OL y CL o ML, Limo arcilloso de muy baja plasticidad.

Tabla 4-6 Clasificación según el Índice de plasticidad

Vanegas (1985), identificó los materiales de acuerdo con el límite líquido y al índice de plasticidad generando la siguiente clasificación

TIPO DE MATERIAL	NOMBRES PREDOMINANTES	L.L.	L.P.
Roca	Shale lodoso Shale calcáreo Limonita	< 26 (23)	< 6 (5)
Intermedia	Lodolita Shale lodoso Shale arcilloso	26 - 28 (23)	6 - 10 (5)
Suelo	Arcillolita Shale arcilloso	< 28 (27)	< 10 (8)

Tabla 4-7 Síntesis de las lutitas

Fuente: Vanegas óp. Cit, 1985

De acuerdo con las tablas Tabla 4-6 y Tabla 4-7, se obtiene la siguiente clasificación:

UBICACIÓN	LL	IP	TIPO DE MATERIAL
Sondeo 1	27	8	Intermedio
Eje 1	28	13	Suelo
Eje 2	29	10	Suelo
Eje 8	23	8	Roca
Sondeo 6	42.0	17.0	Suelo
Sondeo 7	29.0	11.0	Suelo
	30.0	10.0	
	31.0	11.0	
Eje 13	27	9	Intermedio
Eje 15	27	10	Intermedio
Sondeo 9	37	16	Suelo
Sondeo 10	24	7	Roca

Tabla 4-8 Clasificación según la síntesis de las lutitas

De acuerdo con el material que se encuentra alrededor de la roca encontrada en el terreno, se presentan partículas de suelo, entre limo y arcilla de baja plasticidad, lo cual genera inestabilidad en los primeros metros de profundidad; a mayor profundidad menor cantidad de suelo presente entre la roca encontrada, obteniéndose un macizo cada vez más consistente.

4.3.1.1 Carga Puntual

Una medida indirecta de la resistencia a la compresión de las rocas se obtiene mediante el ensayo de la carga puntual, este ensayo tiene la ventaja que la muestra puede presentar cualquier forma y condición de alteración, siempre y cuando se siga comportando como roca y no como suelo. De acuerdo con la clasificación del Índice RMR de Bieniawski, se obtiene la siguiente clasificación de la carga puntual.

Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocosó Puente Quebrada Oro Perdido

UBICACIÓN		MUESTRA		Is	Resistencia a la compresión Uniaxial	Clasificación
		No.	PROF. (m)	Mpa	Mpa	
Perforación 1	K38+400	6	10.0-11.50	0,71		
EJE 2	K38+437	1	10,0	0,80	22,21	Roca Dura
EJE 3	K38+471	1	10,6	1,18	31,04	Roca Dura
EJE 4	K38+505	1	9,0	1,03	27,96	Roca Dura
EJE 5	K38+539	1	8,7	1,36	37,32	Roca Dura
EJE 6	K38+573	1	9,0	0,92	25,64	Roca Dura
EJE 7	K38+607	1	10,8	1,27	34,68	Roca Dura
EJE 8	K38+642	1	11,8	1,79	45,99	Roca Muy Dura
EJE 9	K38+676	1	9,0	1,20	31,81	Roca Dura
Perforación 5	K38+672	11	16.0-19.0	4,75		
EJE 10	K38+710	1	10,7	1,01	26,23	Roca Dura
Perforación 6	K38+740	14	17.0-20.0	1.45		
EJE 11	K38+744	1	10,7	1,03	28,10	Roca Dura
EJE 12	K38+778	1	11,2	1,43	36,37	Roca Dura
Perforación 7	K38+808	7	19.0-20.5	0,81		
EJE 13	K38+811	1	15,5	1,32	46,57	Roca Muy Dura
EJE 14	K38+846	1	10,1	1,64	27,28	Roca Dura
EJE 15	K38+880	1	21,0	0,90	28,10	Roca Dura
EJE 16	K38+914	1	23,0	1,03	16,56	Roca Mod Blanda
Perforación 9	K38+944	1	12.0-13.0	1,97		
EJE 17	K38+948	1	21,0	0,78	23,73	Roca Dura
EJE 18	K38+983	1	19,0	1,17	33,97	Roca Dura

Tabla 4-9 Valores del índice de resistencia de carga puntual y su clasificación



Gráfica 4-1 Índice de resistencia de carga puntual en el corredor vial

Se presenta un promedio de 0.70 Mpa a 1.90 Mpa, presentándose en la perforación 5, un valor inconsistente, este será visualizado igualmente en la resistencia a la compresión, se tiene como

hipótesis que el material encontrado pudo tener alteraciones en su manipulación, se estipuló que este dato será obsoleto, para análisis de la información.

4.3.1.2 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del material se determina tal como es extraído del macizo rocoso, operación que presenta dificultad debido a la degradabilidad de las rocas.

La dureza de la roca se puede clasificar de acuerdo con los intervalos de resistencia a la compresión simple, dado por RMR de Bieniawski.

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)
Extremadamente dura	>250
Muy dura	100 - 250
Dura	50 - 100
Moderadamente dura	25 - 50
Blanda	5 - 25
Muy blanda	1 - 5
	< 1

Tabla 4-10 clasificación de la resistencia a la compresión por RMR de Bieniawski

Ubicación		Profundidad	Resistencia a la compresión, fc (Mpa)	Clasificación
Sondeo 1	K38+400	4.00 m- 12.00 m	48,2	Roca Moderadamente Dura
		12.00 m- 25.00 m	2,7	Roca Blanda
Sondeo 4	K38+604	10.00 m -16.00m	48,1	Roca Moderadamente Dura
		16.00 m - 20.00	6,5	Roca Blanda
Eje 8	K38+642	8.00 m - 10.00 m	3,5	Roca Blanda
Sondeo 5	K38+672	0.00 m -25.00 m	69,6	Roca Dura
Eje 9	K38+676	2.00 m -9.00 m	4,2	Roca Blanda
Eje 10	K38+710	10.00 m - 14.15 m	32,4	Roca Moderadamente Dura
Sondeo 6	K38+740	2.50 m - 11.00 m	16,3	Roca Media
		11.00 m - 25.00 m	3,6	Roca Blanda
Eje 11	K38+744	3.00 m - 13.86 m	27,7	Roca Moderadamente Dura
Eje 12	K38+778	6.00 m - 15.15 m	42,3	Roca Moderadamente Dura
Eje 13	K38+811	4.65 m - 18.50 m	37,8	Roca Moderadamente Dura
Eje 14	K38+846	3.60 m - 10.10 m	36,5	Roca Moderadamente Dura
Eje 15	K38+880	17.80 m - 21.10 m	44,1	Roca Moderadamente Dura

Tabla 4-11 Clasificación de la resistencia a la compresión

La zona está gobernada según la clasificación de Bieniawski por rocas moderadamente duras

4.4. GEOFÍSICA

La exploración realizada tuvo como fin obtener información básica del subsuelo tal como profundidades de roca, espesor y forma del contacto entre capas y continuidad o discontinuidad del modelo interpretativo, así como la obtención de parámetros sísmicos básicos tales como las velocidades compresionales y de corte de cada capa. Realizada por Ulloa & Diez Ltda.

La exploración geofísica, consiste en un perfil de refracción sísmica donde se realizaron también ensayos MASW CONTINUO para medición de ondas de corte. En la Figura 4-2 se puede observar la ubicación geográfica de las líneas de refracción.

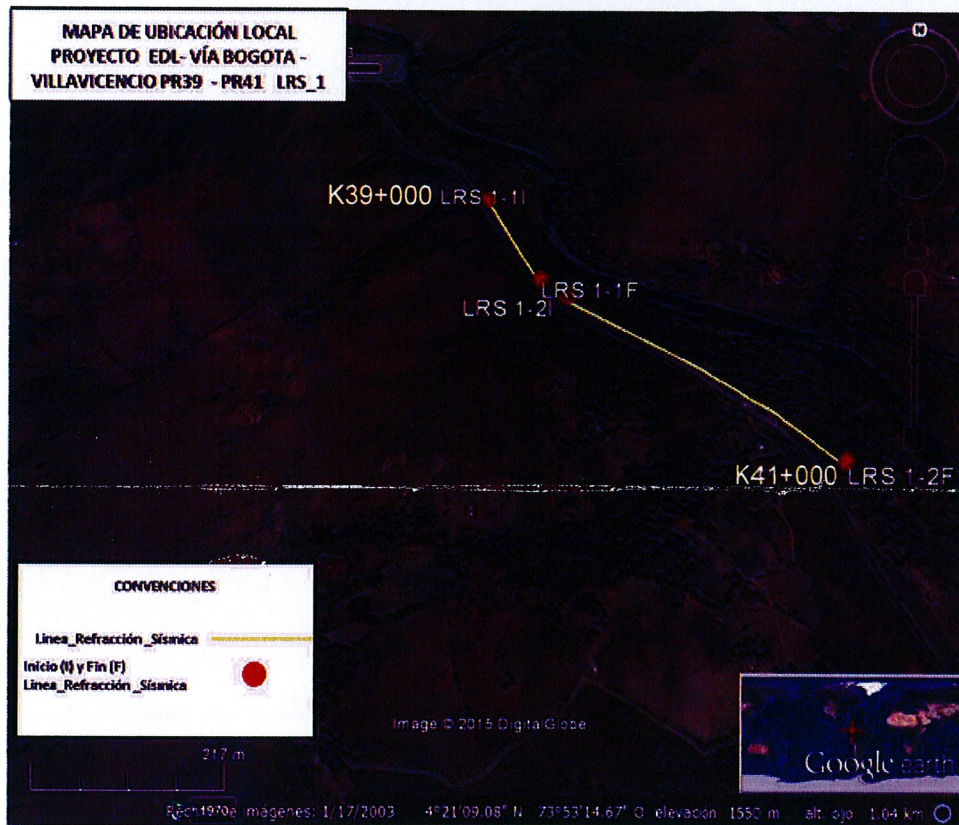


Figura 4-13 Ubicación LRS 1-1

Fuente: imagen tomada de Google Earth.

Referencia Informe	INICIO SECCIÓN		FIN SECCIÓN		Longitud investigada (m)
	E	N	E	N	
LÍNEA_SÍSMICA_LRS_1-1	1021081,465	973428,3155	1021165,993	973280,898	170

Tabla 4-12 Tramo secciones línea sísmica



Figura 4-14 Trazado LRS 1-1.

Se realizó la exploración en dos trazos, uno denominado LRS 1-1 de 170 metros.

La tomografía muestra iso-velocidades de diferente valor, las cuales están representadas por colores que indican un respectivo rango de velocidad. De colores magenta, rojo y naranja entre 184 m/s y 593 m/s, la cual presenta heterogeneidad horizontal en el espesor a largo de la línea de 1398 msnm a 1393 msnm, que corresponden a suelos de matriz arcillo limosa con fragmentos de lutitas. El segundo conjunto de velocidades de colores amarillo y verde y azules entre los 674 m/s y 1247 m/s, presenta heterogeneidad horizontal entre 1394 msnm a 1380 msnm, y corresponde a lutitas con fracturamiento y deformación, se presenta una anomalía de morfología lenticular ondulada, entre la abscisa 82 y 153, donde las velocidades aumentan principalmente, que se asocian a una roca más conservada que ha sufrido menos alteración. El tercero y último conjunto de tonos verdes y azules por debajo de los 1383 msnm, presenta homogeneidad, y corresponde a lutitas y algunas areniscas de grano fino fracturadas y deformadas.

Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocosó Punte Quebrada Oro Perdido

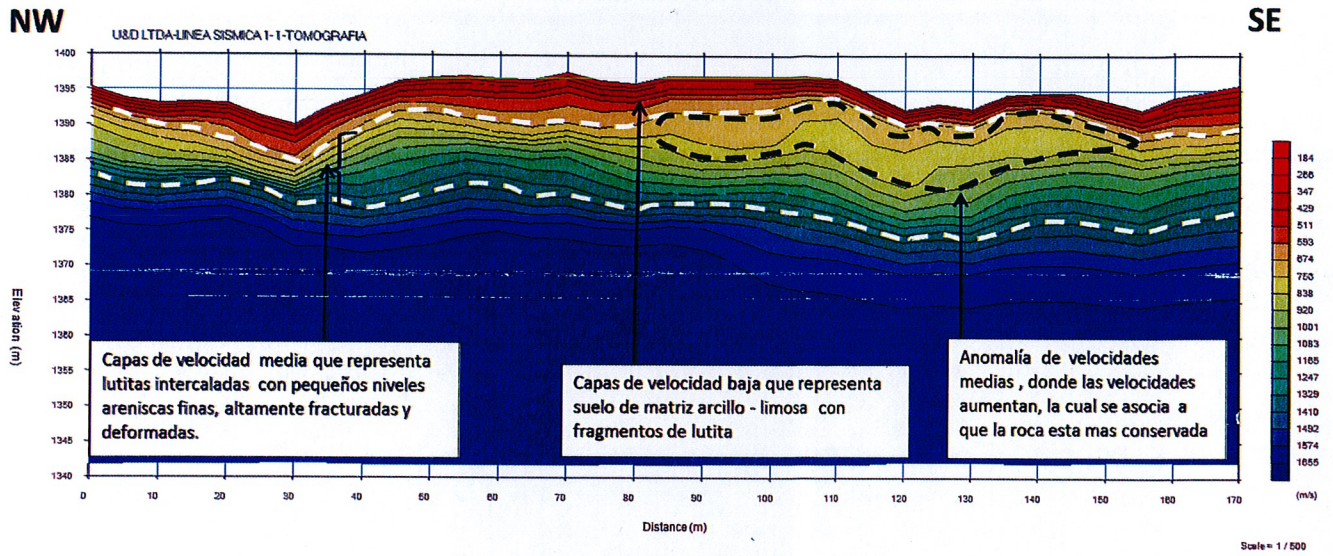


Figura 4-15 Gráfica de la tomografía sísmica de la sección LRS_1-1.

Fuente. Informe de exploración geofísica Proyecto EDL – ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.

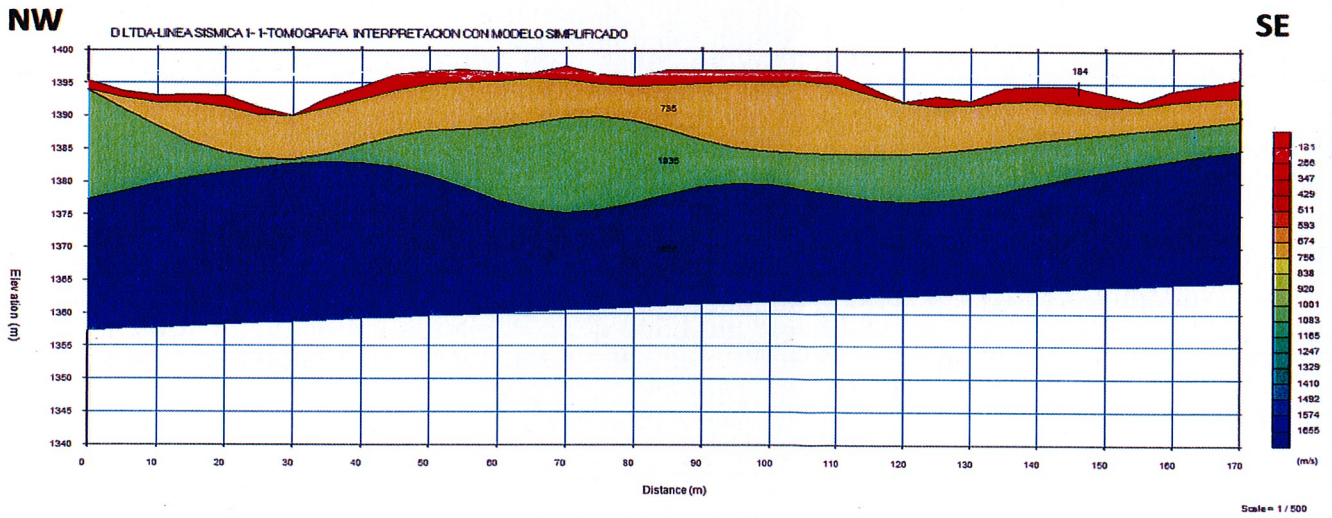


Figura 4-16 Gráfica del modelo simplificado de la sección LRS_1-1.

Fuente. Informe de exploración geofísica Proyecto EDL – ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.

