INFORME GEOTÉCNICO



Estudio geotécnico para pavimentación de vía rural.

Vereda Aguabonita, Pensilvania, Caldas

Pensilvania, Caldas
Agosto 2024

ZENIT
Ingeniería y Consultoría

ZENIT
Ingeniería y Consultoría

Contenido

1. Introducción 3

2. Localización..... 4

3. Marco geológico..... 6

3.1 Unidades del Paleozoico 6

3.2 Unidades del Mesozoico..... 9

3.3 Unidades del Cenozoico.....10

3.4 Geología estructural 12

3. Marco geomorfológico..... 14

4.1 Geomorfoestructura.....15

4.2 Provincia Geomorfológica 15

4.3 Región Geomorfológica 15

4.4 Unidad Geomorfológica 16

4.5 Subunidad geomorfológica.....17

4. Prospección geotécnica 18

5.1 Descripción de los CBR.....18

5. Análisis de la capacidad de carga de las subrasantes para tramos vías rurales 21

5.1. Módulo de resiliencia 22

6. Comentarios finales y recomendaciones 23

1. Introducción

Los estudios geotécnicos se convierten en el instrumento básico antes de iniciar cualquier tipo de intervención en materia de infraestructura pues el suelo se convierte en el material que deberá soportar los esfuerzos transmitidos por las obras para lo cual deberá comportarse de forma tal que se garantice el equilibrio suelo – estructura, suelo – vía, suelo – acueducto, etc. Cualquier edificación u obra que requiera ser construida, remodelada o modificada en alguno de sus componentes debe tener una serie de estudios y diseños que respalden la viabilidad técnica de las intervenciones que se pretenden realizar. En Colombia existe el Código de Construcción Sismorresistente del año 2010 (NSR-10) emitido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el cual dicta las disposiciones que se deben tomar en cuenta para los estudios geotécnicos, sin embargo, también existen reglamentos emitidos por la RAS y el INVIAS, entre otros.

En desarrollo del estudio, se realizó la definición del proyecto haciendo una breve descripción del tipo de estructura que se pretende construir en el sitio, una ligera caracterización física y geográfica del lugar en general, la evaluación y descripción de los materiales encontrados en la exploración del terreno y los resultados de laboratorio para con estas herramientas ofrecer un diseño de obra de contención y la caracterización del material con fines de pavimentación de vías para así emitir las recomendaciones locales y generales de manejo de los suelos y construcción del sistema.

En el municipio de Pensilvania, Caldas, específicamente en la vereda Aguabonita, se pretende mejorar un tramo de la vía rural, por lo tanto, se hace necesario la realización de un estudio de suelos que permita conocer las características físicas y mecánicas del terreno y la subrasante, lo anterior porque los suelos están en permanente cambio debido a la acción de los múltiples agentes exógenos (en especial el clima) que meteorizan los materiales preexistentes y tienden a ocasionar erosión. Se busca entonces determinar la composición y las propiedades físicas de los materiales que conforman los estratos para determinar su competencia, estabilidad, empujes, entre otros aspectos importantes para la implantación de las obras.

El estudio se realizó en la zona indicada por el interesado en el área donde se va construir. Cabe anotar que el presente documento es y hace parte integral de las memorias de cálculo estructurales de las obras a construir

2. Localización

Pensilvania es un municipio colombiano ubicado en el departamento de Caldas. Se conoce como la Perla del Oriente por su belleza natural y por la calidad humana de sus pobladores. Su ubicación geográfica es 5° 23’ latitud norte, 75° 09’ latitud occidental a 2.100 metros de altura promedio sobre el nivel del mar.

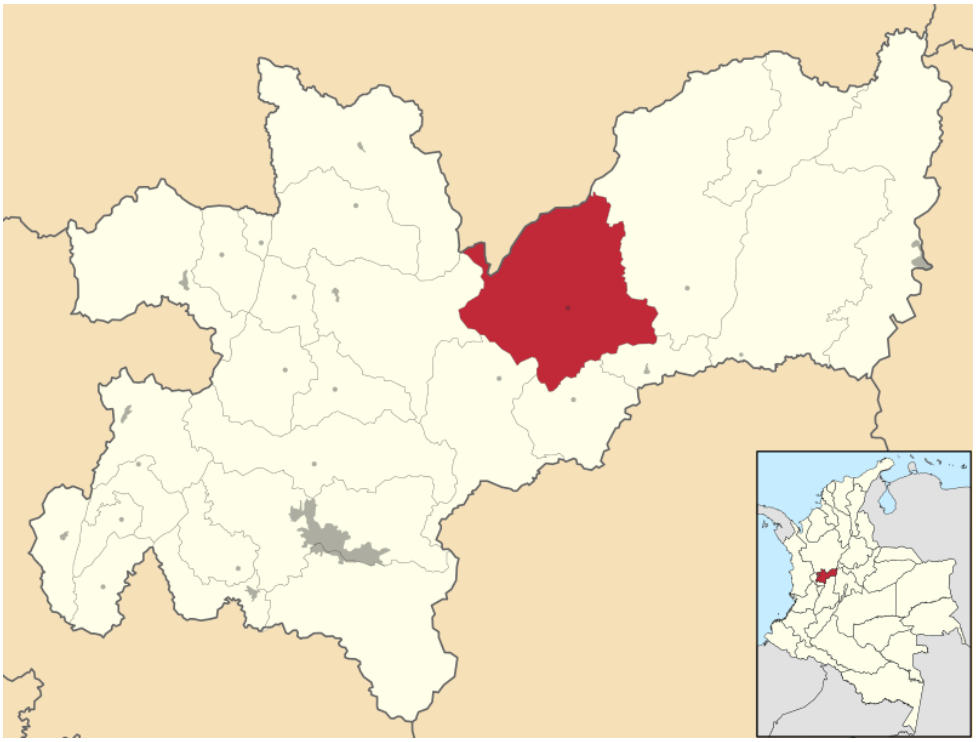


Figura 1. Mapa de localización del municipio de Pensilvania, Caldas

Pensilvania representa 523 kilómetros cuadrados del Oriente del Departamento de Caldas y está situado a 145 kilómetros de distancia de Manizales, la capital del Departamento. Sus vecinos son Sonsón y Nariño al norte y noroeste; Samaná al oriente; Aguadas, Salamina y Marulanda al occidente; y Marquetalia y Manzanares al sur y suroeste. Tiene una temperatura de 17 grados centígrados con pisos térmicos que van de cálido-húmedo al norte y de páramo y subpáramo al occidente.

