# “ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCION, ADECUACION Y/O REHABILITACION DE VIAS EN EL MUNICIPIO DE CALARCA”

## TRAMO 3 (CALLE 41)

## INFORME DE SUELOS

**ELABORADO POR:**

**CONSULTORES SOLANO NAVAS**

**PRESENTADO A:**
**ALCALDÍA DE CALARCA**

**DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO**

**2025**

# “ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCION, ADECUACION Y/O REHABILITACION DE VIAS EN EL MUNICIPIO DE CALARCA”

**ELABORADO POR:**

**CONSULTORES SOLANO NAVAS**

**PRESENTADO A:**
**ALCALDÍA DE CALARCA**

**DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO**

**2025**

## CUADRO DE CONTROL DE CAMBIOS

| +/APROBACIÓN | NÚMERO DE REVISIÓN | | 0 | 1 | 2 |
|---|---|---|---|---|---|
| | ELABORÓ | NOMBRE | ING. HECTOR TORRES | | |
| | | FIRMA |  | | |
| | | FECHA | JUNIO DE 2025 | | |
| | REVISO Y APROBÓ | NOMBRE | ING. MARCO ANTONIO SOLANO VARGAS | | |
| | | FIRMAS |  | | |
| | | FECHA | JUNIO DE 2025 | | |

## TABLA DE CONTENIDO


**1. INTRODUCCIÓN ..... 6**

2.1 Objetivo ..... 7

2.2 Alcances ..... 7

3.1 LÍMITES DEL MUNICIPIO DE CALARCA CON LOS MUNICIPIOS ..... 8

- Norte: Salento y Cajamarca (Tolima) ..... 8
- Sur: Córdoba y Buenavista ..... 8
- Occidente: Armenia ..... 8
- Oriente: Cajamarca (Tolima) ..... 8

3.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO ..... 9

**4. METODOLOGÍA ..... 10**

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS ..... 10

**6. RESULTADOS DEL RECORRIDO Y LA CARACTERIZACIÓN DEL PAVIMENTO EXISTENTE ..... 11**

6.3 ESPESORES Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO ..... 15

8.1. HUMEDAD NATURAL ..... 17

8.2. GRANULOMETRÍA ..... 17

8.3. LÍMITE LÍQUIDO ..... 18

8.4. LÍMITE PLÁSTICO ..... 18

8.5. ÍNDICE DE PLASTICIDAD ..... 19

8.6. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS ..... 19

**8.6.1. Suelos no granulares CLASIFICACION DEL SUELO EN EL SITIO DE ESTUDIO ..... 19**

**5. Interpretación de resultados** ..... 20

**6. Aplicaciones** ..... 20

**10. REFERENCIAS ..... 30**

## INDICE DE FIGURAS

*Figura 1. Localización zona de estudio* ..... *8*
*Figura 2 Localización del proyecto.* ..... *9*
*Figura 3. Espesores de capas del pavimento, medidas en apique* ..... *15*

## INDICE DE TABLAS

***TABLA 1. ENSAYOS DE LABORATORIO Y DE CAMPO REALIZADOS*** ..... *17*

# 1. INTRODUCCIÓN

El sistema vial constituye un pilar esencial para el desarrollo equilibrado y sostenible tanto de las áreas urbanas como rurales, ya que permite garantizar la conectividad entre distintos puntos del territorio, optimizar el acceso de la población a bienes y servicios, y facilitar la circulación eficiente de personas, productos y recursos. Una red vial bien planificada y en óptimas condiciones no solo contribuye al fortalecimiento del tejido económico y social, sino que también se convierte en un factor decisivo para la integración regional, la competitividad territorial y la calidad de vida de los habitantes.

En este marco, el presente documento tiene como finalidad exponer de manera detallada los **"Estudios y Diseños para la Construcción, Adecuación y/o Rehabilitación de Vías en el Municipio de Calarcá"**, cuyo propósito central es generar mejoras significativas en las condiciones de movilidad, incrementar los niveles de seguridad para todos los usuarios, y garantizar la implementación de una infraestructura vial robusta, durable y eficiente, capaz de responder a las demandas actuales y anticipar las necesidades futuras derivadas del crecimiento poblacional y económico.

En el análisis preliminar se identificó que las vías del municipio han venido presentando un deterioro progresivo, originado principalmente por el aumento constante del tránsito vehicular, las condiciones geotécnicas particulares de la región, y la incidencia de factores climáticos como las lluvias y variaciones térmicas. Estos elementos han comprometido gradualmente la capacidad estructural de los pavimentos existentes, reduciendo su vida útil y afectando el confort y la seguridad de la circulación.

Ante esta situación, se plantea la necesidad de desarrollar un diseño técnico integral que permita responder de manera efectiva a las cargas actuales y proyectadas, tomando en cuenta tanto el comportamiento del suelo como las características del tránsito. Para tal fin, el presente informe contempla la realización de un programa de toma de muestras de suelo, con el objetivo de contar con un diagnóstico preciso de las condiciones físicas y mecánicas del terreno. Esta información, combinada con los datos de tráfico actual y estimaciones de crecimiento, servirá de base para evaluar diferentes alternativas de pavimentación, considerando sus ventajas, desventajas, condiciones de uso, costos de mantenimiento y desempeño estructural esperado.