PERFIL DE ONDA DE CORTE LÍNEA SÍSMICA LRS 1-1

(Distancia horizontal de 0 m a 115 m)

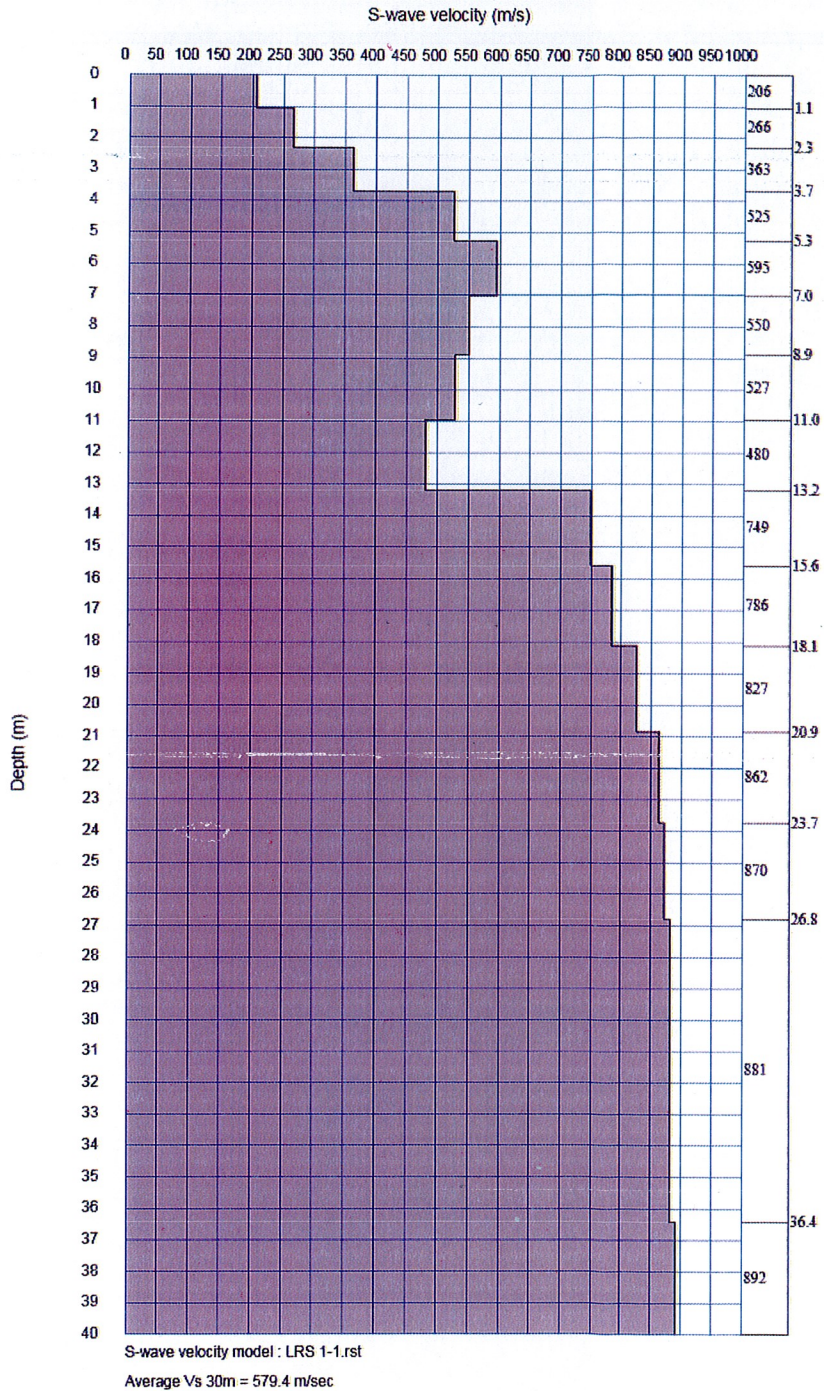


Figura 4-17 Gráfica MASW sección LRS_1-1 (0-115 m).

Fuente. Informe de exploración geofísica Proyecto EDL – ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.

De las figuras anteriores se puede observar que las velocidades de corte se pueden correlacionar con el N del SPT; hasta 400 m/seg de velocidad se obtiene N (50 golpes) después el material da rechazo, es decir, a partir de los 2 a 11 metros aproximadamente para este ensayo.

En el Anexo 5.2 se encuentran las tablas tomográficas, MASW y del modelo simplificado que relaciona las velocidades de corte de la sección LRS 1-1, de donde se obtuvo las anteriores figuras y representaciones gráficas.

4.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para realizar la clasificación del suelo se realizó una inspección en el terreno de acuerdo con lo observado se extrajo información de la estratificación y las diaclasas concordando con la pendiente de los taludes, igualmente se obtuvo las propiedades físicas y mecánicas presentadas en los materiales extraídos del terreno, se realizaron los ensayos de laboratorio pertinentes para lograr obtener la información característica de la zona.

4.5.1 ANÁLISIS SUPERFICIAL

Los ensayos geotécnicos in situ constituyen una serie de los ensayos geotécnicos in situ de técnicas variadas e independientes con un objetivo común: la caracterización física y mecánica de las capas que componen el suelo a través de parámetros medidos en el propio medio natural.

El PDC mide la penetración dinámica por golpes, a través del terreno natural o suelo fundación, levemente cementados. El análisis de los resultados obtenidos se hace sobre la subrasante ya que el instrumento es típicamente empleado para evaluar propiedades de los materiales a una profundidad hasta de 1.000 milímetros bajo la superficie.

El consorcio San Ramon – Proyecto Civil, realizó las perforaciones y ensayos de penetración de Cono Dinámico, con las cuales se obtienen las correlacionados para el CBR.

De acuerdo con la información obtenida en campo se estiman las siguientes correlaciones de cada perforación:

CORRELACIONES	PARÁMETROS		TIPO DE REGRESIÓN
	A	B	
HARISON	646	1.32	$CBR = A * PDC^B$
KLEYN	398	1.26	
MARCO PASTRANA	238.7	1.24	
UNIVERSIDAD DEL CAUCA	436	1.12	
SÁNCHEZ SABOGAL	567	1.40	

Tabla 4-13 Correlaciones usadas para el cálculo del CBR

**Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocoso Puente Quebrada Oro Perdido**

LOCALIZACIÓN	No. DE GOLPES	PDC mm/GOLPE	CBR HARISON	CBR KLEYN	CBR MARCO PASTRANA	CBR U CAUCA	CBR SANCHEZ	CBR=292*PDC ^{1.12}	CLASIFICACION
Eje 6	5	2,40	203,40	132,07	80,61	163,55	166,45	109,5	Excelente material
	5	4,00	103,64	69,39	42,79	92,30	81,41	61,8	Uso: Base
	6	1,50	378,26	238,79	144,38	276,86	321,41	185,4	Grava
Sondeo 4	5	2,40	203,40	132,07	80,61	163,55	166,45	109,5	Excelente material
	5	2,20	228,16	147,38	89,79	180,29	188,01	120,7	Uso: Base
	7	0,57	1356,68	808,13	479,26	818,29	1245,54	548,0	Grava
Eje 8	5	6,00	60,68	41,63	25,88	58,61	46,15	39,3	Buen material
	5	1,00	646,00	398,00	238,70	436,00	567,00	292,0	Uso: Sub -Base
	6	1,17	525,08	326,56	196,47	365,69	455,12	244,9	Grava - Arcillosa
Sondeo 5	5	11,00	27,26	19,40	12,20	29,73	19,75	19,9	De Regular material a excelente material
	5	2,00	258,75	166,18	101,06	200,60	214,85	134,3	Uso: Sub -Base
	10	0,50	1612,84	953,19	563,81	947,63	1496,32	634,7	Inicia con arena gruesa y finaliza con grava
Sondeo 7	6	3,50	123,61	82,10	50,49	107,18	98,15	71,8	Buen material
	8	5,50	68,07	46,45	28,83	64,61	52,13	43,3	Uso: Base -sub base
	10	1,10	569,63	352,96	212,09	391,86	496,17	262,4	Grava
Eje 13	4	3,00	151,51	99,70	61,13	127,38	121,79	85,3	Excelente material - Grava
Sondeo 9	7	3,71	114,46	76,29	46,97	100,41	90,46	67,2	Excelente material
	5	2,00	258,75	166,18	101,06	200,60	214,85	134,3	Grava
Eje 17	5	4,60	86,18	58,18	35,98	78,92	66,95	52,9	Buen material
	6	5,17	73,86	50,22	31,13	69,24	56,85	46,4	Uso: Sub-Base
	8	1,00	646,00	398,00	238,70	436,00	567,00	292,0	Grava
Eje 18	5	8,60	37,73	26,45	16,56	39,16	27,88	26,2	De Regular material a excelente material
	11	1,50	378,26	238,79	144,38	276,86	321,41	185,4	Uso: Sub -Base
	20	1,44	399,20	251,39	151,87	289,81	340,31	194,1	Inicia con arena de fina a gruesa y finaliza con grava
Sondeo 10	5	6,40	55,73	38,38	23,89	54,52	42,16	36,5	De Regular material a excelente material
	6	2,00	258,75	166,18	101,06	200,60	214,85	134,3	Grava Arenosa

Tabla 4-14 Correlaciones de cada localización

Se generaliza una subrasante de gran capacidad de soporte, es decir tienen valores de CBR altos, lo cual hace pensar que la subrasante está constituida por materiales como la grava, existiendo un suelo homogéneo entre el eje 6 y parte del eje 8; aunque hay zonas en las que el material superficial presenta valores de CBR bajos clasificándose como arenas de finas a gruesas.

4.5.2 CLASIFICACIÓN GEOLÓGICA Y VISUAL

La clasificación inicial se obtuvo de las perforaciones realizadas durante el estudio preliminar de diseño de la nueva calzada Bogotá – Villavicencio, presentado por la empresa EDL S.A., por medio de 10 perforaciones registradas en la Tabla 4-1, allí mismo se presenta la descripción del material encontrado durante la perforación de las pilas en cada uno de los ejes, dicho material obtenido durante la perforación de las pilas en cada uno de los ejes del puente No. 6 entre K38+402 y K39+017, el material fue extraído por GISAICO S.A. y analizado por la empresa Bateman Ingeniería S.A.

La siguiente tabla presenta una secuencia horizontal de manera ascendente desde el K38+400, continuando con los ejes y perforaciones hasta llegar al final del puente 6 en el K39+017. En cada columna se tiene la profundidad de perforación y al frente la descripción del material allí presente.

Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocoso Puente Quebrada Oro Perdido

PERFORACIÓN 1		EJE 1	
K38+400		K38+402	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 m - 4.00 m	Relleno antrópico	0.00 m - 3.00 m	Limo con un grado mínimo de plasticidad, de consistencia blanda, con incrustaciones de gravas finas a medias y arena de grano fino.
4.00 m - 12.00 m	Arenisca cuarzo-feldespática gris de grano medio. Roca sana con oxidación. A partir de 10.0m muy fracturada, juntas rugosas, con oxidación.	3.00 m - 8.00 m	Areniscas de consistencia dura, gris oscuro y resistencia media se presenta fracturada con areniscas de grano fino, juntas rugosas con oxidación.
12.00 m - 25.00 m	Lutita negra, sana a moderadamente meteorizada. Estratos laminares muy delgados, brecha con rellenos duros. Intercalaciones de arenisca cuarzo feldespática en capas de 3 a 12cm de espesor, manchas de oxidación, ángulo de inclinación de las capas 60°-70°. A partir de 22m muy fracturada, con óxidos y pirita.		

**Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocosó Puente Quebrada Oro Perdido**

EJE 2		PERFORACIÓN 2	
K38+437		K38+468	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 m - 2.50 m	Limo arcilloso de gris con gravas.		
2.50 m - 10.10 m	Lutita negra, sana a moderadamente meteorizada. Estratos laminares muy delgados, brecha con rellenos consistente. Intercalaciones de arenisca cuarzo feldespática en capas de 3 a 12cm de espesor, con vetas de oxidación, ángulo de inclinación de las capas 60°-70°.	0.00 m - 12.00 m	Arenisca gris claro de grano medio alterado con arenisca de negro de grano fino. En la arenisca de grano medio difícilmente se distingue la estratificación, la que se nota con facilidad en la de grano medio, con una inclinación de 60%. Los planos son rugosos con rellenos de óxido de hierro en pátinas gruesas. La arenisca negra se observa muy fracturada y en tramos muy alterada.
		12.00 m - 13.00 m	Brecha
		13.00 m - 19.50 m	Arenisca gris claro de grano medio alterado con arenisca negra de grano fino. En la arenisca de grano medio difícilmente se distingue la estratificación, la que se nota con facilidad en la de grano medio, con una inclinación de 60%. Los planos son rugosos con rellenos de óxido de hierro en pátinas gruesas. La arenisca negra presenta un grado de metamorfismo que le da cierto aspecto de filita. La arenisca negra se observa muy fracturada y en tramos muy alterada
		19.50 m - 24.00 m	Arenisca gris oscuro de grano fino. Delgadas intercalaciones de arenisca gris claro de grano medio. Se distingue bajo metamorfismo queda aspecto de filita. Planos algo rugosos con relleno de óxido de hierro, a veces brechas, inclinación 70° a 21 m brecha con relleno de oxidación.

**Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocoso Puente Quebrada Oro Perdido**

EJE 3		EJE 4	
K38+471		K38+505	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 m - 3.00 m	Se caracteriza por lutitas negras, moderadamente meteorizadas. Estratos laminares muy delgados. Intercalaciones de arenisca cuarzo feldespática gris en planos fracturados lisos, con vetas de oxidación.	0.00 m - 9.00 m	Lutita negra, sana a moderadamente meteorizada. Estratos laminares muy delgados, los planos son rugosos con vetas de óxido de hierro en pátinas gruesas, con arena cuarzo feldespática, moderadamente alterada.
3.00 m - 8.00 m	Arenisca gris claro de grano medio alterado con arenisca negro de grano fino. Los planos son rugosos con rellenos de óxido de hierro en pátinas gruesas alto grado de meteorización, friable.		
8.00 m - 10.60 m	Bloques de areniscas marrón y negro, de consistencia dura con discontinuidades leves, en la arenisca negra se observa muy fracturada y en tramos muy alterada. La arenisca negra presenta un grado de metamorfismo que le da cierto aspecto de filita.		

EJE 5		EJE 6	
K38+539		K38+573	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 m - 8.65 m	Lutita negra, sana a moderadamente meteorizada. Estratos laminares muy delgados, los planos son rugosos con vetas de óxido de hierro en pátinas gruesas, con arena cuarzo feldespática, roca sana.	0.00 m - 8.97 m	Lutita negra, sana a moderadamente meteorizada. Estratos laminares muy delgados, los planos son rugosos con vetas de óxido de hierro en pátinas gruesas, con venas de cuarzo, moderadamente alterada.

Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocosó Puente Quebrada Oro Perdido

PERFORACIÓN 4		EJE 7	
K38+604		K38+607	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 m - 7.00 m	Arenisca cuarzo feldespática gris claro, grano medio, medianamente fracturada. No se distinguen los planos de estratificación. Roca sana, Juntas con oxidación. En general los fragmentos tienen un promedio de 5 a 7 cm de cargo.	0.00 m - 8.00 m	Lutita negra, sana a moderadamente meteorizada. Estratos laminares muy delgados, brecha con rellenos consistente.
7.00 m - 10.00 m	Lutita negra muy fracturada, fragmentos de 2 a 4 cm de diámetro, con manchas de oxidación. No se diferencian planos de estratificación.	8.00 m - 9.50 m	Lutita negra, sana a moderadamente meteorizada. Estratos laminares muy delgados, brecha con rellenos consistente, con vetas de oxidación. Generando
10.00 m -16.00 m	Arenisca cuarzo feldespática gris claro, grano medio, medianamente fracturada. No se distinguen los planos de estratificación. Roca sana, Juntas con oxidación. En general los fragmentos tienen un promedio de 5 a 7 cm de largo	9.50 m - 10.80 m	Lutita negra sana. Estratos laminares muy delgados, brecha con rellenos consistente y leves discontinuidades
16.00 m - 20.00 m	Lutitas negras en capas gruesas, planos algo rugosos con pátinas gruesas de oxidación, fragmentos gruesos, roca moderadamente meteorizada. Esporádicas intercalaciones de areniscas en capas delgadas. Inclinación de la estratificación 50°-70°.		

Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocoso Puente Quebrada Oro Perdido

EJE 8		PERFORACIÓN 5	
K38+642		K38+672	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 m - 8.00 m	Lutita negra, sana a moderadamente meteorizada. Estratos laminares muy delgados, brecha con rellenos consistente. Intercalaciones de arenisca cuarzo feldespática en capas de 3 a 12cm de espesor, con vetas de oxidación.	0.00 m -25.00 m	Arenisca cuarzo feldespática gris oscuro a negro de granos fino, en capas gruesas, planos algo rugosos, con pátinas de oxidación. Roca sana. Fragmentos grandes, en tramos con un poco de fracturamiento. Inclinación de estratificación 20 °
8.00 m - 10.00 m	se evidencia suelo meteorizado, con bloques de areniscas y lutitas y vetas de limo con algo de plasticidad, la roca se clasifica como muy blanda		
10.00 m - 12.20 m	se encuentran bloques de Arenisca cuarzo feldespática de consistencia dura, se evidencia mejoramiento de la condición del suelo.		

Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocoso Puente Quebrada Oro Perdido

EJE 9		EJE 10	
K38+676		K38+710	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 m - 2.00 m	Arenisca cuarzo feldespática gris claro, grano medio, medianamente fracturada. No se distinguen los planos de estratificación.	0.00 m - 2.50 m	Arcilla con gravas pequeñas y fragmentos de lutita y arenisca.
2.00 m - 9.00 m	Lutita gris oscuro a negro en capas delgadas menores a 1 cm, planos lisos con patinas de oxidación. Roca moderadamente meteorizada, muy fracturada.	2.50 m - 10.00 m	Lutita gris oscuro a negro en capas delgadas menores a 1 cm, planos lisos con patinas de oxidación. Roca moderadamente meteorizada, muy fracturada.
9.00 m - 10.65 m	Arenisca cuarzo feldespática gris claro, grano medio, medianamente fracturada. No se distinguen los planos de estratificación. Roca sana, Juntas con oxidación.	10.00 m - 14.15 m	Lutitas negras en capas gruesas, planos algo rugosos con patinas gruesas de oxidación, fragmentos gruesos, roca moderadamente meteorizada. Esporádicas intercalaciones de areniscas en capas delgadas.

Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocoso Puente Quebrada Oro Perdido

PERFORACIÓN 6		EJE 11	
K38+740		K38+744	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 m - 2.50 m	Arcilla con gravas pequeñas y fragmentos de lutita y arenisca:	0.00 m - 3.00 m	Arcilla con gravas pequeñas y fragmentos de lutita y arenisca, de consistencia blanda
2.50 m - 11.00 m	Lutita gris oscuro a negro en capas delgadas menores a 1 cm, planos lisos con patinas de oxidación. Roca moderadamente meteorizada, muy fracturada, aunque conserva un fragmento grande que permite medir la inclinación de la estratificación en 50° a 60°. Intercalaciones de arenisca cuarzo -feldespática de grano medio con manchas de oxidación.	3.00 m - 13.86 m	Lutitas de gris oscuro a negro en capas delgadas menores a 1 cm, planos lisos con patinas de oxidación. Roca moderadamente meteorizada, muy fracturada, aunque conserva un fragmento. Intercalaciones de arenisca cuarzo -feldespática marrón de grano medio con manchas de oxidación, de forma angular. Se encuentra roca moderadamente dura
11.00 m - 25.00 m	Arenisca gris oscuro a negro, grano medio, capas gruesas, planos rugosos con abundante oxidación, inclinación 20-30°. Roca sana, en tramo moderadamente alterada, tramos cortos muy alterada y fracturada. Incipiente esquistosidad.		

Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocoso Puente Quebrada Oro Perdido

EJE 12		PERFORACIÓN 7	
K38+778		K38+808	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 m - 6.00 m	Limo arcilloso gris con gravas, consistencia blanda.	0.00 m - 4.00 m	Limo arcilloso gris con gravas.
6.00 m - 15.15 m	Lutita gris oscuro a negro en capas delgadas menores a 1 cm, planos lisos con patinas de oxidación. Roca moderadamente meteorizada, muy fracturada, aunque conserva un fragmento. Intercalaciones de arenisca cuarzo -feldespática marrón de grano medio con manchas de oxidación, de forma angular. Se encuentra roca moderadamente dura	4.00 m -10.00 m	Fragmentos angulosos de arenisca de grano medio, gris claro a gris oscuro. Los fragmentos tienen diámetros entre 2 y 4 cm, presentan patinas de oxidación y alguna esquistosidad incipiente.
		10.00 m-13.00m	Arenisca gris oscuro, grano fino, fuertemente fracturada, muy alterada, abundante oxidación. Fragmentos en su mayor parte de 4 a 5 cm de diámetro. Se observa esquistosidad incipiente, delgadas intercalaciones de arenisca.
		13.00 m - 5.00m	Lutita gris oscura, roca moderadamente alterada, en tramos cortos muy alterada y muy fracturada. Planos rugosos con patinas gruesas de oxidación, rellenos de arcilla. Se observa esquistosidad incipiente. Intercalaciones delgadas de arenisca gris oscuro de gramo fino a medio.

Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocoso Puente Quebrada Oro Perdido

EJE 13		EJE 14	
K38+811		K38+846	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 m - 4.65 m	Arenisca cuarzo feldespática gris oscuro a negro de granos fino, en capas gruesas, planos algo rugosos, con pátinas de oxidación.	0.00 m - 3.60 m	Arenisca cuarzo feldespática gris oscuro a negro de granos fino, en capas gruesas, planos algo rugosos, con pátinas de oxidación,
4.65 m - 18.50 m	Lutita gris oscuro a negro en capas delgadas menores a 1 cm, planos lisos con patinas de oxidación. Roca moderadamente meteorizada, muy fracturada, aunque conserva un fragmento. Intercalaciones de arenisca cuarzo -feldespática marrón de grano medio con manchas de oxidación, de forma angular. Se encuentra roca moderadamente dura	3.60 m - 10.10 m	Lutita gris oscuro a negro en capas delgadas menores a 1 cm, planos lisos con patinas de oxidación. Roca moderadamente meteorizada, muy fracturada. Intercalaciones de arenisca cuarzo -feldespática de grano medio con manchas de oxidación, roca moderadamente dura.

Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocoso Puente Quebrada Oro Perdido

PERFORACIÓN 8 K38+876		EJE 15 K38+880	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 m - 7.00 m	Material limo-arenoso y limo-arcilloso gris y habano, con gravas pequeñas de arenisca de grano medio gris, también fragmentos angulosos de 2 a 4 cm de diámetro de arenisca gris - corresponde probablemente a relleno antrópico.	0.00 m - 3.20 m	Material limo-arenoso y limo-arcilloso gris y habano, con gravas pequeñas de arenisca de grano medio gris, también fragmentos angulosos.
7.00 m - 14.00 m	Depósito coluvial integrado por escasos fragmentos sub-angulosos de 2 a 4 cm de diámetro, de arenisca gris de grano medio. Abundante matriz limo arenosa gris.	3.20 m - 17.80 m	Depósito coluvial integrado por escasos fragmentos sub-angulosos de 2 a 4 cm de diámetro, de arenisca cuarzo feldespática gris de grano medio. Abundante matriz limo arenosa de gris.
14.00 m - 25.00 m	Arenisca gris claro de grano medio, intercalada con arenisca gris oscuro de gran fino. La mayor parte del recobro son fragmentos angulosos de 2 a 4 cm de diámetro, algunos con manchas de oxidación los escasos núcleos complementos muestran planos rugosos con relleno de oxidación, con inclinación de 30°. El poco recobro hace inferir roca completamente meteorizada que en parte puede ser lutita, la cual se destruyó con la perforación.	17.80 m - 21.10 m	Arenisca gris claro de grano medio, intercalada con arenisca gris oscuro de gran fino. La mayor parte del recobro son fragmentos angulosos de 2 a 4 cm de diámetro, algunos con manchas de oxidación los escasos núcleos complementos muestran planos rugosos con relleno de oxidación. El poco recobro hace inferir roca completamente meteorizada que en parte puede ser lutita, la cual se destruyó con la perforación.

Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocoso Puente Quebrada Oro Perdido

EJE 16		PERFORACIÓN 9	
K38+914		K38+944	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 m - 3.20 m	Arenisca cuarzo feldespática gris claro, grano medio, medianamente fracturada. No se distinguen los planos de estratificación. Juntas con oxidación. Gran fragmentación.	0.00 m - 4.50 m	Limo habano y gris con gravas pequeños.
3.20 m - 23.00 m	Material limo-arenoso y limo-arcilloso gris y habano, con gravas pequeñas de arenisca de grano medio gris, también fragmentos angulosos.	4.50 m - 12.00 m	Depósito coluvial integrado por fragmentos de 2 a 4 cm de diámetro, sub-angulosos, de arenisca gris claro, de grano medio, algunos de grano fino, con manchas de oxidación. Se infiere una matriz limo arenosa a limo arcillosa.
		12.00 m - 25.00 m	Arenisca gris oscuro a negro de grano medio a fino. Fragmentos sub-angulosos de 2 a 5 cm de diámetros, esporádicos fragmentos más grandes. No se distinguen planos de estratificación. No se observan manchas de oxidación. Se distinguen algunas venillas de cuarzo.

Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocosó Puente Quebrada Oro Perdido

EJE 17 K38+948		EJE 18 K38+983	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 m - 6.80 m	Limo habano y gris con gravas pequeños.	0.00 m - 3.20 m	Arenisca cuarzo feldespática gris claro, grano medio, medianamente fracturada. No se distinguen los planos de estratificación. Con juntas oxidadas
6.80 m - 21.10 m	Lutita gris oscuro a negro en capas delgadas menores a 1 cm, planos lisos con patinas de oxidación. Roca moderadamente meteorizada, muy fracturada. Intercalaciones de arenisca cuarzo - feldespática de grano medio con manchas de oxidación. La roca clasifica como extremadamente blanda	3.20 m - 16.20 m	Arenisca gris oscuro que varía en tramos a gris oscuro, grano medio ocasionalmente grano fino, en su mayor parte fragmentos sub-angulosos de 3 a 5 cm de diámetro, con patinas de oxidación.
		16.20 m - 19.50 m	Arenisca gris oscuro a negro de grano medio a fino. No se observan manchas de oxidación. Se distinguen algunas venillas de cuarzo.

Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocoso Puente Quebrada Oro Perdido

PERFORACIÓN 10		EJE 19	
K39+012		K39+017	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 m - 8.50 m	Depósito integrado por matriz limo arenosa a limo arcillosa con niveles arenosos y fragmentos sub-angulosos de arenisca gris claro y gris oscuro de grano medio, algunos fragmentos de cuarzo. Escasos fragmentos con manchas de oxidación.	0.00 m - 11.00 m	Depósito integrado por matriz limo arenosa a limo arcillosa con niveles arenosos y fragmentos sub-angulosos de arenisca gris claro y gris oscuro de grano medio.
8.50 m - 12.00 m	Arenisca gris claro que varía en tramos a gris oscuro, grano medio ocasionalmente grano fino, en su mayor parte fragmentos sub-angulosos de 3 a 5 cm de diámetro, con pátinas de oxidación. Los núcleos completos de arenisca muestran planos de estratificación de 30° de inclinación, indicando capas delgadas. los planos son algo rugosos, a veces lisos con relleno de óxido de hierro. Algunos fragmentos de lutita y los recobros de lavado con material limoso indican intercalaciones de lutita muy alterada. En general roca muy alterada y fracturada.	11.00 m - 14.60 m	Lutita gris oscuro a negro en capas delgadas menores a 1 cm, planos lisos con patinas de oxidación. Roca moderadamente meteorizada.
12.00 m - 25.00 m	Arenisca gris oscuro a negro de grano medio a fino. Fragmentos sub-angulosos de 2 a 5 cm de diámetros, esporádicos fragmentos más grandes. No se distinguen planos de estratificación. No se observan manchas de oxidación. Se distinguen algunas venillas de cuarzo.	14.60 m - 17.10 m	Lutita negra, sana a moderadamente meteorizada. Estratos laminares muy delgados, brecha con rellenos consistente. Intercalaciones de

Mejoramiento de la Caracterización Geomecánica
Macizo Rocoso Puente Quebrada Oro Perdido

			arenisca cuarzo feldespática en capas
		17.10 m - 19.00 m	Lutitas negras en capas gruesas, planos algo rugosos con pátinas gruesas de oxidación, fragmentos gruesos, roca resistente. Esporádicas intercalaciones de areniscas en capas delgadas.

Tabla 4-15 Clasificación según muestras tomadas en campo



Figura 4-18 Talud del banqueo frente K38+604

En el frente K38+604 según la imagen y la información obtenida en la inclinación en el Perforación 4, se presenta un buzamiento favorable para el terreno con una inclinación que genera estabilidad en el terreno.

ESTACIÓN	ESTRATIFICACIÓN		DIACLASAS	
	AZIMUT	INCLINACIÓN	AZIMUT	INCLINACIÓN
Talud vía actual: K38+740	21	65	276	65
	30	55	190	40
	26	70	108	40
	22	65	172	45

Tabla 4-19 Datos estructurales talud frente K38+740 - Perforación 6.



Figura 4-19 Talud de la vía actual frente K38+740

ESTACIÓN	ESTRATIFICACIÓN		DIACLASAS	
	AZIMUT	INCLINACIÓN	AZIMUT	INCLINACIÓN
Talud vía actual: K 38+808	58	50	234	40
	65	55	280	90
	42	45	134	80
	6	70	195	35
	15	60	340	85
			284	85

Tabla 4-20 Datos estructurales talud frente a K38+808 – Perforación 7.



Figura 4-20 Talud de la vía actual frente a K38+808

ESTACIÓN	ESTRATIFICACIÓN		DIACLASAS	
	AZIMUT	INCLINACIÓN	AZIMUT	INCLINACIÓN
Talud vía actual: K38+872	70	60	5	80
	85	60	358	70
	66	60	11	70
	25	75	14	90
	50	60	360	80
	53	60	178	40
			262	40

Tabla 4-21 Datos estructurales talud frente K38+872 – Perforación 8.

El terreno presenta un punto crítico en el K38+400, siendo la inclinación estratigráfica de 90°, y en el punto K 38+808.

En general el talud presenta favorable buzamiento con respecto a la dirección perpendicular al eje de la obra.

4.5.2 ÍNDICES DE CAMPO- RESISTENCIA UNIAXIAL (ISRM)

Se establece una descripción de la resistencia a la compresión,

Se tiene como clasificación según ISRM,

Ligeramente (<10%)

Moderadamente (<50%)

Altamente (<75%)

Extremadamente (>75%)

Ubicación		Profundidad	Resistencia a la compresión, fc (Mpa)	Clasificación
Ubicación Profundidad	K38+400	4.00 m- 12.00 m	48,2	Roca Moderadamente Dura
		12.00 m- 25.00 m	2,7	Roca Blanda
Perforación 4	K38+604	10.00 m -16.00m	48,1	Roca Moderadamente Dura
		16.00 m - 20.00	6,5	Roca Blanda
Eje 8	K38+642	8.00 m - 10.00 m	3,5	Roca Blanda
Perforación 5	K38+672	0.00 m -25.00 m	69,6	Roca Altamente Dura
Eje 9	K38+676	2.00 m -9.00 m	4,2	Roca Blanda
Eje 10	K38+710	10.00 m - 14.15 m	32,4	Roca Moderadamente Dura
Perforación 6	K38+740	2.50 m - 11.00 m	16,3	Roca Ligeramente Dura
		11.00 m - 25.00 m	3,6	Roca Ligeramente Dura
Eje 11	K38+744	3.00 m - 13.86 m	27,7	Roca Moderadamente Dura
Eje 12	K38+778	6.00 m - 15.15 m	42,3	Roca Moderadamente Dura
Eje 13	K38+811	4.65 m - 18.50 m	37,8	Roca Moderadamente Dura
Eje 14	K38+846	3.60 m - 10.10 m	36,5	Roca Moderadamente Dura
Eje 15	K38+880	17.80 m - 21.10 m	44,1	Roca Moderadamente Dura

Tabla 4-22 Descripción de la clase de resistencia a la compresión en el terreno

Se obtiene una clase de roca moderadamente dura, lo cual nos garantiza que, a mayor profundidad, mejor superficie de cimentación.

4.5.1 RQD

Las muestras de roca inalterada se lograron obtener de las perforaciones realizadas antes del diseño, ya que de los ejes no fue posible conseguir material intacto para poder tomar esta medida.

Ubicación		Profundidad	RQD (%)	Clase	Calidad
Perforación 2	K38+468	7.00 m	41	II	Mala
Perforación 4	K38+604	9.50 m	45	II	Mala
Perforación 5	K38+672	9.50 m	46	II	Mala
Perforación 6	K38+740	13.50 m	93	V	Muy Buena
Perforación 7	K38+808	13.00 m	44	II	Mala
Perforación 9	K38+944	12.00 m	10	I	Muy Mala
Perforación 10	K39+012	12.00 m	10	I	Muy Mala

Tabla 4-23 Índice de Calidad RQD

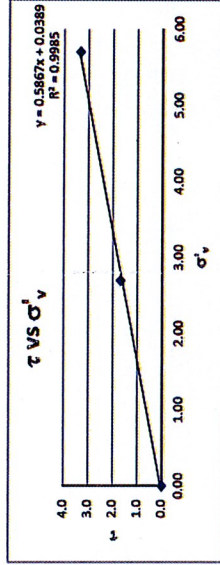
La roca obtenida en la recuperación de los núcleos se caracterizó por ser de mala calidad

4.5.2 COHESIÓN Y FRICCIÓN

EDL SAS Ingenieros Consultores, determinó los parámetros de resistencia con el SPT, y con ello se obtuvo los valores c y ϕ , los cuales fueron muy pocos ya que solo se tomaron los datos de las perforaciones 1 y 9 para el diseño de todo el puente No. 6.

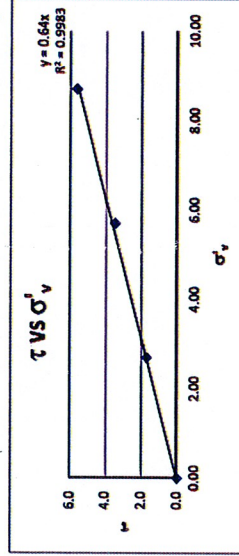
$\gamma = 2.0 \text{ t/m}^3$
 $\gamma_{sat} = 2.1 \text{ t/m}^3$

Sondeo	N	Prof. final (m)	Prof. Intermedia ensayo (m)	σ'_v	R_s	k	C_u	η_1	η_2	η_3	η_4	N_{45}	ϕ	c
1	24	1.50	1.35	2.70	0.27	1.41	1.80	0.45	0.75	1.00	1.00	15	32.1	1.7
	17	3.00	2.85	5.70	0.57	1.41	1.34	0.45	0.75	1.00	1.00	8	30.4	3.3



c'	0	$\tan \phi'$	0.5867	ϕ'	30.4
------	---	--------------	--------	---------	------

Sondeo	N	Prof. final (m)	Prof. Intermedia ensayo (m)	σ'_v	R_s	k	C_u	η_1	η_2	η_3	η_4	N_{45}	ϕ	c
9	27	1.50	1.35	2.70	0.27	1.41	1.80	0.45	0.75	1.00	1.00	16	32.6	1.7
	27	3.00	2.85	5.70	0.57	1.41	1.34	0.45	0.75	1.00	1.00	12	31.6	3.5
	44	4.50	4.35	8.70	0.87	1.41	1.09	0.45	0.85	1.00	1.00	18	35.1	5.7



c'	0	$\tan \phi'$	0.64	ϕ'	32.6
------	---	--------------	------	---------	------

Tabla 4-24 Parámetros de Resistencia con el SPT, Punteado No. 6 Sondaje 1 y 9

4.5.1 ESTRATIFICACIÓN – DISCONTINUIDADES

A continuación se consignan las tablas con los datos estructurales tomados en los taludes, localizadas según la cimentación del Puente.

LOCALIZACIÓN	ESTRATIFICACIÓN		DIACLASAS	
	AZIMUT	INCLINACIÓN	AZIMUT	INCLINACIÓN
Talud vía actual: 38+400.	130	75	345	85
	145	80	245	40
	124	90	5	80
	80	60	254	20
	116	70	46	90
	96	90	79	35
	113	60		

Tabla 4-16 Datos estructurales talud frente 38+400 – Perforación 1

ESTACIÓN	ESTRATIFICACIÓN		DIACLASAS	
	AZIMUT	INCLINACIÓN	AZIMUT	INCLINACIÓN
Talud vía actual: K38+468.	90	55	24	70
	85	60	197	40
	90	55	213	45
	98	55	308	90
	96	80		
	108	75		

Tabla 4-17 Datos estructurales talud del banqueo frente K38+468 – Perforación o 2

ESTACIÓN	ESTRATIFICACIÓN		DIACLASAS	
	AZIMUT	INCLINACIÓN	AZIMUT	INCLINACIÓN
Talud vía actual: K 38+604	165	25	318	80
	144	35	37	85
			285	70
			210	80
	170	40	75	70
	164	50	28	55
			54	50
			70	85
			245	80
			350	90

Tabla 4-18 Datos estructurales talud del banqueo frente K 38+604 – Perforación 4

4.5.3 METEORIZACIÓN

La mejor manera de obtener el tipo de meteorización es visualmente, ya que de esta manera se obtiene el color, la degradación, por medio del tacto se puede obtener su estructura, si es frágil o no, y los signos visibles de meteorización.