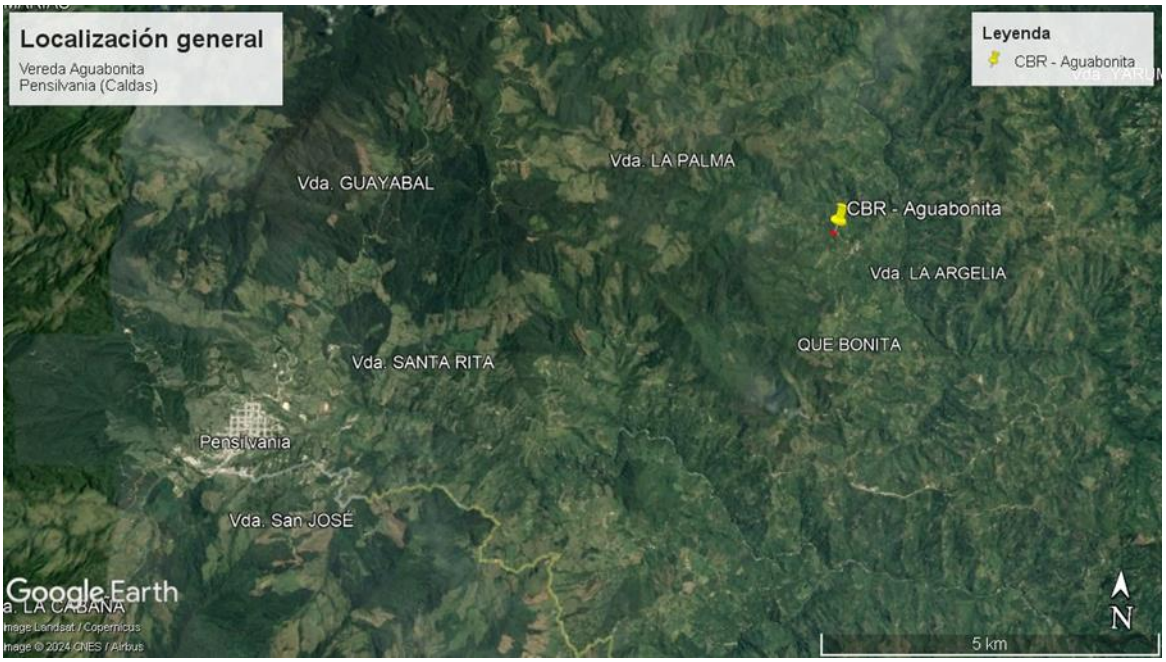


Figura 2. Localización general del sitio de interés. Municipio de Pensilvania, Caldas. Tomado de Google earth (2024).



Figura 3. Localización específica del sitio de interés. Fuente: Tomado de Google earth (2024).

3. Marco geológico

La información de la geología regional se obtuvo en base a la cartografía realizada por Ingeominas, en los informes y Planchas como son:

- Geología de la Plancha 187-Salamina

-Geología de la plancha 188-La Dorada

- Geología de la Plancha 206-Manizales.

- Geología de la Plancha 207-Honda.

A continuación, se definen las unidades correspondientes teniendo en cuenta su edad, de la más antigua a la más reciente:

3.1 Unidades del Paleozoico

Complejo Cajamarca.

Complejo Cajamarca es el nombre utilizado por González (1989) para el conjunto de rocas metamórficas que constituyen el núcleo de la Cordillera Central. Las características mineralógicas y facilidad de identificación permitieron separar, tres grupos composicionales: Las paragénesis metamórficas indican un bajo grado de metamorfismo predominante en facies esquisto verde, aunque localmente se encuentran en rocas facies anfibolita. Los esquistos verdes son menos abundantes y se encuentran intercalados con los esquistos sericíticos. Las secuencias metasedimentaria de Marulanda muestra un menor grado de metamorfismo que las otras unidades metamórficas y aparentemente corresponde a la parte superior de la secuencia metamórfica, donde el cambio en la intensidad del metamorfismo es debido a la posición estructural más alta dentro de la pila sedimentaria original durante el metamorfismo, (González, 2001).

En Núñez A., 2001, el complejo está conformado por una gran variedad de rocas, producto de metamorfismo regional de medio a bajo grado, facies esquisto verde hasta anfibolita. La litología más frecuente es de esquistos de clorita-albita-epidota, clorita-albita-actinolita, cuarzo-sericita-grafito, cuarcitas y cuarcitas biotíticas. Los colores dominantes son verdes y grises a negros. Subordinadamente se encuentran mármoles, esquistos micáceos, esquistos anfibólicos y ocasionalmente anfibolitas. Las relaciones estratigráficas, entre las diferentes litologías, son complejas Camacho, J., et al., (2004).

El Complejo está compuesto por varias unidades, con características mineralógicas y texturales, que las permiten separar y se describen a continuación:

- **Grupo Pelítico:** Constituido por filitas, esquistos sericíticos y micáceos (Pes) y metasedimentitas (Pmm).
- **Grupo Cuarzoso:** Cuarcitas (Pq).
- **Grupo Básico:** Esquistos verdes y anfibolitas (Pev).

Esquistos Cuarzo - Sericíticos (Pes).

Esta unidad corresponde a esquistos Cuarzo-Sericíticos, constituyen uno de los tipos litológicos más abundantes y característicos del complejo Cajamarca; presencia de grafito en cantidades variables le imparten un color gris a negro característico, por lo cual se denominan en el campo, esquistos negros. Esta unidad incluye no solo los esquistos sericíticos predominantes, sino que por gradación mineralógica pasan a cuarcitas o esquistos grafíticos y por variación textural, a filitas. Las rocas predominantes están compuestas por cuarzo, sericita, grafito, clorita y, como accesorios, micas, apatito, turmalina y opacos metálicos. Son rocas paleozoicas del carbonífero superior.

Cuarcitas (Pq).

Según González (2001), está unidad de rocas paleozoicas del carbonífero superior está compuesta por cuarcitas, que aparecen intercaladas e interdigitadas con los esquistos cuarzo sericíticos; existe una transición al disminuir el contenido de cuarzo y aumentar el de la mica blanca; la estructura varía desde maciza granoblástica de grano fino hasta esquistosa heteroblástica. Lo anterior significa variación tanto en la composición del protolito sedimentario como en las condiciones de sedimentación. La roca predominante está compuesta por cuarzo sacaroidal en mosaicos, de textura granoblástica poligonal, localmente con biotita y feldespato. A medida que aumenta el contenido de biotita la estructura se vuelve bandeada con capas delgadas de este mineral que separan mosaicos granoblásticos de cuarzo.

Esquistos Actinolíticos - Cloríticos (Pev).

Los esquistos actinolíticos – cloríticos, corresponden a rocas paleozoicas del carbonífero superior, son conocidos en el campo como esquistos verdes por su color característico en tonos claros y oscuros; son rocas macizas a esquistosas con foliación definida por la orientación paralela a subparalela de anfíbol fibroso y clorita. La proporción relativa de las fases predominantes es variable, pero en términos generales, los minerales verdes que caracterizan la unidad: epidota, clorita, anfíbol, están en proporción similar. Su composición y alternancia con esquistos cuarzo-sericíticos de protolito sedimentario, hace pensar que los esquistos verdes se originaron en eventos volcánicos que alternaron con la depositación de sedimentos en una fosa.