El análisis de dichas alternativas permitirá identificar la solución más idónea para cada uno de los tramos viales incluidos en el proyecto, buscando un balance entre eficiencia técnica, viabilidad económica y sostenibilidad a largo plazo.

# 2. OBJETIVOS Y ALCANCES

## 2.1 Objetivo

El objetivo principal de los estudios y diseños es determinar la estructura de pavimento más adecuada para las vías incluidas en el proyecto en el municipio de Calarcá, asegurando un desempeño estructural confiable y una vida útil coherente con las condiciones de tránsito actuales y proyectadas. Para ello, se dará especial relevancia a la **toma sistemática de muestras de suelo en campo** y a la ejecución de **ensayos especializados en laboratorio**, los cuales permitirán obtener una caracterización detallada de las propiedades físicas, mecánicas y de soporte de los suelos de fundación. Estos resultados, complementados con el análisis del tránsito estimado, servirán como base técnica para evaluar comparativamente distintas alternativas de pavimento tanto flexible como rígido, valorando su comportamiento estructural, viabilidad económica, facilidad de mantenimiento y funcionalidad a largo plazo, con el propósito de seleccionar la solución más eficiente e integral para cada tramo vial del proyecto.

## 2.2 Alcances

- Realizar un recorrido de todo el tramo para poder reconocer el estado y la importancia de la proyección del proyecto, y a su vez poder ubicar el personal de conteo de tránsito y seleccionar el mejor lugar para la toma de muestras de los suelos.

- Realizar exploraciones de campo (apiques) para identificar y caracterizar los materiales que conforman la subrasante en los tramos seleccionados.

- Ejecutar ensayos de laboratorio y de campo para determinar la capacidad mecánica de los suelos de subrasante y delimitar sectores homogéneos para el diseño estructural del pavimento.

## 3. LOCALIZACIÓN

Calarcá está ubicado en el departamento del Quindío y es reconocido por su riqueza cultural, cafetera y su importancia geográfica como paso entre el centro y el occidente del país. Cuenta con una población aproximada de 75.000 habitantes y es el segundo municipio más poblado del departamento después de Armenia. Calarcá se encuentra dentro del área declarada como Paisaje Cultural Cafetero, patrimonio mundial de la humanidad por la UNESCO.

Su territorio es montañoso, con elevaciones que van desde los 1.100 m.s.n.m. en sus zonas bajas hasta cerca de 3.200 m.s.n.m. en sectores de cordillera. Además, el municipio se destaca por su proximidad al Parque Nacional Natural Los Nevados, lo que le otorga una alta importancia ambiental e hídrica para la región.
.



*Figura 1. Localización zona de estudio*

### 3.1 LÍMITES DEL MUNICIPIO DE CALARCA CON LOS MUNICIPIOS

- Norte: Salento y Cajamarca (Tolima)
- Sur: Córdoba y Buenavista
- Occidente: Armenia
- Oriente: Cajamarca (Tolima)

## 3.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto de diseño geométrico se localiza en el municipio de Calarcá, departamento del Quindío, en el área urbana de esta localidad perteneciente al eje cafetero colombiano.

La vía objeto de intervención corresponde a la **calle 41**, un corredor vial urbano que cumple funciones de conectividad interna y articulación con corredores viales de mayor jerarquía, una vía local importante dentro de la malla urbana de Calarcá.

El sector presenta características típicas de un entorno urbano consolidado, con presencia de zonas residenciales, comercio y tráfico mixto. La intervención busca mejorar las condiciones de circulación vehicular, accesibilidad peatonal y funcionalidad estructural mediante el diseño técnico de su geometría y la definición de la estructura de pavimento (flexible y rígido), adaptado a las condiciones del tramo.