Ubicación		Profundidad	Clase	Descripción
Perforación 1	K38+400	25.00 m	III	Lutita negra, sana a moderadamente meteorizada.
Eje 2	K38+437	10.10 m	III	Lutita negra, sana a moderadamente meteorizada.
Eje 3	K38+471	3.00 m	V	Lutita negra, completamente meteorizada.
Eje 4	K38+505	9.00 m	III	Lutita negra, sana a moderadamente meteorizada.
Eje 5	K38+539	8,65 m	III	Lutita negra, sana a moderadamente meteorizada.
Eje 6	K38+573	13.00 m	III	Lutita negra, sana a moderadamente meteorizada.
Perforación 4	K38+604	10.00 m	III	Roca moderadamente meteorizada.
Eje 7	K38+607	8.00 m	III	Lutita negra, sana a moderadamente meteorizada.
Eje 8	K38+642	8.00 m	III	Lutita negra, sana a moderadamente meteorizada.
Eje 9	K38+676	8.00 m	IV	Roca altamente meteorizada.
Eje 10	K38+710	10.00 m	IV	Roca altamente meteorizada.
Perforación 6	K38+740	10.50 m	IV	Roca altamente meteorizada.
Eje 11	K38+744	12.00 m	IV	Roca altamente meteorizada.
Eje 12	K38+778	15.00 m	IV	Roca altamente meteorizada.
Eje 13	K38+811	13.00 m	IV	Roca altamente meteorizada.
Eje 14	K38+846	9.00 m	IV	Roca altamente meteorizada.
Perforación 8	K38+876	14.00 m	V	Roca completamente meteorizada
Eje 15	K38+880	17.80 m	V	Roca completamente meteorizada
Eje 17	K38+948	6.80 m	V	Roca completamente meteorizada
Eje 19	K39+017	11.00 m	IV	Roca altamente meteorizada.

El tipo de meteorización encontrada es material rocoso desintegrado, con roca oxidada y está presente en forma discontinua, entre menor meteorización, garantiza una roca mas sana y resistente.

4.5.3.1 Perfil De Meteorización Según Deere And Patton

Realizaron un extenso estudio sobre los perfiles de meteorización, propusieron tres zonas con subdivisiones, resultando en tres zonas de suelo y tres zonas de roca:
Zona I; de suelo residual subdividido en:

Zona I-A; coluvión, generalmente con presencia de materia orgánica;

Zona I-B; suelo maduro, suelo está constituido por minerales secundarios y primarios que resistieron la meteorización, presenta gradación variable y no tiene ninguna herencia de su roca de origen, siendo su comportamiento similar al de un suelo sedimentario.

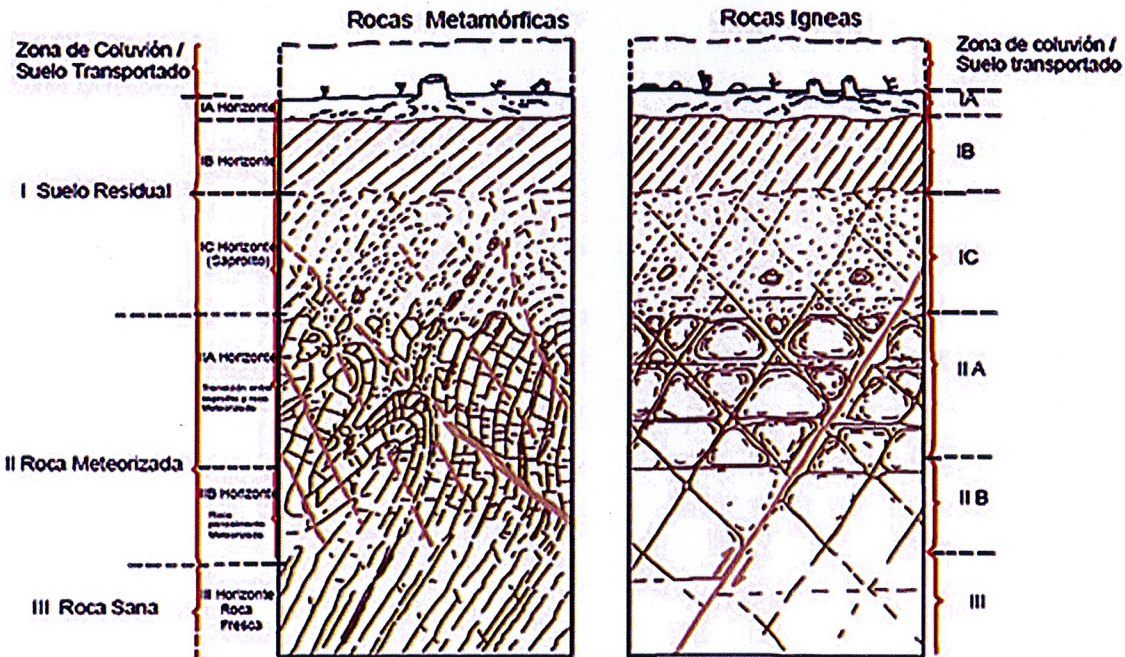
Zona I-C; suelo de alteración de roca (saprolito), el suelo está constituido por minerales primarios y secundarios, que tiene estructuras heredadas de la roca original. Puede tener bloques rocosos intactos en su masa.

Zona II; de roca alterada, subdividido en:

Zona II-A; de transición entre el saprolito y la roca alterada, con características extremadamente heterogéneas, presenta variaciones sensibles en diversas propiedades físicas y mecánicas

Zona II-B; de roca alterada, en donde la roca mantiene su estructura original, presentando alteraciones en las propiedades físico - químicas como coloración, permeabilidad y resistencia, presentando zonas descompuestas, especialmente junto a las discontinuidades.

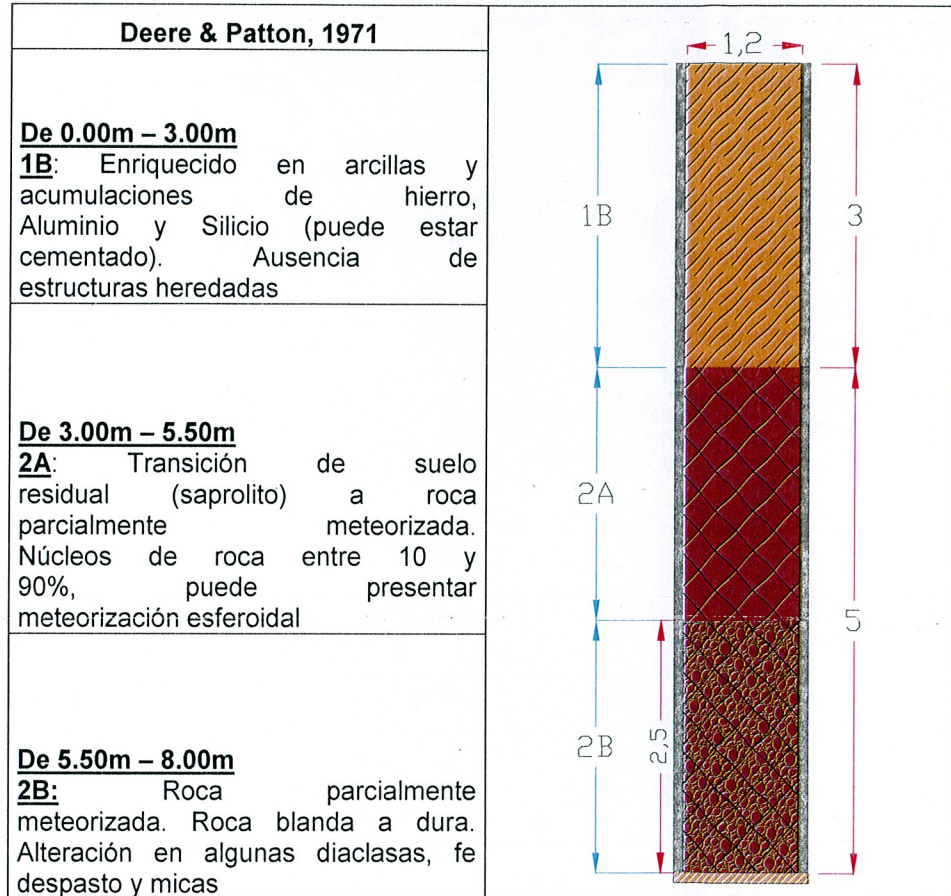
Zona III; de roca esencialmente sana, sectores del macizo donde aún no ha sido afectada por la meteorización. Los minerales no presentan signos de haber sufrido alteración.



* Ilustración del perfil de meteorización de Deere and Patton 1971

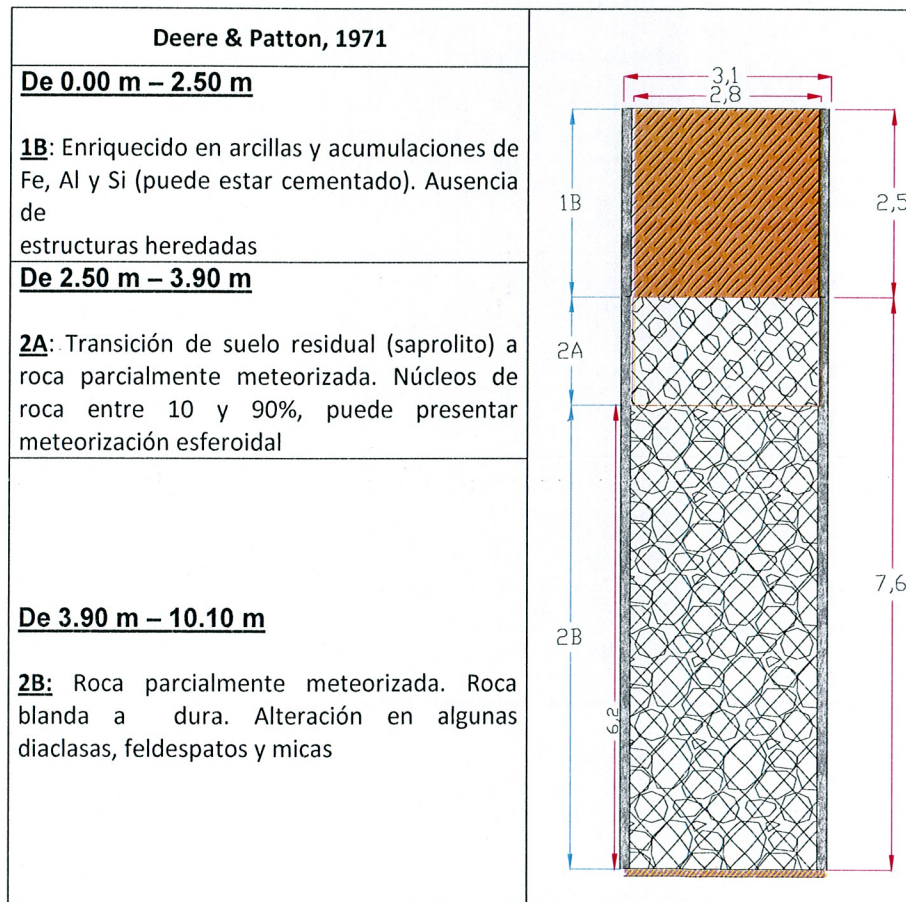
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 1 - CAISSON IZQUIERDO.

- Diámetro 1.20m
- Longitud Excavada = 8.00m



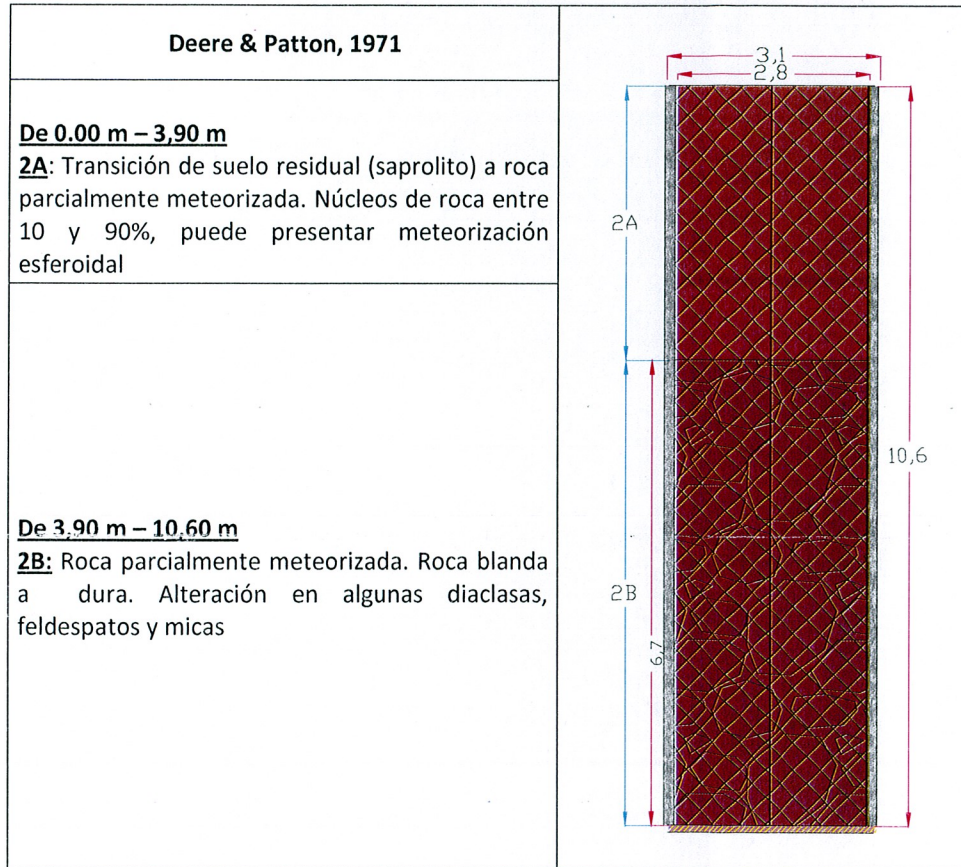
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 2 - CAISSON CENTRAL.

- Diámetro 2.80m
- Longitud Excavada = 10.10m
-



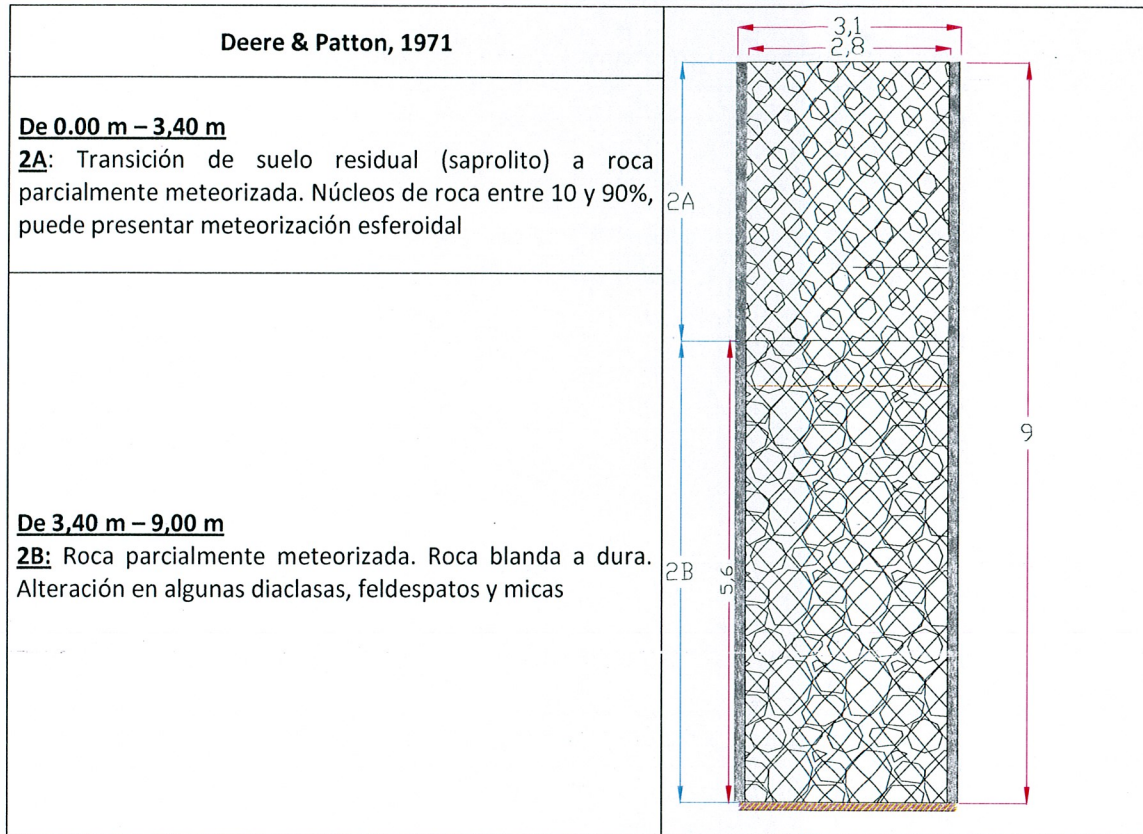
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 3 - CAISSON CENTRO.

- Diámetro 2.80m
- Longitud Excavada = 10.60m



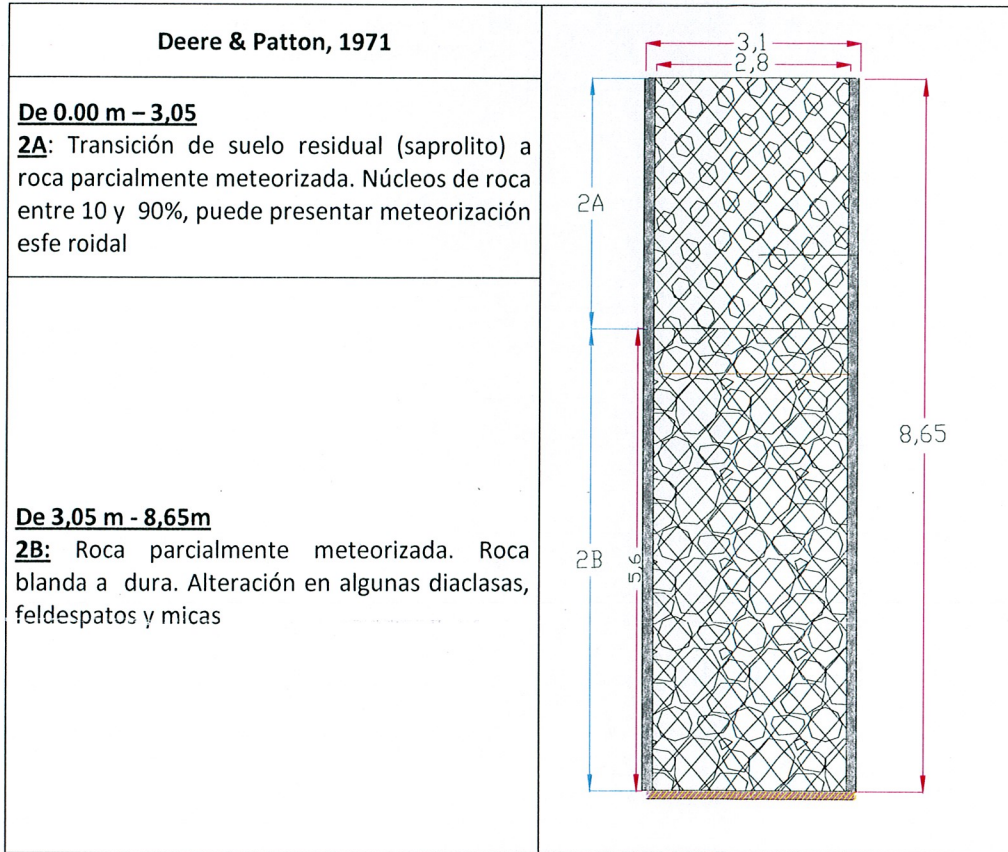
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 4 - CAISSON CENTRO.