Metasedimentitas de Marulanda (Pmm).

Las metasedimentitas de Marulanda corresponden a la prolongación hacia el sur de la unidad denominada por González (1980), rocas metamórficas de bajo grado sin diferenciar (Pbsd), constituida por rocas de muy bajo a bajo grado de metamorfismo que conservan, en parte, la textura clástica del sedimento original.

El cuerpo principal de esta unidad se encuentra en los alrededores de Marulanda, de donde recibe el nombre (González y Ruiz, 1993), con excelentes afloramientos en la carretera hacia Pensilvania y a lo largo del rio Hondo; está constituido por una alternancia de metalimolitas, metareniscas, pizarras, filitas y cuarcitas, donde la presencia de mica blanca, clorita y ocasionalmente biotita y la texturas de las rocas indican que los sedimentos fueron afectados por un evento metamórfico dinamotérmico regional.

Las metalimolitas y metareniscas se presentan intercaladas con las demás metamorfitas y solo se diferencian microscópicamente por el tamaño del grano. En muestra de mano presentan coloración gris pardo y gris oscuro, con pequeñas venas de cuarzo, ocasionalmente. La matriz, conformada por cuarzo finogranular y pequeños cristales de mica blanca, se encuentra recubierta por material arcilloso posiblemente producto de alteración de feldespatos y carbonoso en algunas muestras. Las pizarras y filitas se presentan finamente laminadas, de colores verdes, gris plomo y gris verdoso.

La presencia de algunos fragmentos líticos de rocas metamórficas (cuarcitas), sugiere que la secuencia sedimentaria original se produjo a partir del levantamiento y posterior erosión de las

rocas metamórficas preexistentes. Esta secuencia estuvo luego sometida a eventos de metamorfismo regional de grado bajo y térmico de grado medio.

3.2 Unidades del Mesozoico

Batolito de Sonsón (Jcds).

El Batolito de Sonsón recibe su nombre de la población de Sonsón, al norte del área cartografiada (González, 1980), y tiene una extensión de 950 Km², de los cuales 60 Km² de su extremo sur afloran en la Plancha 206. Gran parte de los contactos y su posible extensión al sur, se encuentran cubiertos por depósitos piroclásticos recientes, lo cual impide determinar relaciones o tipo de contacto con otras unidades, pero aparentemente es intrusivo del Complejo Cajamarca, formando en la mayoría de los casos, una aureola de contacto bien definida, excepto en su extremo sureste donde el contacto está controlado por la Falla Samaná Sur. El contacto con la Formación Valle Alto es fallado o discordante (González, 1980).

El Batolito es un cuerpo de composición homogénea, predominantemente tonalítica con rocas más básicas, dioritas y gabros, hacia el borde occidental; la estructura es masiva fanerítica equigranular de grano medio y localmente hacia los bordes presenta una estructura masiva fanerítica equigranular de grano medio y solo localmente hacia los bordes presenta una estructura protoclástica definida por la alineación de cristales laminares de mica o prismáticos de hornblenda con una inclinación suave hacia el este (González, 2001).

La roca predominante es una tonalita maciza de color moteado sal y pimienta, y estructura ligeramente néisica hacia los bordes. La textura es hipidiomórfica equigranular de grano medio con evidencias de deformación a lo largo de las Fallas de rio Dulce y Samaná Sur.

Formación Valle Alto (Jav)

La Formación Valle Alto recibe su nombre de la región de Valle Alto en la Plancha 187 (González, 1980) y se extiende hacia el sur hasta las de Marulanda donde desaparece cubierta por secuencias piroclásticas recientes. La extensión de sus afloramientos, en la Plancha 206, es de 48 km²; los mejores afloramientos se encuentran expuestos a lo largo de las carreteras Cruces - Valle Alto y San Félix - Marulanda.

Los contactos entre las sedimentitas y plutonitas o metamorfitas en el área son fallados o están cubiertos por acumulación de piroclastosrecientes. La Formación Valle Alto aparece en contacto

fallado con la Formación Abejorral y, más al norte, fuera del área de la plancha, en contacto discordante (González, 1980) sobre plutonitas del Batolito de Sonsón e infrayace a sedimentitas de la Formación Abejorral. Predominan sedimentitas areno-rudáceas con restos de plantas relativamente bien conservados en la facies lodosa. Las facies existentes presentan rápidos cambios, tanto en la vertical como en la horizontal, en textura y espesor, pero no en la composición.

Las facies reconocidas son de conglomerados, arenitas, lodolitas y de vulcanoclastitas. La primera está constituida por conglomerados con soporte lodo-arenoso con escaso de estratificación y donde las gravas son cuarcitas y líticos de otras metamorfitas subordinadas embebidas en una matriz lodoarenosa; los clastos intraformacionales están representados por fragmentos de lodolitas y arenitas y por conglomerados granosoportados donde las gravas tienen la misma composición del conglomerado anterior, pero se distinguen mejor las estructuras sedimentarias.

Las plantas recolectadas en esta secuencia fueron asignadas al Jurásico medio (González et al., 1977); sin embargo, Etayo (1985) considera, con base en el estudio paleozoológico, que es más probable una edad cretácica inferior para esta secuencia.

3.3 Unidades del Cenozoico

Rocas Hipoabisales (Td, Tda)

Cuerpos de rocas porfiríticas, de composición variable entre andesita y dacita, constituyen formas sobresalientes en la parte oeste de la plancha 187, su edad no es muy clara, presumiblemente es Oligoceno (Ingeominas 1980).

Depósitos Piroclásticos (Qto)

Esta unidad corresponde a depósitos piroclásticos de caída, producto de la actividad cuaternaria de los volcanes del Complejo Ruiz – Tolima, cubren gran parte de la región central de las planchas, aledaña al eje central de la Cordillera Central, oscureciendo las relaciones entre unidades litológicas más antiguas y suavizando la morfología del terreno.

Las capas piroclásticas están compuestas por cenizas, lapilli pumítico y, ocasionalmente, bombas volcánicas. En los cortes de las carreteras a Letras, Herveo y Murillo se observan espesores de más de 30 m de cenizas y lapilli pumítico con varios niveles de suelos fósiles intercalados, que se acomodan a la topografía preexistente. Localmente, aparecen algunos niveles arcillosos

intercalados en la secuencia de ceniza – lapilli que indican una depositación en un medio acuoso. El grado de litificación, por lo general, es bajo.