- Diámetro 1.20m
- Longitud Excavada = 9.0m



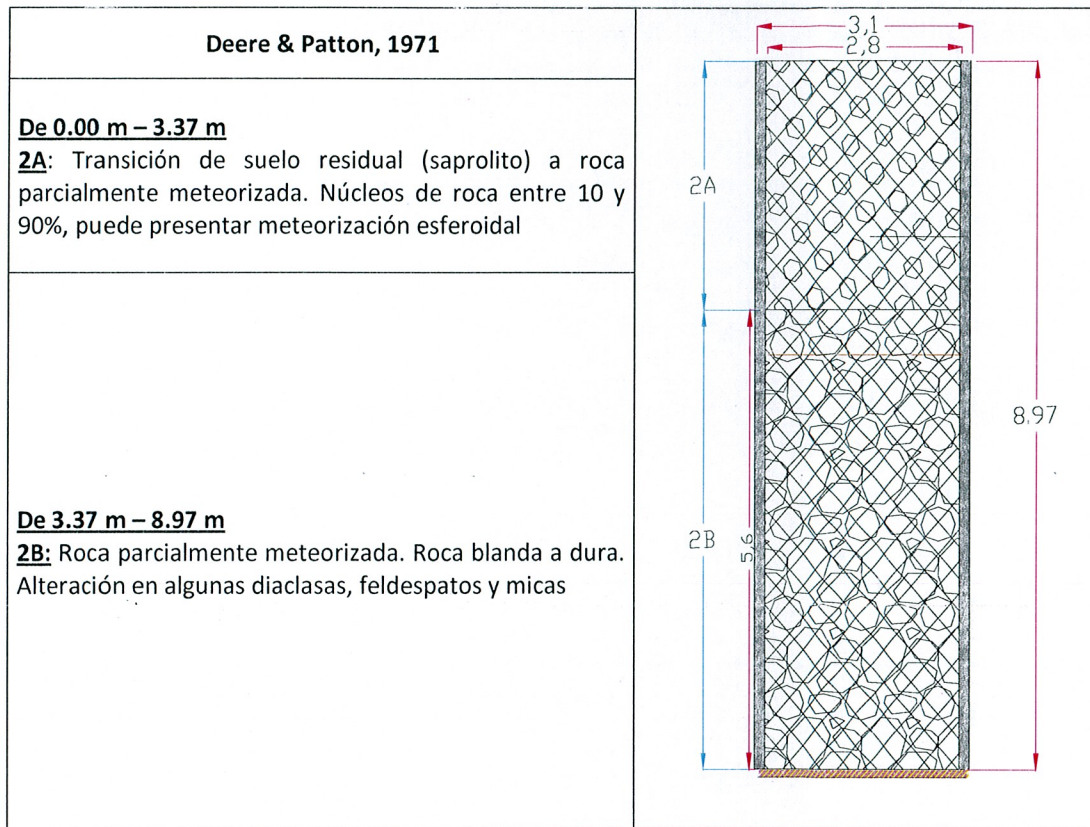
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 5 - CAISSON CENTRO.

- Diámetro 1.20m
- Longitud Excavada = 8.65 m



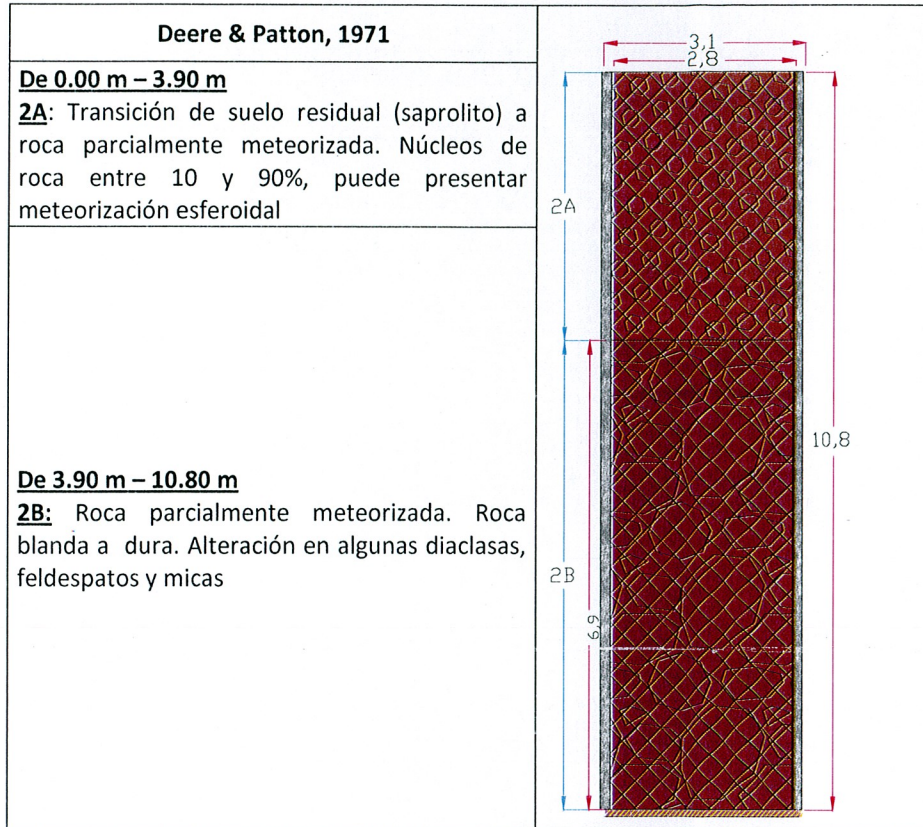
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 6 - CAISSON CENTRO.

- Diámetro 1.20 m
- Longitud Excavada = 8.97 m



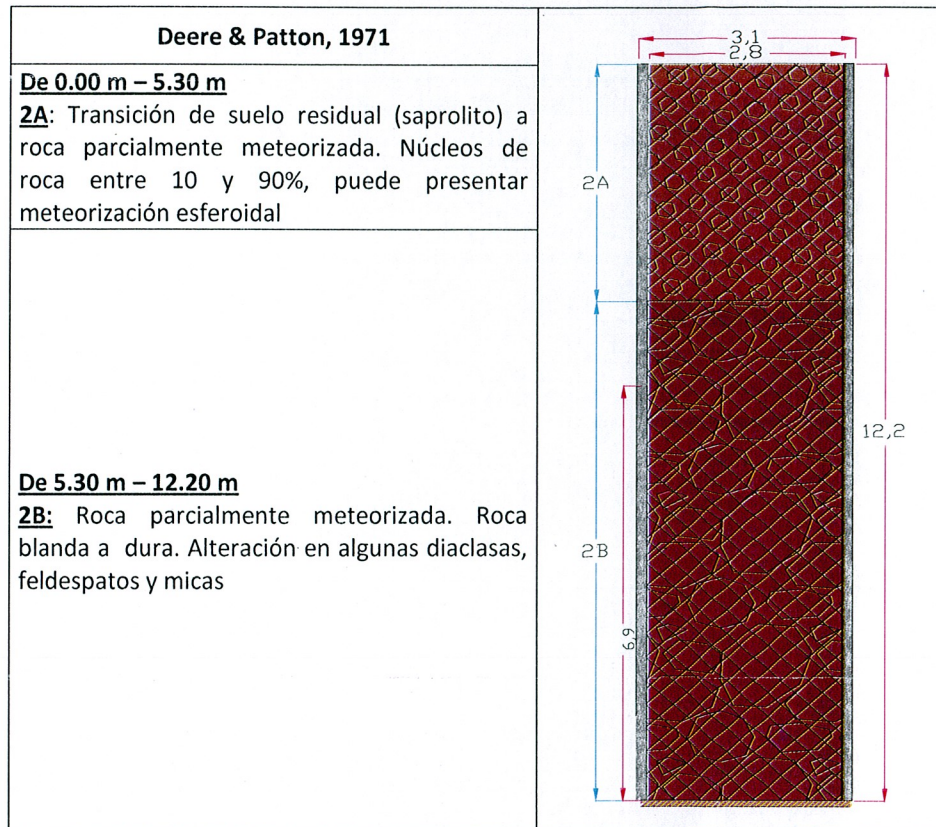
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 7 - CAISSON CENTRO.

- Diámetro 2.8 0m
- Longitud Excavada = 10.80m



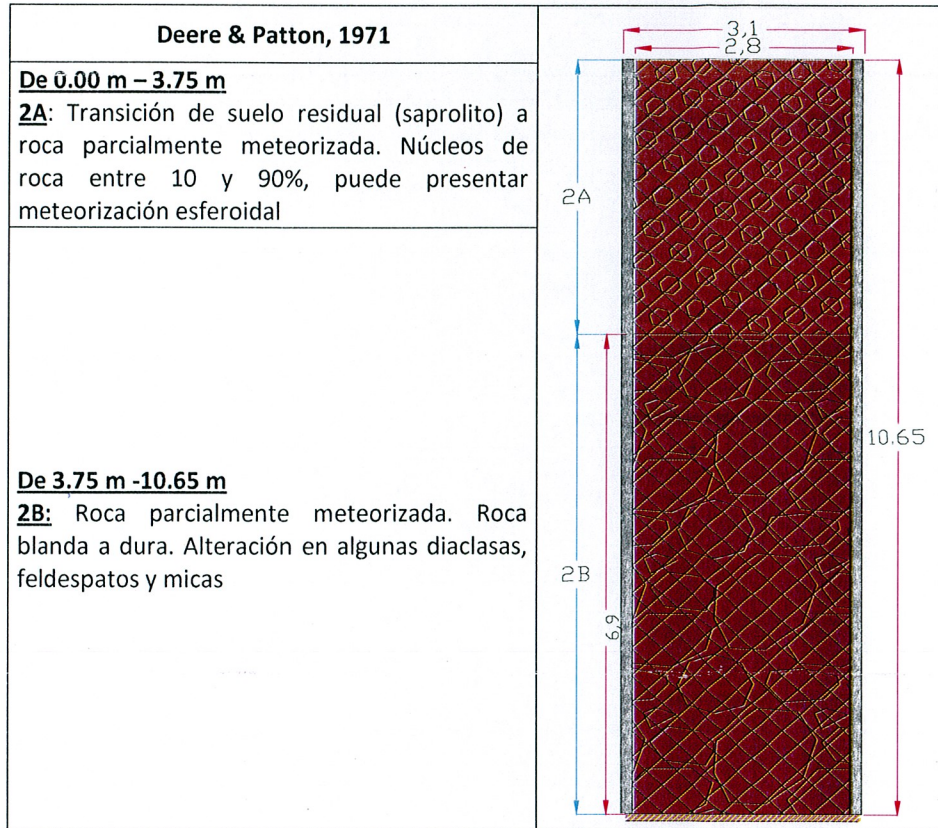
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 8 - CAISSON CENTRO.

- Diámetro 2.80m
- Longitud Excavada = 12.20m



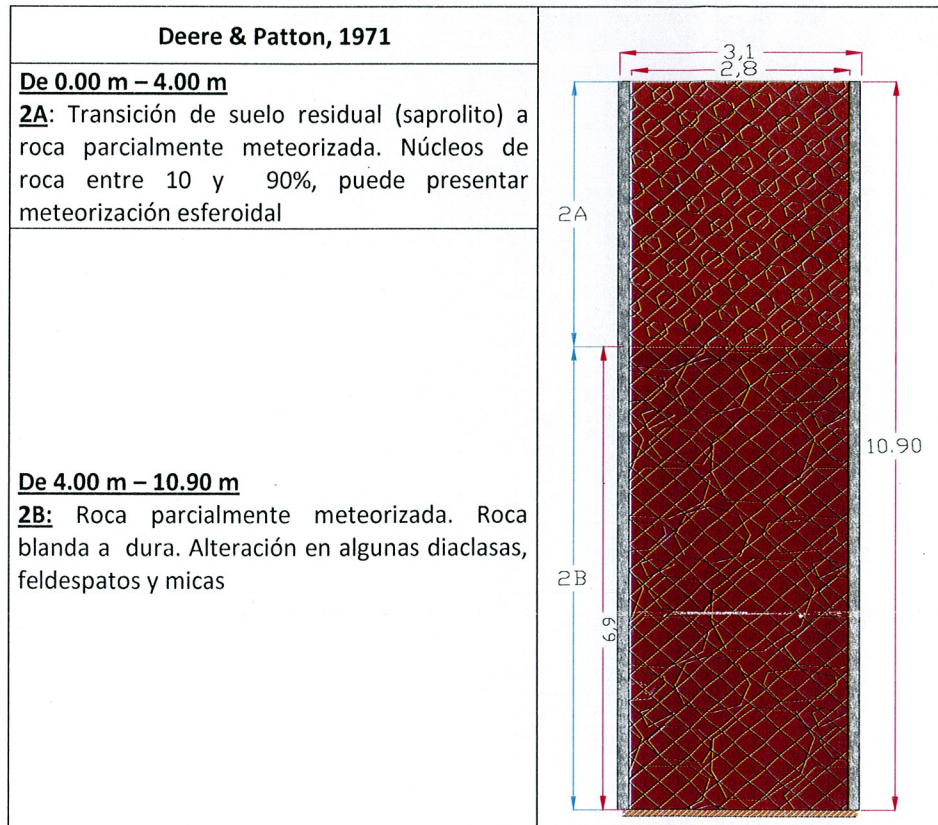
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 9 - CAISSON CENTRO.

- Diámetro 2.80m
- Longitud Excavada = 10.65m



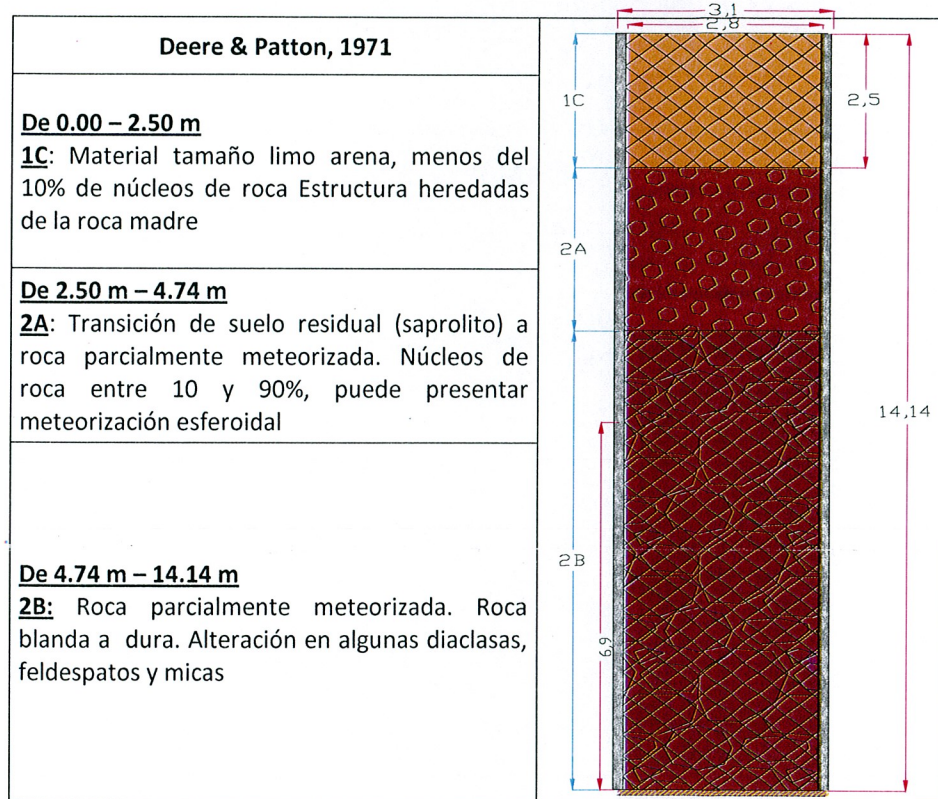
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 9 - CAISSON IZQUIERDO.

- Diámetro 2.80m
- Longitud Excavada = 10.90m



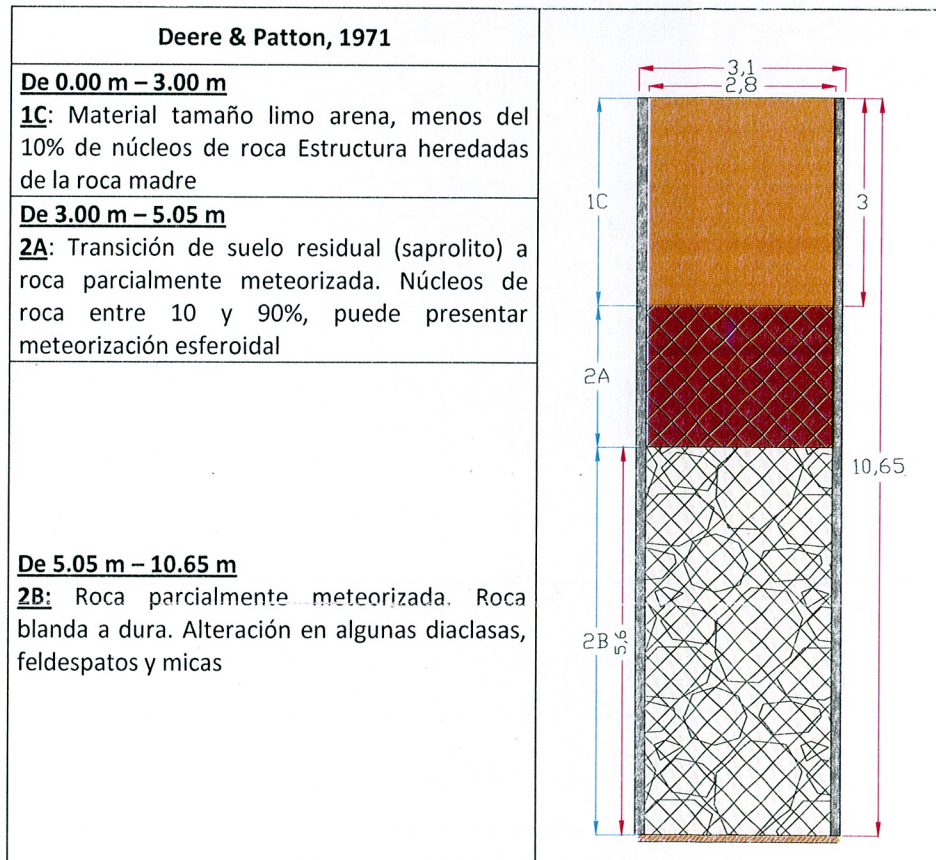
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 10 - CAISSON DERECHO.

- Diámetro 2.80m
- Longitud Excavada = 14.14m



PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 10 - CAISSON IZQUIERDO.

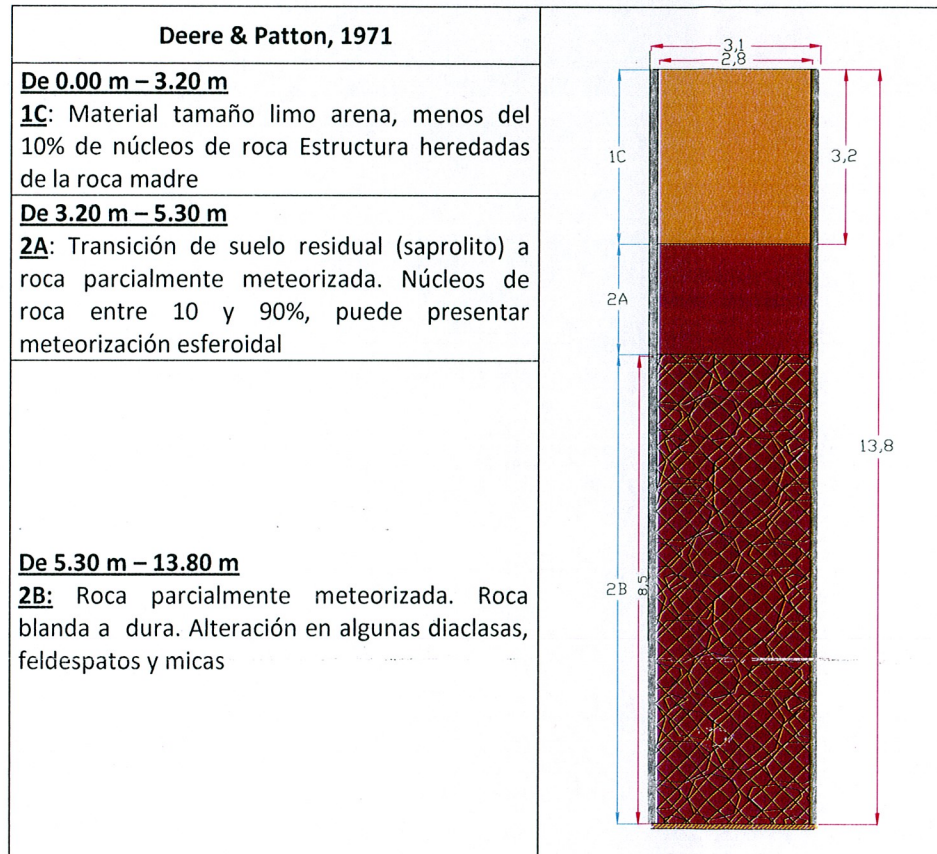
- Diámetro 2.80m
- Longitud Excavada = 10.65m



PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 11 - CAISSON DERECHO.

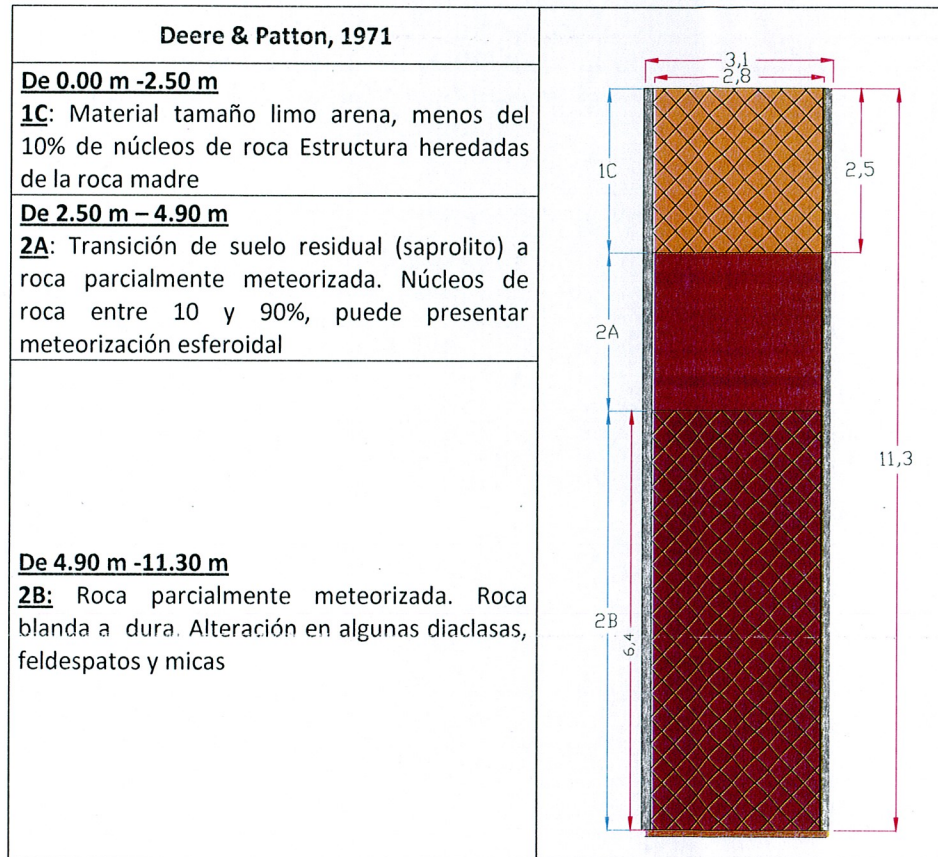
Diámetro 2.80m

Longitud Excavada = 13.80m



PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 12 - CAISSON DERECHO.

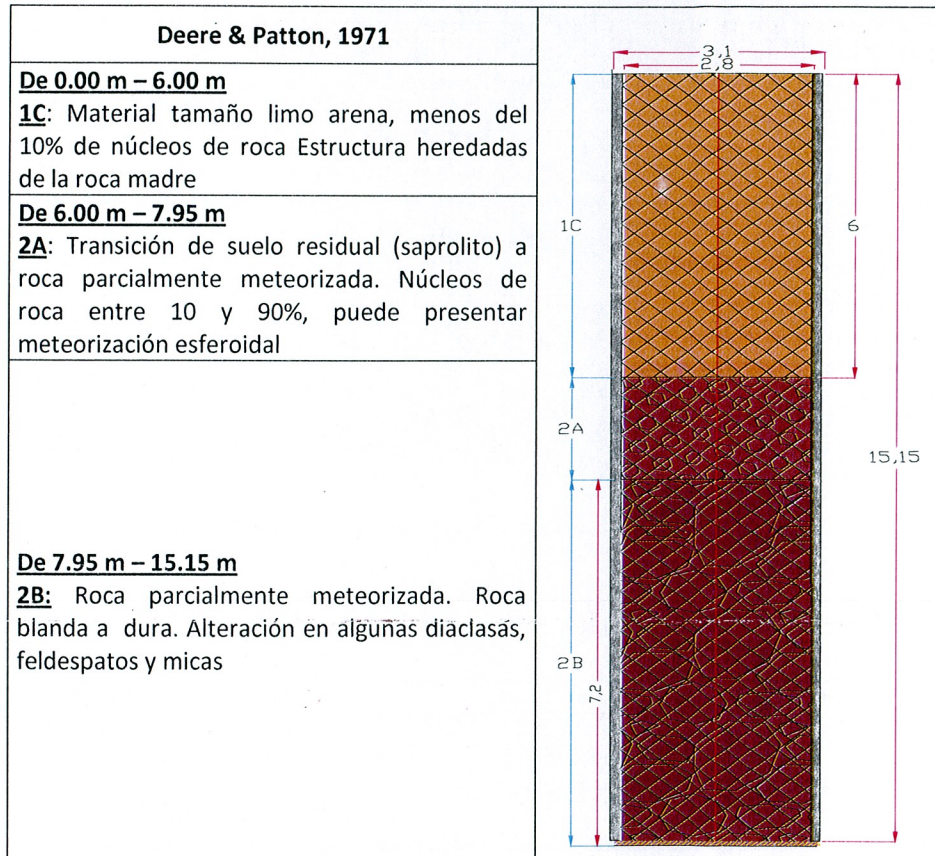
- Diámetro 2.80m
- Longitud Excavada = 13.80m



PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 12 - CAISSON IZQUIERDO.

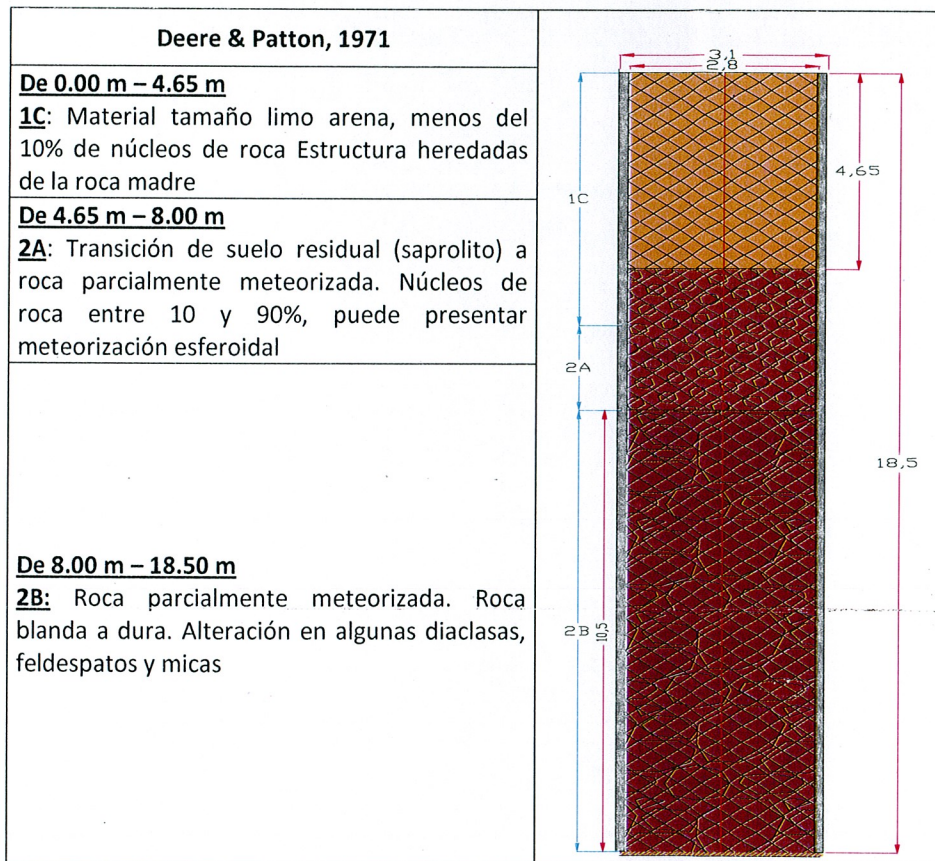
Diámetro 2.80m

Longitud Excavada = 15.15m



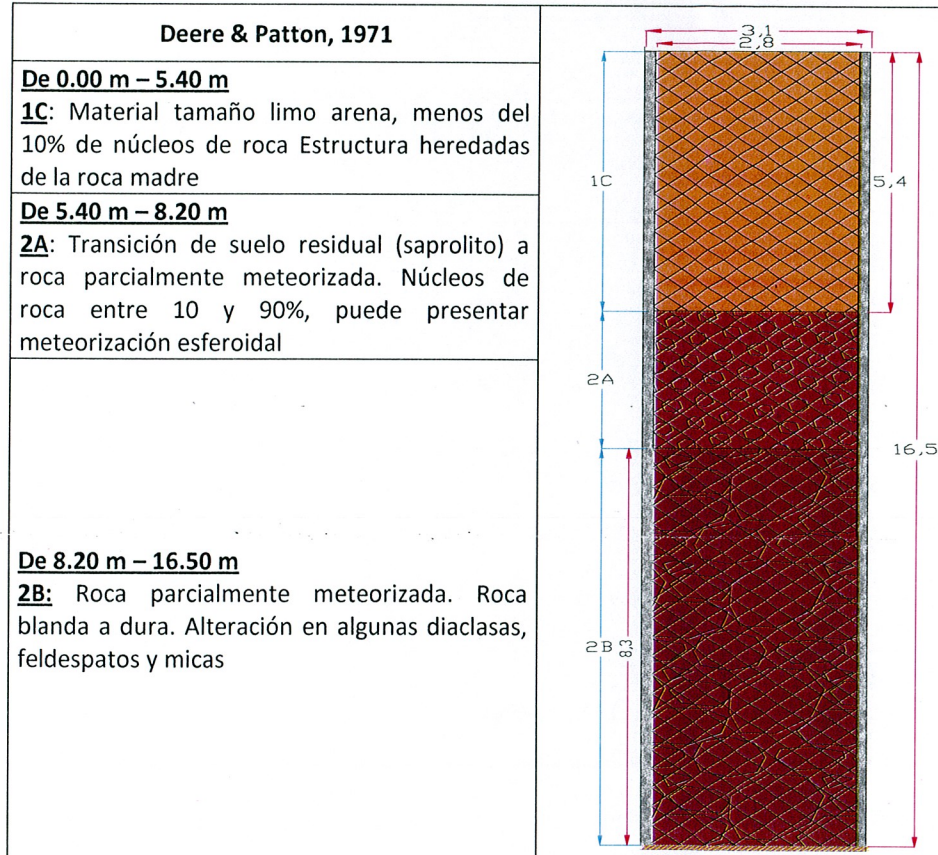
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 13 - CAISSON DERECHO.

- Diámetro 2.80m
- Longitud Excavada = 18.50m



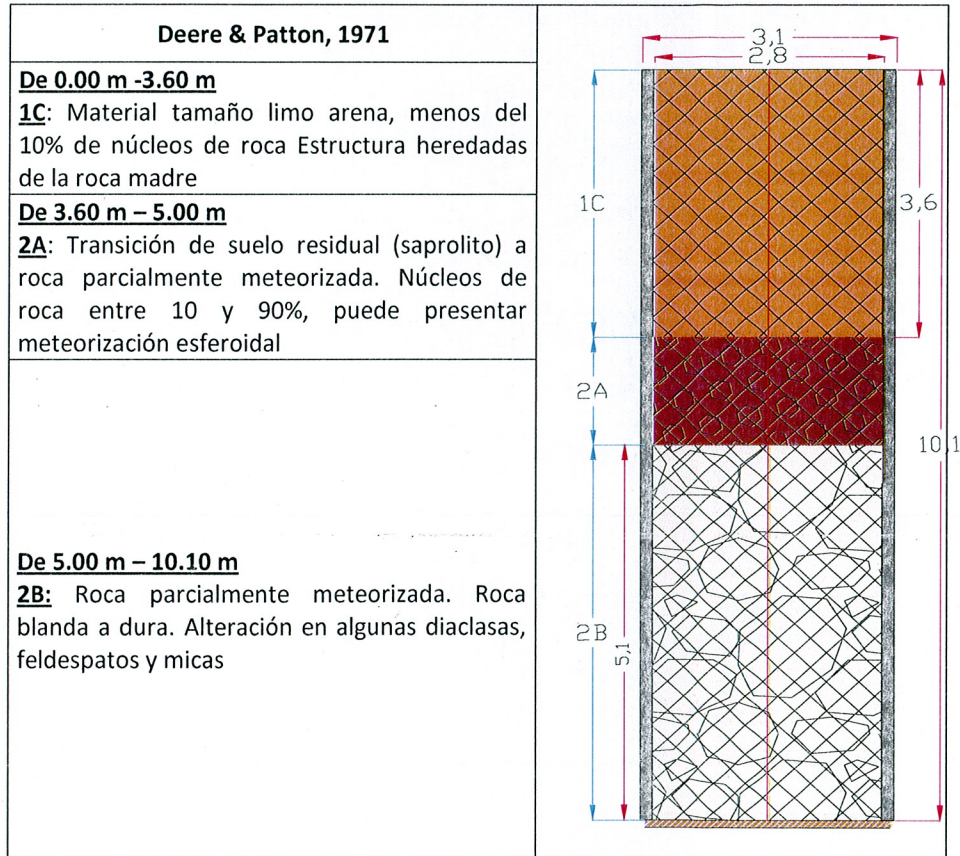
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 13 - CAISSON IZQUIERDO.