Cerca al Cerro Bravo, sector El Doce, se encuentra, como material suelto, bombas corteza de pan, con diámetro promedio de 10 cm, que indica explosiones recientes en el complejo de domos. Bombas de este tipo que se encuentran a mayor distancia, hacen parte de los fragmentos juveniles de flujos de ceniza y pómez que fueron arrojados como proyectiles balísticos y luego incorporados en el flujo. Los depósitos de ceniza encontrados en el área han tenido como fuente los volcanes Ruiz y Tolima, ya que los directamente asociados con el Volcán Cerro Bravo son, generalmente, productos que acompañan otros materiales piroclásticos emitidos en las erupciones (González, 2001).

Los depósitos o capas de pómez o lapilli pumíticos corresponden a depósitos plinianos de caída; tienen una distribución muy amplia alrededor del Volcán Cerro Bravo y están intercalados con los demás productos del mismo. Herd (1974) identificó en el área 17 niveles plinianos asociados a la actividad del Cerro Bravo en los últimos 14000 años, mientras que Lescinky (1990), los dividió en 9 niveles. Los fragmentos juveniles son de pómez de tonalidades variadas en superficie y blancos en el interior, fibroso, con fenocristales de plagioclasa y máficos. La composición global es andesítica. Las tefras aparecen estratificadas en zonas relativamente planas, mientras que al aumentar la pendiente se pierde la disposición en capas y aparece una masa arenosa deleznable, cruzada por las numerosas fracturas que localmente le dan una estructura columnar. El límite entre capas está marcado por una delgada e irregular capa de limolita color pardo oscuro (González, 2001).

Aluviones recientes (Qar)

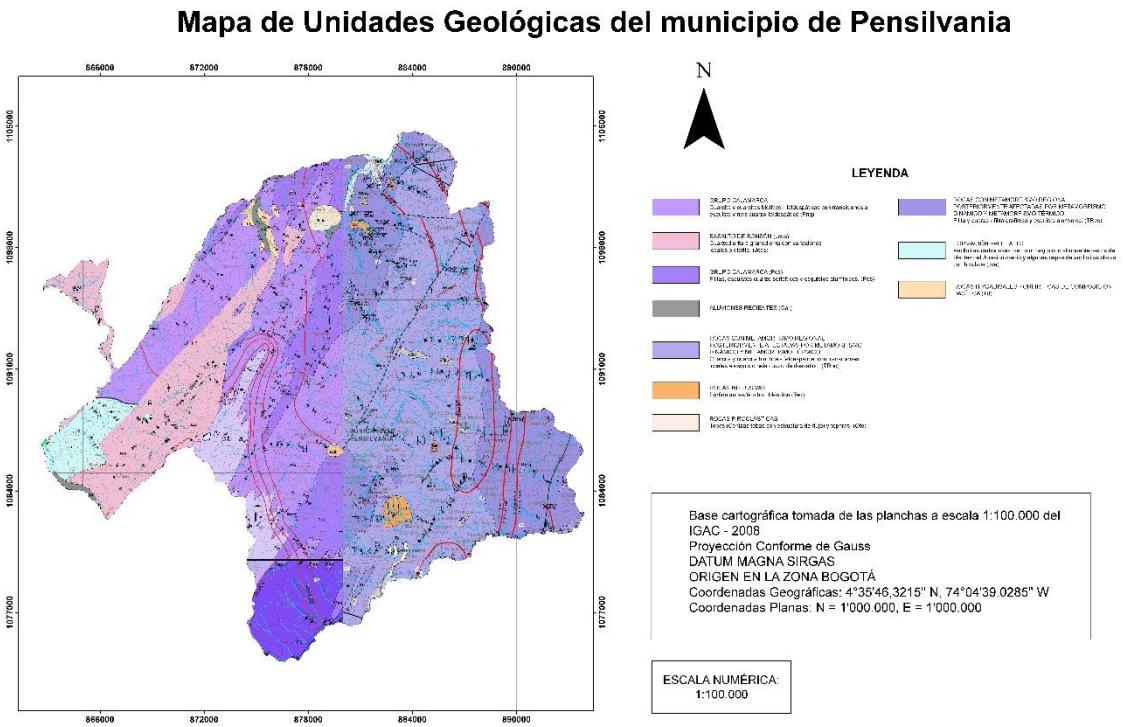
Depósitos no consolidados de material aluvial y coluvial de poco espesor en los cañones de algunos ríos y quebradas, cubren las rocas más antiguas. En general, aparecen sólo marcados los aluviones, aunque dentro de estas zonas puede haber material coluvial que por su ocurrencia local y poca extensión no se separa de los aluviones.

El espesor de las zonas aluviales es variable y aumenta hacia la parte inferior del curso de las corrientes, al perder éstas energía y depositar el material que llevan en arrastre y, por lo general, puede decirse que es menor de 20 m. Estos depósitos están compuestos tamaño y composición,

en una matriz arcillo-arenosa con diversos grados de cementación o compactación. Los depósitos elevados con respecto al nivel actual de las corrientes están mejor cementados y pueden clasificarse como terrazas con algunos horizontes bien seleccionados.

La mayor parte de estos depósitos son del Holoceno y su espesor, en las zonas bajas, tiende a aumentar debido a los procesos actuales acelerados de erosión y depositación.

Figura 4. Mapa de unidades geológicas del municipio de Pensilvania, tomado y modificado de la plancha 187, 188, 206 y 207 del servicio geológico colombiano a escala 1:100.000.



Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2015.

3.4 Geología estructural

El área de estudio se encuentra en el flanco occidental de la cordillera central y coincide con uno de los elementos geotectónicos de la cadena Andina de Estrada (1972), caracterizado por altas cadenas montañosas que han sufrido un intenso plegamiento, fallamiento, levantamientos y eventos magmáticos durante los distintos episodios orogénicos, que oscurecen las relaciones estratigráficas y estructurales originales. El mayor rasgo estructural en el área cartografiada son las fallas de distintas

naturaleza y edad que afectan las diversas unidades roca desde el Paleozoico hasta el Cenozoico medio, a continuación de hace una breve descripción de las principales estructuras de la zona.

La zona de falla de Romeral.

Tiene una dirección predominante norte-sur y está compuesta por tres fallas paralelas a subparalelas que se entrecruzan en algunos sitios. La de San Jerónimo al este, la cual coincide con el nombre de Falla de Aránzazu en su extremo sur. La amplitud máxima de la zona de falla de Romeral, es de 32 km y la zona de metamorfismo dinámico a lo largo de cada una de las fallas que constituyen la zona de falla tiene un espesor variable entre unos pocos metros y 2 km. El espesor máximo de la zona de deformación se encuentra a lo largo de la falla de Romeral entre Aguadas y la Merced (Ingeominas, 1980).

Falla Samaná Sur.