- Diámetro 2.80m
- Longitud Excavada = 16.65m



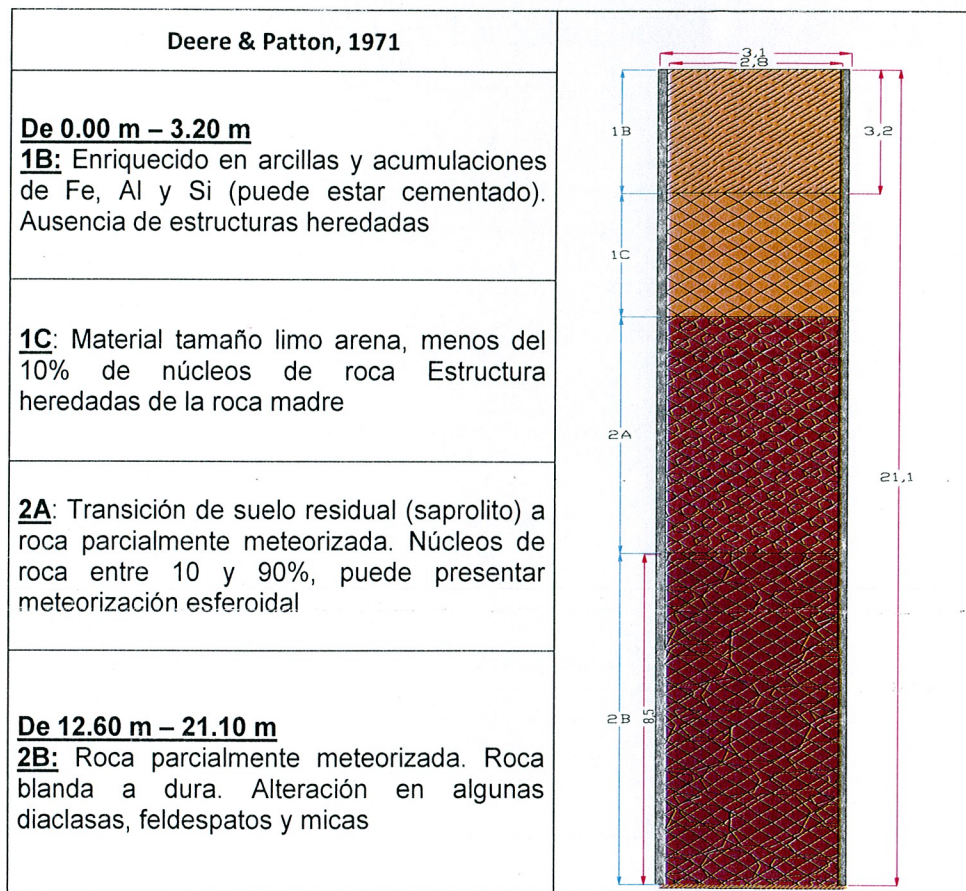
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 14 - CAISSON IZQUIERDO.

- Diámetro 2.80m
- Longitud Excavada = 10.10m



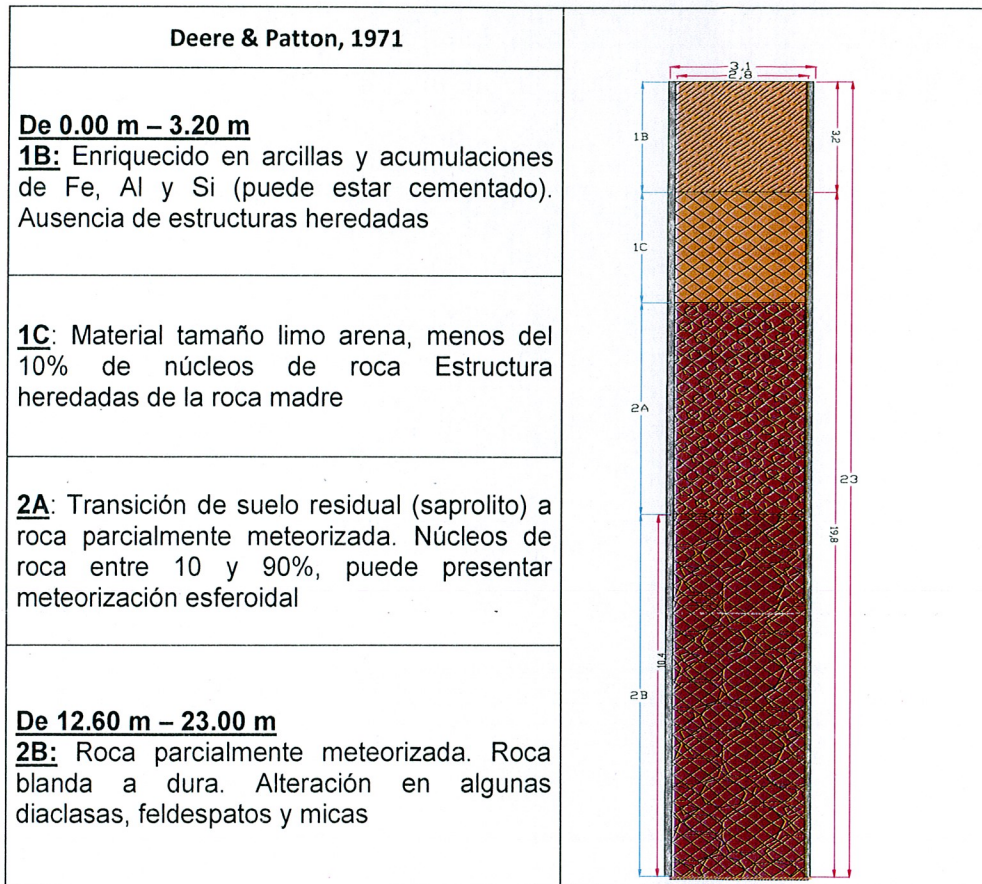
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 15 - CAISSON CENTRO.

- Diámetro 2.80m
- Longitud Excavada = 21.10m



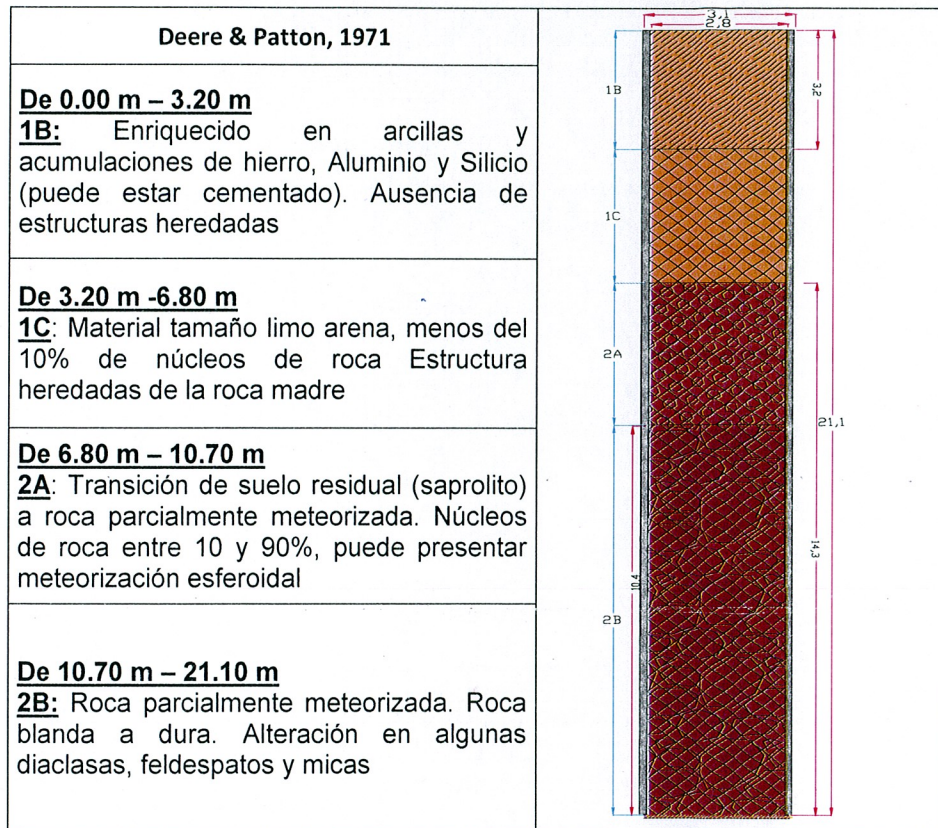
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 16 - CAISSON CENTRO.

- Diámetro 2.80m
- Longitud Excavada = 23.00m



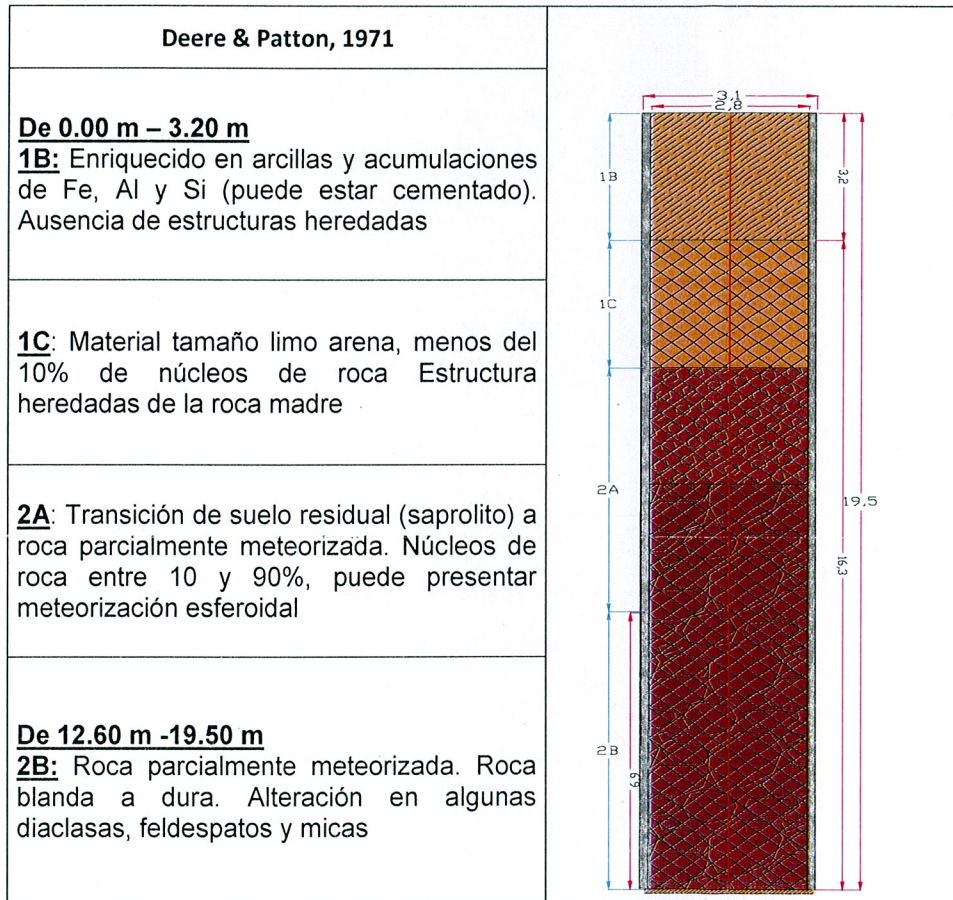
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 17 - CAISSON CENTRO.

- Diámetro 2.80m
- Longitud Excavada = 21.10m



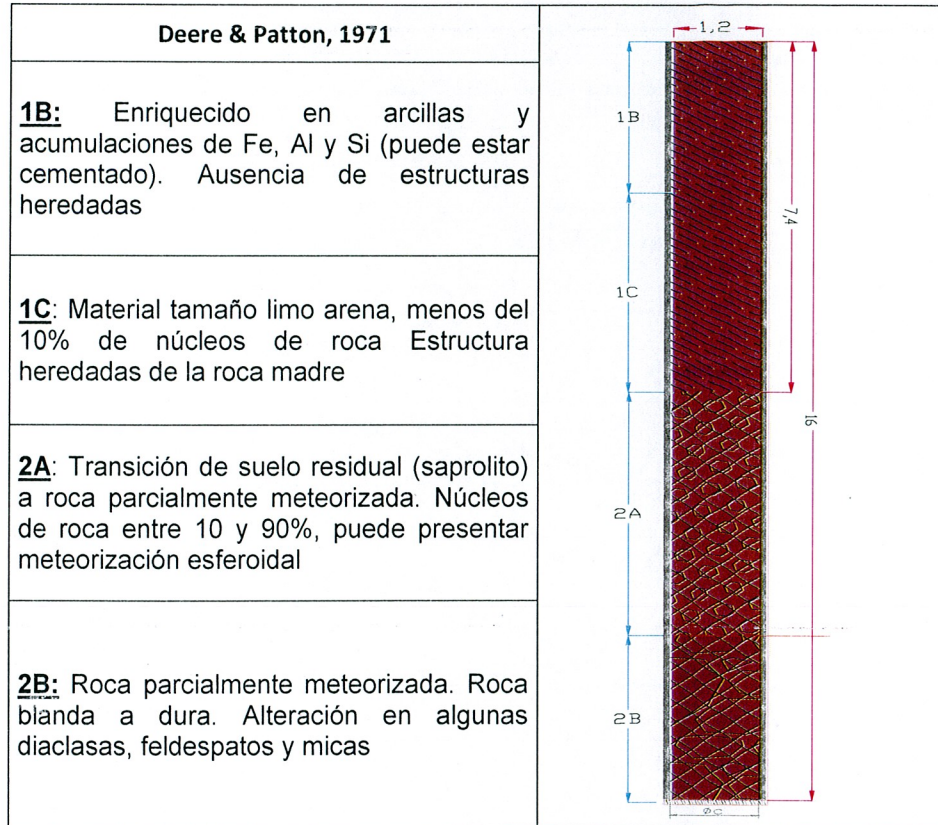
PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 18 - CAISSON CENTRO.

- Diámetro 2.80m
- Longitud Excavada = 19.50m



PERFIL ESTRATIGRÁFICO - EJE 19 - CAISSON IZQUIERDA.







- Diámetro 1.20m
- Longitud Excavada = 16.00m



4.5.4 SECTORIZACIÓN DE LA ZONA

En la vía entre la abscisa K38+402.68 y la K39+017 se encuentra el Puente No. 6, con 18 luces de 34m cada una apoyadas sobre 2 estribos y 17 pilas; la cimentación de los estribos del Puente es del tipo silleta sobre 3 pilotes de diámetro 1.20m y con Mono Caisson de 2.40m, y profundidades variables entre 8 y 25m

Convenciones

	Suelo residual limoso de consistencia blanda transportado
	Arcillas con grava pequeña
	Lutita negra moderadamente meteorizada
	Deposito coluvial
	Brecha
	Arenisca cuarzo feldspática de consistencia dura

4.5.4.1 Sector 1

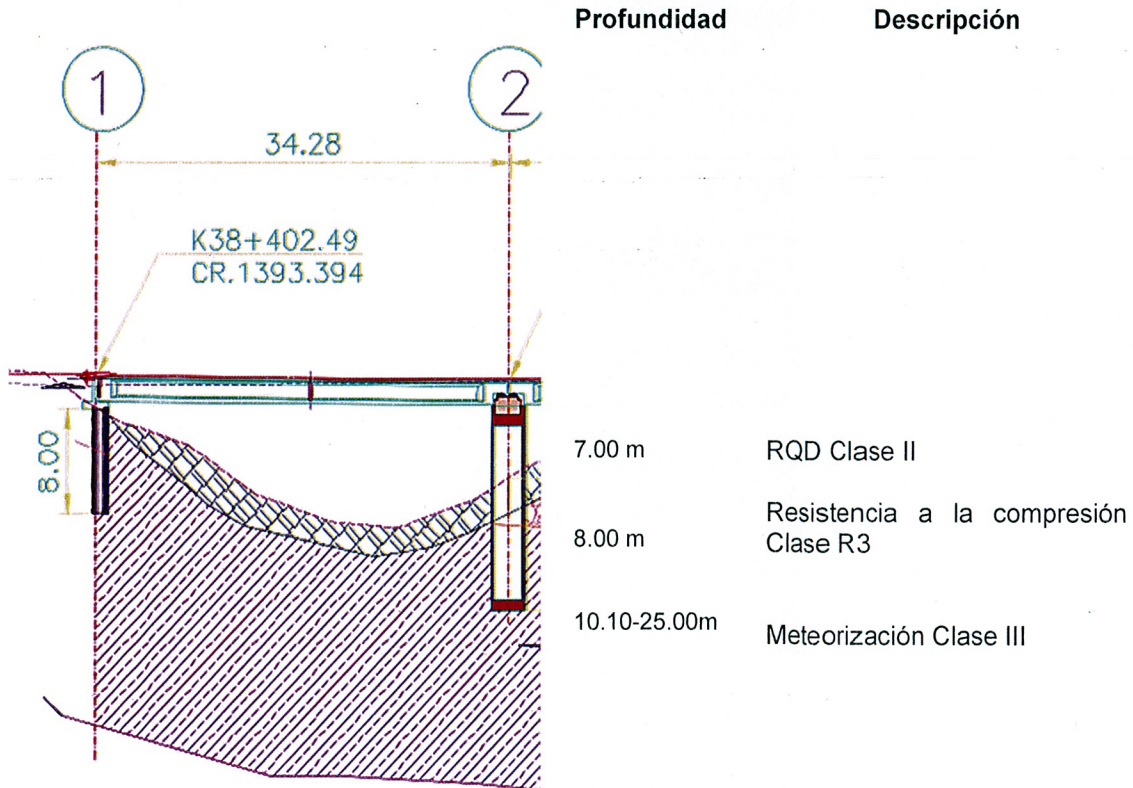
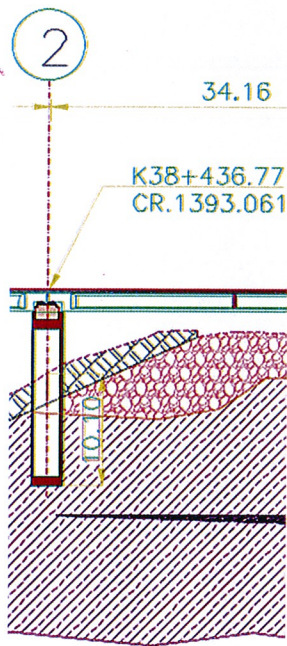