Su traza en esta área tiene una longitud de 10 Km, con rumbo predominante N30°E a N45°E, la cual afecta la cuarzodiorita del Batolito de Sansón. Esta falla está caracterizada por una angosta faja de cataclasitas y protomilonitas, por una fuerte expresión topográfica, aproximadamente recta y por un marcado contraste litológico en toda su extensión (Ingeominas, 1980).

Falla del Rio Perrillo.

Tiene una longitud cartografiada de 10Km. Esta falla afecta dos tipos de rocas: cuarzodiorita del batolito de Sansón, que a lo largo de la falla forma una franja angosta de cataclasitas protomilonitas, y esquistos cuarzosericíticos afectados por metamorfismo de contacto. En el sector norcentral de la plancha 187, se observa un contraste morfológico y/o topográfico que coincide con la prolongación de la falla del Rio Verde hasta la falla del Rio Perrillo (Ingeominas, 1980).

4. Marco geomorfológico

La geomorfología involucra y relaciona al paisaje con los procesos que le dieron origen y sus condiciones ambientales. Según esto, la interpretación de la geomorfología tiene por finalidad la descripción de las formas del terreno, y la explicación de su génesis (origen), evolución a través del tiempo geológico, la definición de la naturaleza de los materiales, la clasificación de los paisajes según el proceso o agente natural dominante, composición, edad, y la explicación de la magnitud de los agentes y procesos geomorfológicos modeladores (SGC, 2012).

Debido a que la escala de trabajo empleada en este estudio es detallada, se requiere hacer la jerarquización geomorfológica con la finalidad de homogenizar las unidades encontradas, en la cual el máximo nivel de detalle es el elemento geomorfológico concepto definido por los rasgos del relieve, la morfometría detallada del terreno y los microrrelieves asociados con unas características litológicas del estudio, permitiendo el análisis de la evolución geomorfológica y geológica de la misma (Carvajal, 2011).

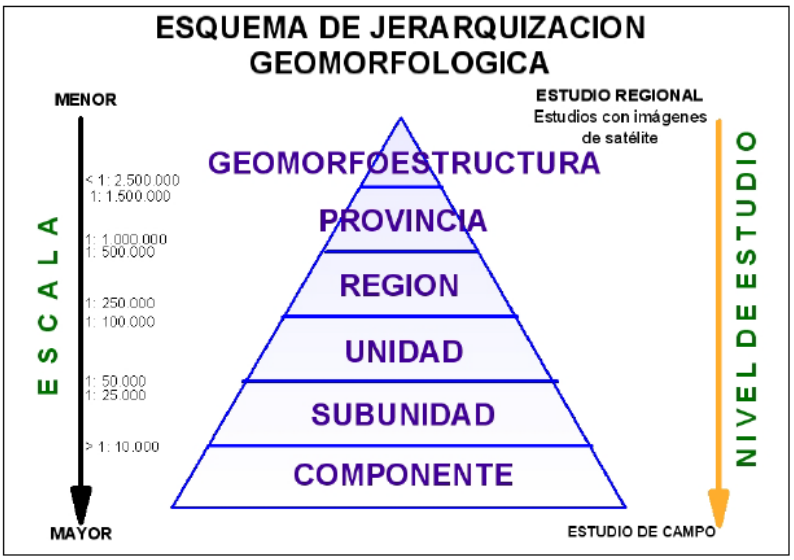


Figura 5. Jerarquización geomorfológica. Carvajal (2008).

A continuación, se describe el proceso de jerarquización geomorfológica empleado, sus descripciones y los resultados obtenidos en cada uno de ellos:

4.1 Geomorfoestructura

Se refiere a grandes áreas geográficas o amplios espacios continentales o intracontinentales caracterizados y definidos por estructuras geológicas y topográficas regionales que han tenido deformación o basculamiento y posiblemente metamorfismo o intrusión ígnea. El nombre propuesto para las Geomorfoestructuras es compuesto y consiste del término Sistema asociado a un término Morfológico de macrorrelieve combinado con un nombre geográfico regional reconocido (Carvajal, 2008).

Por tal razón, el municipio de Pensilvania se encuentra en la geomorfoestructura denominada **Sistema Orogénico Andino**, teniendo en cuenta la manera como debe clasificarse y la ubicación geográfica del lugar.

4.2 Provincia Geomorfológica

Se diferencian y delimitan las formas del relieve tomando como base sus características geológicas, morfológicas y geográficas. Se definen en términos tales como; Cinturones Montañosos, Llanuras, Peneplanicies, Cordilleras, Serranías y están establecidas para escalas entre 1:1.000.000 – 1.500.000. El nombre propuesto para la Provincia Geomorfológica es compuesto y consiste de un término morfológico de macro relieve, combinado con un nombre geográfico definido por el nombre del terreno geológico o región natural respectiva (Carvajal, 2008).

El área de estudio se encuentra en la Provincia Geomorfológica de la cadena montañosa de los Andes, específicamente en la **Cordillera Central.**

4.3 Región Geomorfológica

El nombre propuesto para las regiones geomorfológicas está definido por un término morfológico de meso relieve, asociado con el nombre del ambiente morfogenético correspondiente.

Teniendo en cuenta que la provincia geomorfológica del área de estudio es la Cordillera Central, se toma el nombre morfológico de **Sierra**, ya que es la subdivisión correspondiente a Cordillera.

Ya que el ambiente morfogenético hace alusión a las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas bajo las cuales se generaron las geoformas. Se determina con base en la interpretación de los procesos geomorfológicos registrados (origen tanto endógeno como exógeno), que dieron lugar a la formación, evolución y modificación de las mismas.

Los ambientes morfogenéticos se agrupan de manera general en: ambiente morfoestructural (S), ambiente volcánico (V), ambiente denudacional (D), ambiente fluvial y lagunar (F), ambiente marino y costero (M), ambiente glacial y periglaciar (G), ambiente eólico (E), ambiente kárstico (K), ambiente antropogénico (A) (Carvajal, 2008).

Con las observaciones hechas en la fase de campo, las fotografías tomadas, las características topográficas encontradas en la información bibliográfica y el uso de la plataforma Google Earth, es posible interpretar el ambiente correspondiente para el área de trabajo. Endógenamente, el municipio y la región en general están asentadas en geoformas producto de la subducción de una placa oceánica (Nazca) por debajo de una placa continental (Suramericana) que originan cadenas orogénicas representadas por las cordilleras. Debido al intenso tectonismo de la zona se han generado estructuras como fallas y plegamientos que controlan la morfología de la región,

En ese orden de ideas el ambiente geomorfológico principal es el correspondiente a morfoestructural (S), el cual es definido por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) (2008) como “geoformas generadas por la dinámica interna de la Tierra, especialmente asociadas a fallamientos y plegamientos”.

Dado que la morfología de mesorrelieve correspondiente es la de sierra y el ambiente geomorfológico principal es el morfoestructural, se considera que la región geomorfológica es **Sierra Estructural.**

4.4 Unidad Geomorfológica

Es la unidad básica de la cartografía geomorfológica. El término unidad geomorfológica se define como una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomórfico de acumulación o erosión, típico de un ambiente morfogenético dado. Está determinada con criterios genéticos, morfológicos y geométricos en función de la escala de trabajo propuesta de 1: 50.000 a 1:100.000 (Carvajal, 2008).

A partir de la fotointerpretación se observó la asimetría de las geoformas, por lo que se considera la morfología de cuesta la cual es definida como “sierra asimétrica elongada y amplia de morfología colinada o alomada” (SGC, 2012). De esta manera la unidad geomorfológica estructural es la **Cuesta Estructural.**

4.5 Subunidad geomorfológica

Es una subdivisión de las unidades geomorfológicas; está determinada fundamentalmente por los contrastes morfológicos y morfométricos, que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los mismos, con la correspondiente topografía del terreno. Igualmente está definida por el contraste dado por las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación bien definidos o determinados (Carvajal, 2008).

Las cuestas se componen de laderas, por lo tanto, se considera como subunidades geomorfológicas estructurales a las laderas que por pertenecer a un ambiente estructural reciben el nombre de **ladera estructural.**

5. Prospección geotécnica

El método utilizado para la extracción de muestras se basó en la toma de California Bearing Ratio (CBR), el cual permite conocer la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos, se toman las muestras en los puntos exactos o en puntos que permitieran una correlación entre ellos. De cada una de los puntos se extrajeron muestras con los moldes estipulados por la norma. Se rige por la norma ASTM 1883, por la norma UNE 103502 y por la norma INV-E 147.

La función del método CBR es de evaluar la capacidad portante de terrenos compactados como terraplenes, capas de firme, explanadas, así como en la clasificación de terrenos. Consiste en compactar un terreno en unos moldes normalizados, sumergirlos en agua y aplicar un punzonamiento sobre la superficie del terreno mediante un pistón normalizado.

Cabe recalcar que el CBR no es una propiedad intrínseca del suelo, si no que depende de las condiciones de humedad y densidad del suelo, por esto el método debe ser efectuado bajo condiciones controladas de las propiedades mencionadas.

Una de sus principales aplicaciones es a partir de la relación con el módulo de resiliencia, este módulo describe de manera más clara el comportamiento del suelo bajo cargas dinámicas de ruedas, que al moverse imparten un pulso dinámico a todas las capas del pavimento y a la subrasante.

5.1 Descripción de los CBR

La muestra fue extraída en las coordenadas: 5°24'40.18"N, 75° 5'19.03"W. Se localiza en litología de: ROCAS CON METAMORFISMO REGIONAL POSTERIORMENTE AFECTADAS POR METAMORFISMO DINÁMICO Y METAMORFISMO TÉRMICO, específicamente sobre el miembro: Cuarcita y cuarcita biotítica - feldespática, con transiciones locales a esquisto neis cuazo -feldespático. En la vereda Aguabonita. Sus propiedades índices reflejan que se trata de un suelo MH (limo de alta plasticidad) y según AASHTO se clasifica como A-7-5, con límite líquido 213%, límite plástico 75% e índice de plasticidad 138%. Los resultados del ensayo se presentan a continuación:

Tabla 1. Resumen de los resultados del ensayo CBR para el tramo la vereda Aguabonita.

RESUMEN DEL ENSAYO		
CBR ANTES DE INMERSIÓN		
Humedad Natural (%)	165,3	
C.B.R. a 0.1"	3,1	
C.B.R. a 0.2"	3,1	
CBR DESPUÉS DE INMERSIÓN		
Hum. Penetración (%)	177,4	
C.B.R. a 0.1"	1,6	
C.B.R. a 0.2"	1,5	
Densidad Muestra Húmeda (g/cm^3)		1,248
Densidad Muestra Seca (g/cm^3)		0,470
Expansión total (%)	0,12%	

Fuente: Estudios de laboratorio.

Fotografías de la toma de la muestra CBR, vereda Aguabonita.



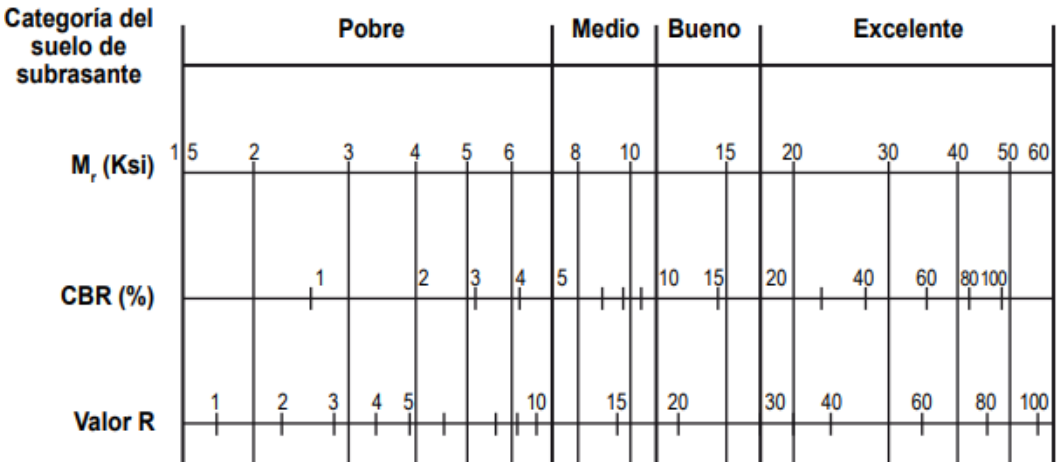


6. Análisis de la capacidad de carga de las subrasantes para tramos vías rurales

Con base en los resultados de los ensayos de CBR y de clasificación del suelo, se puede determinar sí un suelo es lo suficientemente competente para soportar la estructura de pavimento. Para la determinación de los espesores que componen la placa huella primero se debe verificar que la subrasante cumpla con condiciones mínimas de calidad, aclarando que desde la evaluación de la subrasante se puede estimar si hay unidades homogéneas de diseño con índice CBR representativo igual o superior a tres por ciento (3%) y que no haya presencia de suelos expansivos, en cuyo caso significa que los criterios de la guía de diseño de pavimentos con vías rurales (INVÍAS, 2015) son aplicables sin ningún inconveniente.