Figura 4-21 Perfil entre el Eje 1 y el Eje 2

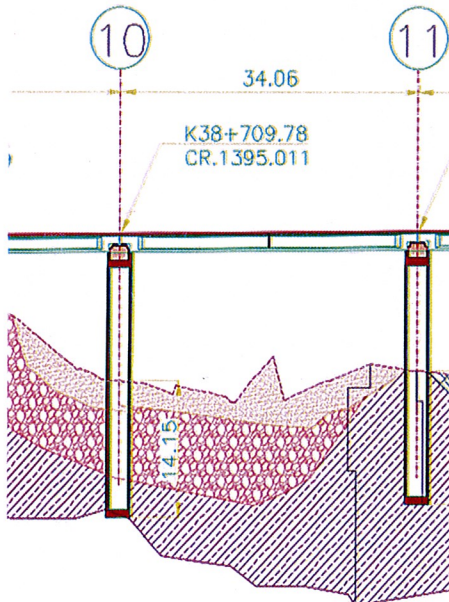
4.5.4.2 Sector 2



Profundidad	Descripción
7.00 m	RQD Clase II
8.00 m	Resistencia a la compresión Clase R3
10.10-25.00m	Meteorización Clase III

Figura 4-22 Perfil después del Eje 2

4.5.4.3 Sector 3



Profundidad	Descripción
9.00-10.00m	Meteorización Clase III
10.00 m	Resistencia a la compresión Clase R3
13.65 m	RQD Clase V

Figura 4-23 Perfil Entre el Eje 10 y el Eje 11

4.5.4.4 Sector 4

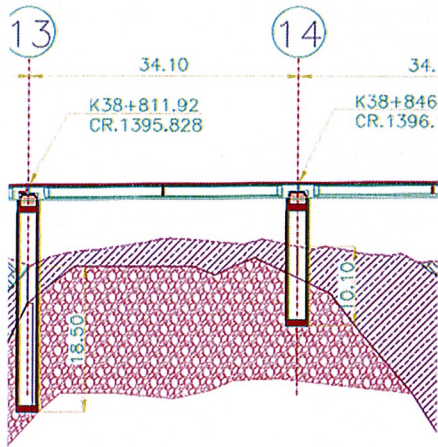


Figura 4-24 Perfil Entre el Eje 13 y el Eje 14

Profundidad	Descripción
9.00-10.00m	Meteorización Clase III
10.00 m	Resistencia a la compresión Clase R3
13.65 m	RQD Clase V

4.5.4.5 Sector 5

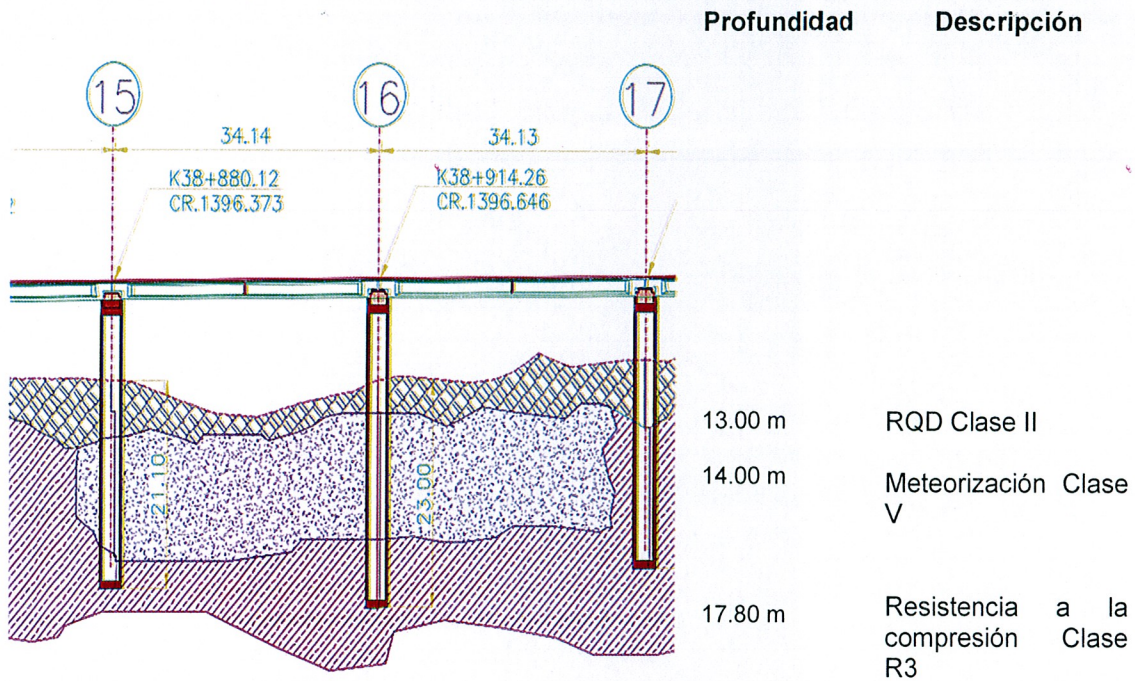


Figura 4-25 Perfil Entre los Ejes 15 al Eje 17

4.5.4.6 Sector 6

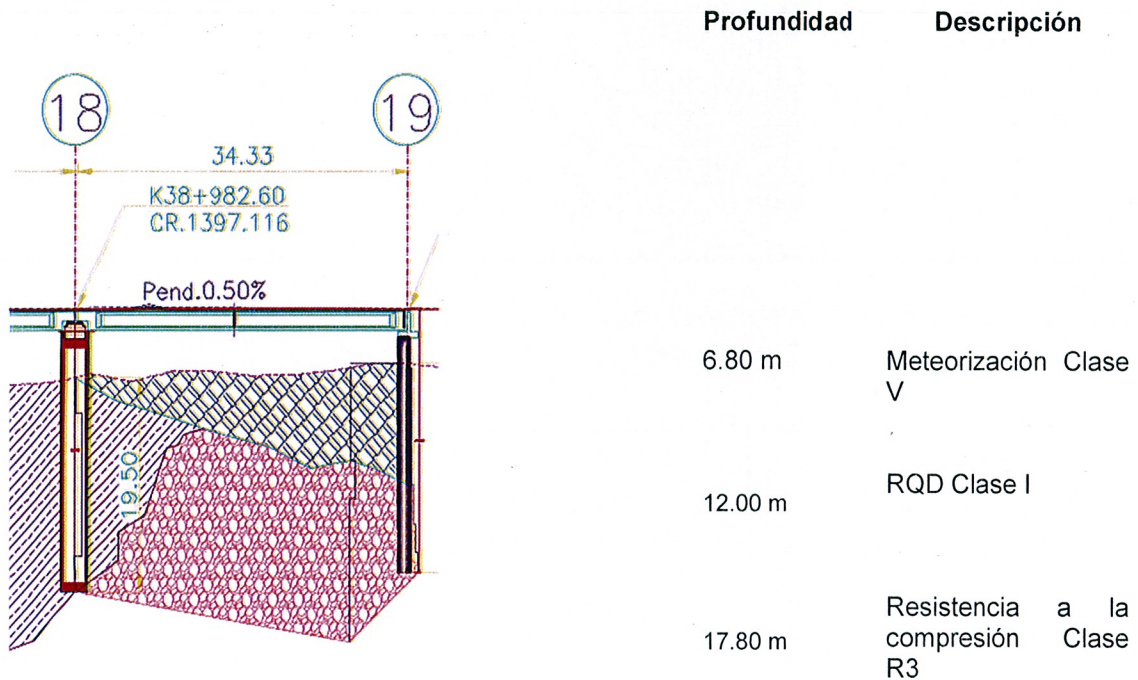


Figura 4-26 Perfil del Eje 18 al 19

4.5.4.7 Sector 7

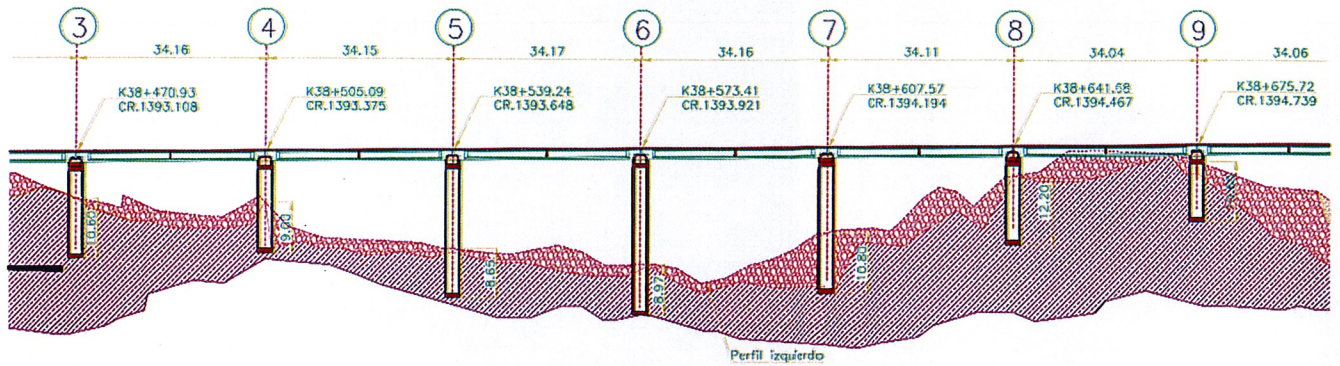


Figura 4-27 Perfil de los Ejes 3 al Eje 9

Profundidad	Descripción
9.00-13.00 m	Meteorización Clase IV
13.50 m	RQD Clase V
13.50 m	Resistencia a la compresión Clase R3

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Es importante tener en cuenta que los parámetros geotécnicos representativos de los suelos no son constantes, y dependen de diversos factores (modo de deformación, climatología). Las lutitas presentes entre Puente Quetame y Caquezá en la ubicación del puente 6, presenta una variación importante de su comportamiento, con la presencia de agua, por lo que es muy importante la construcción de filtros que eviten su saturación y pérdida de resistencia.
- Las velocidades de corte se pueden correlacionar con el N del ensayo SPT; hasta 400 m/seg de velocidad se obtienen N (50 golpes), después el material da rechazo, es decir a partir de los 2 m, según el registro de sismología.
- En el sector existen depósitos y rocas susceptibles a fenómenos de remoción de masa, que se debe prevenir controlando el flujo de agua superficial.
- En general el área presenta como tendencia el mismo perfil geológico, comenzando de la parte superior por suelos residuales de poco espesor que tienen en promedio de dos a tres metros (en algunos lugares se supera este espesor), compuestos por matriz arcillo-limosa, con gravas y bloques de lutitas; luego se presentan lutitas que son en su mayoría firmes, con algunos niveles friables más blandos e intercalaciones esporádicas de niveles de areniscas de grano fino las cuales pertenecen al grupo Cáqueza (Kc).
- Las principales unidades rocosas encontradas en el puente 6, son lutitas y areniscas cuarzosas de la Formación Cáqueza inferior, las cuales están parcialmente meteorizadas y fracturadas, y que se encuentran cubiertas por suelos, depósitos aluviales, coluviales y derrubios de pendiente
- Se pudo determinar que la estabilidad natural de las laderas en los cortes no protegidos está afectada por las condiciones climáticas, la geología y la altura que alcancen los cortes. El cauce del Río Negro y su dinámica, también es determinante de la estabilidad de la zona de estudio.
- Las lutitas y los niveles de areniscas presentan alta deformación y fracturamiento, asociado al control estructural de la zona donde predominan pequeños pliegues geológicos.
- La zona de estudio tiene grandes problemas de filtración de agua por medio de las diaclasas.
- La clasificación del suelo antes de llegar a la roca es de arcillas y limos de baja plasticidad, aunque también se encuentran datos aislados que clasifican como ML o OL (limo de baja plasticidad o arcilla o limo). Ya que se presenta una caracterización para la mayoría de las muestras de CL-ML que se caracterizan como de baja plasticidad

- Las perforaciones realizadas en cada uno de los ejes y de acuerdo a su descripción visual, coincide con la formación Cáqueza y con los parámetros físicos resultado de los ensayos de laboratorio
- Las perforaciones exploratorias a lo largo del corredor evidencian un alto grado de fracturamiento en las rocas de la Formación Cáqueza, reflejado en bajos recobros y fugas totales del agua de perforación; esto también permite inferir bajos valores de dureza y resistencia y mala calidad de los materiales rocosos (RQD bajo).
- Las propiedades con las que se realizó el diseño inicial no coinciden con las exploraciones realizadas en el terreno
- El Puente No. 6 se clasificó en 7 sub-sectores, de acuerdo con la continuidad de material encontrado en cada eje, siendo el terreno gobernado en su gran mayoría por lutitas y areniscas cuarzosas de la Formación Cáqueza inferior.
- Se presenta un buzamiento favorable para el terreno con una inclinación que genera estabilidad en la zona.
- Los diseñadores del puente hicieron pocos sondeos de acuerdo con la longitud que tiene el puente y su importancia, se hubiese aconsejado hacer un sondeo por punto de excavación.
- La caracterización realizada por los diseñadores fue superficial, ya que tomaron solo dos perforaciones, al inicio y al final del puente, y con respecto a esta información realizaron el diseño y dieron la profundidad de cada pila, siendo esta insuficiente en algunos ejes, generando así una mayor profundidad de cimentación en una superficie con un material con mejores características a las encontradas en las profundidades de diseño.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón G., A. (1976). *Bases para el estudio geotécnico de las lutitas en Colombia*. Bogotá.
- Bañón Blasquez, L. (23 de Octubre de 2017). *Clasificación de los suelos*. Obtenido de https://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02010103.pdf
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineerign rock mass classifications*. New York.
- Bongiorno, N. B. (2015). *CLASIFICACIONES GEOMECAÁNICA DE DE LOS MACIZOS ROCOSOS. BOGOTA: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN GEOLOGÍA APLICADA - UNIVERSIDAD ANDES DE COLOMBIA*.
- Camilo, T. S. (2006). Síntesis del Estado del Conocimiento sobre el Comportamiento Esfuerzo-Deformación y Degradabilidad de rocas Lodosas. VI Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. *Universidad Nacional de Colombia - Colciencias*, 477 - 491. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/338586061/rcr-14>
- CONCEJO MUNICIPAL DE CAQUEZA. (2000). *ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL*. Obtenido de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Imagenes/eot%20caqueza-%20cundinamarca-acuerdo%20006.pdf>
- Cortes, R., & De la Espriella, R. (1992). *Apuntes sobre la tectonica del Valle Rio Negro al Oriente de Cundinamarca*.
- Cullity, B. D. (2001). En Cullity, *Elements of x-ray diffraction*. (pág. 678). NJ Prentice Hall.
- Delgado V, M. (1996). *Ingenieria de Fundaciones*.
- FONDO FINANCIERO DE PROYECTOS DE DESARROLLO – FONADE. (octubre de 2013). *CONSULTORÍA ESPECIALIZADA PARA LA ESTRUCTURACIÓN DE CONCESIONES VIALES*. Obtenido de ftp://ftp.ani.gov.co/Bogota%20Villavicencio%20Sector1/3%20TOPOGRAFIA%20Y%20GEO METRIA/AUXILIARES/APENDICES/AP%3%89NDICE%201/INFORME%20ALTERNATIVAS%20S1-S3/202008-G3P2-ALT_COR%20-S1_S3-00.pdf
- G., P. H., & Davis, E. H. (s.f.). *Pile Foundation Analysis and design*.
- Gaviria. (1993). En L. E, *Química analítica instrumental* (pág. 350). Bogotá.
- Herson, M. C. (Noviembre de 2008). Cambio climático y desplazamiento. *Migraciones forzadas*, <http://www.fmreview.org/sites/fmr/files/FMRdownloads/es/pdf/RMF31/RMF31.pdf>. Obtenido de <http://www.fmreview.org/sites/fmr/files/FMRdownloads/es/pdf/RMF31/RMF31.pdf>
- Ingeominas. (1997). *Mapa de amenaza sísmica de Colombia*.
- INGEOMINAS. (1997). *Mapa de Amenazas sismica de Colombia*.
- James, K., & Gereman, O. (2005). *Crustal structure of the Eastern Cordillera*. Barcelona.

- LAS AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA DE COLOMBIA. (2017). BOGOTÁ.
- (1998). *LFRD Bridge Design Specifications*. AASHTO.
- Maniriker, G. (2006). *The Foundation Engineering Handbook*.
- (s.f.). *Manual de diseño y construcción de pilas y pilotes*. Sociedad Mexicana de Mecánica de suelos.
- Montero Olarte, J., Torres Suarez, M. C., Cortes Delvalle, R., & Palomina Saavedra, C. A. (23 de Agosto de 2017). *Rocas Lodosas Cordillera Oriental de Colombia - Mudrocks from the Colombian Easterns Mountain Range*. Obtenido de XIII Congreso Colombiano de Geotecnia - VII Seminario Colombiano de Geotecnia : https://www.researchgate.net/publication/317731659_Rocas_Lodosas_Cordillera_Oriental_de_Colombia_Mudrocks_from_The_Colombian_Eanstern_MountainRange
- OSORIO, U. E.-D.-D., & Jiménez, D. G. (SEPT 2014). *PROYECTO CORREDOR 2 BOGOTÁ - VILLAVICENCIO SECTOR 2.1 BOGOTÁ – EL TABLÓN*. BOGOTÁ - TABLON.
- Paris, G., Machete, M. N., L. Dart, R., & Haller, K. (2000). *Map and Database of Quaternary Faults and folds in Colombia and its Offshore Regions*. USFS report 00284.
- RENZONI, G. (1967). *GEOLOGIA DEL MACIZO DE QUETAME*. Bogotá: Servicio Geológico Nacional.
- Ricardo, C. R. (1992). *Apuntes sobre la tectónica del Valle del río Negro al Oriente de Cundinamarca*.
- Rodríguez, J. A. (Abril de 2007). *Ingeniería geológica: CARACTERIZACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS*. Obtenido de http://www.academia.edu/7560586/CARACTERIZACION_DE_MACIZOS_ROCOSOS
- S.A., O., & C., R. (1990). *Cartografía Geológica de la Plancha 209-IV-C, aplicada a la Hidrogeología*. CAR - INGEOMINAS.
- Sachinath., M. (1989). En J. W. Sons, *Fundamentals of optical, spectroscopic and x-ray mineralogy* (pág. 236). New York.
- Suárez, M. C. (2011). *Efectos de los ciclos de carga - Descarga y humedecimiento - Secado en el comportamiento Geomecánico de Rocas Lodosas de los Andes*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional - Colciencias.
- Tiempo, R. E. (1997). DESDE HACE 238 AÑOS SE CONSTRUYE LA VÍA AL LLANO. *EL TIEMPO*, <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-520475>.
- Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*.