Se considera que los suelos con CBR menor a 3% no son aprovechables, y su calidad varía según la siguiente gráfica:

Figura 6. Competencia de la subrasante según CBR (INVIAS, 2015)



Ahora bien, se considera suelo expansivo sí:

Tabla 2. Correlación límites de consistencia vs potencial de expansión

LL (%)	IP (%)	Clasificación del hinchamiento potencial
> 60	> 35	Alto
50 - 60	25 - 35	Marginal
50 <	< 25	Bajo

Con base en lo anterior se presenta la siguiente tabla que recoge los resultados de los ensayos de interés:

Tabla 3. Potencial de expansión y aptitud de los suelos de subrasante para los diferentes tramos de placa huella.

Tramo	LL (%)	IP (%)	Potencial de expansión	Índice CBR	Aptitud según CBR
Agua bonita (1)	213	138	Alto	1,5	Pobre

Con base en lo anterior se observa que:

• Se tiene potencial de expansión.

• La subrasante no es apta para el mejoramiento del tramo de vía rural.

a. Módulo de resiliencia

El módulo de resiliencia puede ser aproximado de los valores de los ensayos CBR según la relación:

MR (MPa) = 10.3 CBR o

MR (psi) = 1500 CBR.

También se puede usar la ecuación propuesta por AASHTO (2002)

$MR\ (psi) = 2555\ CBR^{0,64}$

Tabla 4. Módulo de resiliencia de la subrasante para los diferentes tramos de placa huella

Tramo	MR método 1 (psi)	MR método 1 (MPa)	MR método 2 (psi)	MR promedio (psi)
Aguabonita (1)	2250	15,45	3311,99	2781,00

7. Comentarios finales y recomendaciones

Se realizaron una serie de análisis geotécnicos para establecer la competencia de suelos que servirán de subrasante en un tramo de placa huella que se mejorará, este está localizado en la vereda Aguabonita del municipio de Pensilvania, Caldas.

Con base en los resultados de los ensayos de CBR y de clasificación del suelo, se puede determinar sí un suelo es lo suficientemente competente para soportar la estructura de pavimento. Para la determinación de los espesores que componen el tramo de vía rural primero se debe verificar que la subrasante cumpla con condiciones mínimas de calidad, aclarando que desde la evaluación de la subrasante se puede estimar si hay unidades homogéneas de diseño con índice CBR representativo igual o superior a tres por ciento (3%) y si no hay presencia de suelos expansivos, en cuyo caso significa que los criterios de la guía de diseño de pavimentos con vías rurales (INVÍAS, 2015) son aplicables sin ningún inconveniente.

Se considera que los suelos con CBR menor a 3% no son aprovechables del mismo modo que los suelos expansivos tampoco deben aprovecharse.
Con base en lo anterior, se hicieron las pruebas correspondientes y se observa que:
• Se tiene potencial de expansión.
• La subrasante no es apta para el mejoramiento del tramo de vía rural.

Suelos con valores de CBR menores a 3% son suelos de comportamiento complejo que no deben aprovecharse por sus dificultades geomecánicas, lo mismo aplica sí el suelo tiene problemas de expansión.

Para el tramo de placa huella de la vereda Aguabonita se deberá excavar, retirando el armado existente, al menos 0,3 m y reemplazar este espesor con un material seleccionado que cumpla las exigencias establecidas en el Artículo “Terraplenes” de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras vigentes en el Instituto Nacional de Vías. Adicionalmente se recomienda que el tramo de vía cuente con un sistema de drenaje adecuado, que incluya filtros para evitar saturación de agua que pueda conllevar a expansión.

Para la construcción se debe verificar que los planos estén firmados por el equipo diseñador, además de las aprobaciones de interventoría y la entidad contratante. Para la ejecución de las obras se recomienda tener supervisión técnica continúa cumpliendo los requisitos de calidad y experiencia exigidos por el NSR-10, e igualmente se deben tener en cuenta estrictamente los siguientes capítulos del NSR-10: C.3-materiales, C.4-requisitos de durabilidad, C.5-calidad del concreto, mezclado y colocación, C.6-cimbras y encofrados embebidos y juntas de construcción, C.7-detalles delg refuerzo, C.23-tanques y estructuras de ingeniería ambiental de concreto.

Se deberán cumplir con todos los requisitos referenciados en el presente documento. Si existen controversias se deberá dar aviso a esta consultoría para dar las aclaraciones necesarias, las cuales deberán quedar plasmadas y firmadas en el libro de obra o mediante memorandos técnicos.

Se recomienda que una vez se inicien los trabajos de construcción de las obras propuestas, un ingeniero civil especializado revise y verifique que las hipótesis que permitieron realizar este estudio se mantienen o sí, por el contrario, es necesario hacer alguna recomendación adicional.

Todas las obras deberán contemplar todos los requisitos de seguridad y salud en el trabajo, además de cumplir a cabalidad la normativa ambiental.

Las investigaciones y conclusiones consignadas en este informe se ciñen estrictamente a las características morfológicas del sitio en el momento del estudio, cualquier variación de las mismas o procesos denudativos nuevos o reactivados se deberán informar, para así poder dar las recomendaciones necesarias.

Los consultores, conforme a lo establecido por la Ley 400 de 1997, (Título III, Capítulo I, Artículo 5: Responsabilidad de los Diseños; y Título IV - Capítulo II: Profesionales Diseñadores), asumen la responsabilidad del presente estudio, conforme a lo establecido por la NSR – 10. El grupo consultor no se hace responsable por cualquier tipo de daño y/o sanción derivados de modificaciones efectuadas al proyecto sin la respectiva consulta, o bien por no tener en cuenta las recomendaciones hechas en la presente consultoría.

Santiago Cano B

MSc. SANTIAGO CANO BEDOYA
Ingeniero Civil MP 17202-430783 CLD
Geólogo MP 4816
Especialista en Geotecnia

ANEXO. RESULTADOS DE LABORATORIO

TRADING LAB S.A.S.

Laboratorio de Ingeniería Civil

Suelos, Pavimentos, Materiales

Inf. # 199

CLASIFICACION DE SUELOS

NORMA. A.S.T.M. D 4318 INV-E 125 Y 126

Fecha del ensayo: 24 de mayo de 2024

Interesado: Zenit Ingeniería y Consultoría SAS

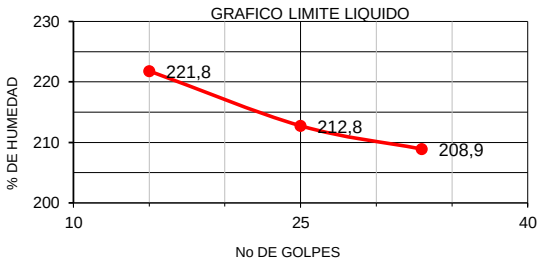
Proyecto/Obra Vía

Localización: Agua Bonita, Pensilvania - Caldas

Color(es) de la muestra: Amarilloso

CBR #: 2

Peso suelo seco (g)				44,33	
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% QUE PASA
Pulg	mm				
3"	76,20	0,00	0,0	0,0	100,0
2-1/2"	63,50	0,00	0,0	0,0	100,0
2"	50,80	0,00	0,0	0,0	100,0
1-1/2"	38,10	0,00	0,0	0,0	100,0
1	25,40	0,00	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,05	0,00	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,70	0,00	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,52	0,00	0,0	0,0	100,0
N°4	4,76	0,11	0,2	0,2	99,8
N°10	2,00	0,13	0,3	0,5	99,5
N°20	0,850	0,00	0,0	0,5	99,5
N°40	0,425	8,30	18,7	19,3	80,7
N°80	0,180	0,00	0,0	19,3	80,7
N°200	0,075	4,28	9,7	28,9	**71,1**
FONDO		31,51	71,1	100,0	0,0



LIMITE LIQUIDO

ENSAYO N°	1	2	3
Recipiente N°	1	2	3
N° de golpes	15	25	33
Peso tara + suelo húm.	18,58	17,08	18,45
Peso tara + suelo seco	8,82	8,57	9,07
Tara cecipiente	4,42	4,57	4,58
% de humedad	221,82	212,75	208,91

RESUMEN ENSAYOS	
LIMITE LIQUIDO	**213**
LIMITE PLASTICO	**75**
INDICE DE PLASTICIDAD	**138**
LAVADO SOBRE T-200 (%)	**71**
CLASIFICACIÓN S.U.C.S.	**MH**
HUMEDAD NATURAL (%)	**165**
AASHTO	**A-7-5**
INDICE DE GRUPO	**8**

LIMITE PLASTICO

ENSAYO N°	1	2
Recipiente N°	4	5
Peso tara + suelo húm.	16,77	16,85
Peso tara + suelo seco	11,50	11,57
Tara cecipiente	4,48	4,59
% de humedad	75,07	75,64

LAVADO SOBRE EL T-200	
Peso seco inicial (g)	44,33
peso seco final (g)	12,82
Pasante T-200 (%)	71,10
HUMEDAD NATURAL	
Peso húmedo (g)	117,62
Peso seco (g)	44,33
% de humedad	165,3

Calculó: Ing. Héctor Javier Villegas Llano

Ensayó: José David Chipatecua

NOTAS: Los resultados que se reportan en este informe quedan a criterio e interpretación de un profesional idóneo en el área correspondiente.
La toma de la muestra y la custodia de ella hasta el ingreso al laboratorio es responsabilidad del interesado, el ensayo se realizó con los equipos adecuados

Calle 43 # 24 -21 Cristo Rey - Manizales, Caldas
Tel: 3128666728
email: trading.sas@hotmail.com

TRADING LAB S.A.S.
Laboratorio de Ingeniería Civil
Suelos, Pavimentos, Materiales

Inf. # 199

RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR INALTERADO)

Fecha del ensayo: 24 de mayo de 2024
Interesado: Zenit Ingeniería y Consultoría SAS
Proyecto/Obra Vía
Localización: Agua Bonita, Pensilvania - Caldas
Color(es) de la muestra: Amarilloso
CBR # : 2

DATOS DEL MOLDE					
Molde No. =	7	Peso Molde+Base (g) =	6.625	Area Molde (cm^2) =	188,69
ϕ Molde (cm) =	15,5	h Molde (cm) =	10,3	Vol. Molde (cm^3) =	1.944

DATOS DE LA PENETRACIÓN ANTES DE LA INMERSIÓN				
Peso Molde+Base+Muestra(g) =	9.050	Peso Mtra. Húm (g) =	117,62	Hum Nat (%)
h Muestra (cm) =	10,3	Peso Mtra. Seca (g) =	44,33	165,3

DATOS DE LA PENETRACIÓN DESPUÉS DE LA INMERSIÓN						
Peso Molde+Base+Muestra(g) =	9.300			Peso Mtra. Húm (g) =	135,26	Hum. Penetrac. (%)
h Muestra (cm) =	10,3			Peso Mtra. Seca (g) =	48,76	
Lectura Expansión en 0,001"	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	**Expansión Total (%)**	177,4
				5	0,12%	

VALORES OBTENIDOS EN LA PENETRACIÓN

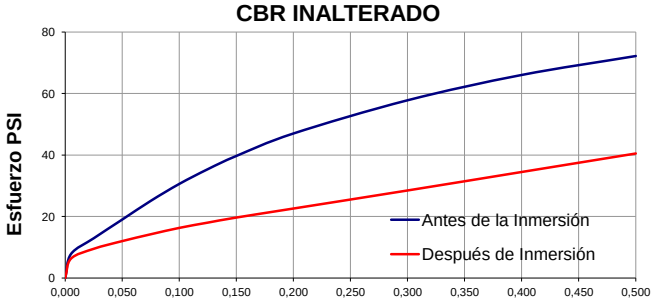
Penetración	Carga	Esfuerzo	Carga	Esfuerzo
Pulg	kN	PSI	kN	PSI
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,005	0,109	7,80	0,088	6,30
0,025	0,181	12,95	0,133	9,52
0,050	0,266	19,03	0,168	12,02
0,075	0,351	25,12	0,199	14,24
0,100	**0,428**	**30,63**	0,228	**16,31**
0,125	0,495	35,42	0,252	18,03
0,150	0,555	39,71	0,275	19,68
0,200	**0,657**	**47,01**	0,316	**22,61**
0,300	0,808	57,82	0,398	28,48
0,400	0,923	66,05	0,482	34,49
0,500	1,009	72,20	0,566	40,50

RESUMEN DEL ENSAYO

CBR ANTES DE INMERSIÓN	
Humedad Natural (%)	**165,3**
C.B.R. a 0.1"	**3,1**
C.B.R. a 0.2"	**3,1**

CBR DESPUÉS DE INMERSIÓN	
Hum. Penetración (%)	**177,4**
C.B.R. a 0.1"	**1,6**
C.B.R. a 0.2"	**1,5**
Densidad Muestra Húmeda (g/cm^3)	**1,248**
Densidad Muestra Seca (g/cm^3)	**0,470**
Expansión total (%)	0,12%

CBR INALTERADO



Penetración pulg.

Calculó: Ing. Héctor Javier Villegas Ll.

José David Chipatecua
Ensayó: José David Chipatecua

NOTAS: Los resultados que se reportan en este informe quedan a criterio e interpretación de un profesional idóneo en el área correspondiente
La toma de la muestra y la custodia de ella hasta el ingreso al laboratorio es responsabilidad del interesado
La penetración de la muestra se realizó con el equipo adecuado y cuentan con certificado de calibración vigente.

Calle 43 # 24 -21 Sector Cristo Rey
Manizales, Caldas
Cel: 312 8666728 Correo: trading.sas@hotmail.com