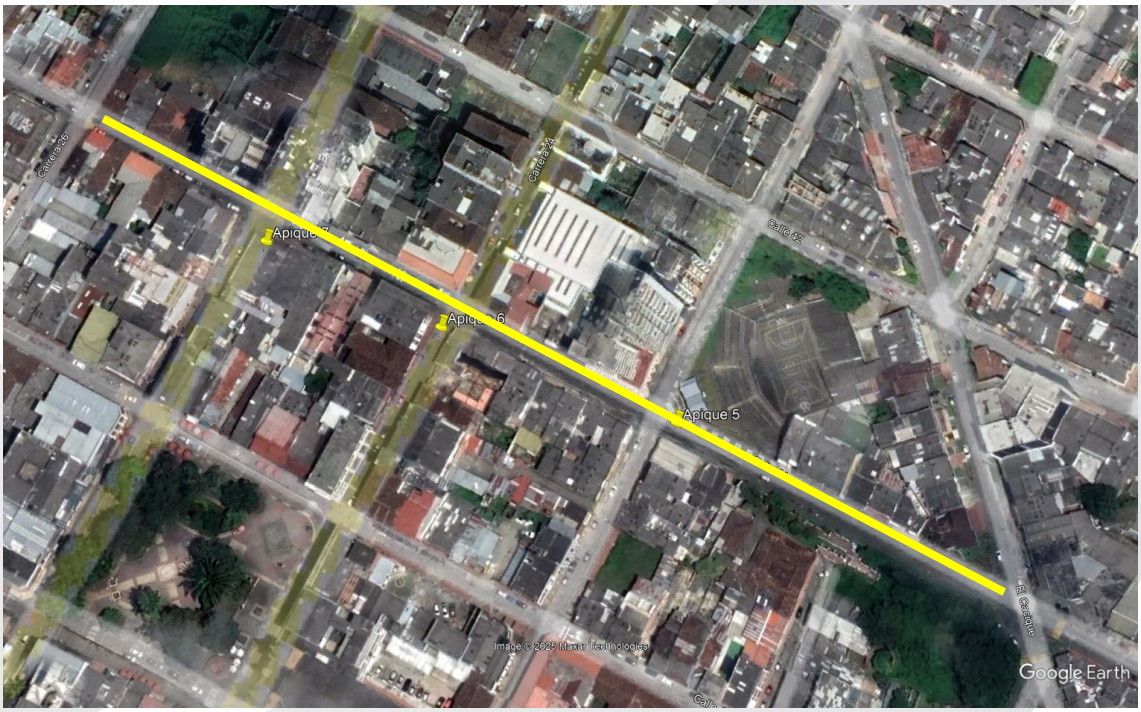



*Figura 2 Localización del proyecto.*
*Fuente: Google earth Pro*

## 4. METODOLOGÍA

El sector de estudio es el de una vía pavimentada por lo que la metodología que se plantea tiene el propósito de dimensionar un reforzamiento de la estructura de rodamiento existente a continuación, se presentan los pasos (etapas) generales para la ejecución del estudio.

- ✓ Realizar un recorrido del tramo para verificar el estado en el que se encuentra.
- ✓ Selección de sectores homogéneos.
- ✓ Realizar demolición del pavimento existente y excavar hasta una profundidad de 1 mt con mínimo.
- ✓ Extraer muestra suficiente para ensayos de caracterización peso específico y CBR de laboratorio.
- ✓ Verificar resultados con lo observado en campo.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de las mediciones y ensayos permiten definir sectores con características homogéneas y asignar valores a algunas variables de diseño de la rehabilitación. El análisis incluye las siguientes sectorizaciones:

- Con base en la rigidez de la subrasante, calculada mediante modelamiento inverso y asumiendo que la estructura está compuesta por materiales elásticos, se establecen zonas con subrasante más débil.

- Se verifica los resultados los cuales deben tener relación con lo observado en campo.

## 6. RESULTADOS DEL RECORRIDO Y LA CARACTERIZACIÓN DEL PAVIMENTO EXISTENTE

Durante la inspección visual exhaustiva realizada en el tramo objeto de estudio, se logró constatar de manera minuciosa que la infraestructura vial presenta un grado de deterioro considerable, el cual compromete no solo su funcionalidad y la seguridad de los usuarios, sino que además evidencia una carencia de integración urbanística acorde con la visión de desarrollo que el municipio proyecta para este sector. Las observaciones realizadas en campo permitieron identificar de forma precisa múltiples manifestaciones de desgaste superficial en la carpeta asfáltica, así como hundimientos localizados que alteran la regularidad y el confort de la calzada, generando riesgos potenciales para la movilidad vehicular y peatonal.

Del mismo modo, se detectaron huellas de intervenciones anteriores asociadas a la instalación de redes de servicios públicos subterráneos, las cuales ocasionaron discontinuidades estructurales en el pavimento y contribuyen al debilitamiento general del mismo. A estas afectaciones se suman fisuras en diversas orientaciones y tipologías —tanto longitudinales como transversales—, grietas con configuración de “piel de cocodrilo”, además de desprendimientos parciales de la capa asfáltica en diferentes puntos del tramo. La concurrencia de todas estas patologías constituye una clara evidencia de la pérdida de capacidad portante y estructural de la vía, lo que hace imperativa la implementación de un plan de intervención técnica integral que permita recuperar su funcionalidad, mejorar la conectividad del sector y garantizar condiciones de movilidad seguras y sostenibles a largo plazo.

Adicionalmente, este reconocimiento de campo resultó fundamental para la planificación de las siguientes fases del proyecto. Durante la visita se determinó con precisión la ubicación estratégica del personal encargado del conteo de tránsito vehicular, se identificaron los puntos óptimos para la extracción de las muestras de suelo necesarias para la caracterización geotécnica y se establecieron los puntos de control requeridos para la ejecución del levantamiento topográfico. Todo esto permitirá contar con información técnica confiable y detallada, indispensable para la formulación de un diseño de pavimento adecuado a las condiciones reales del terreno y del tráfico proyectado.

A continuación, se comparte un registro fotográfico del tramo de estudio:

| | |
|---|---|
|  | **Intervenciones de redes subterráneas afectando la continuidad y la estructura del pavimento a su vez se ven grietas en diferentes partes** |
|  | **Ubicación de personal de topográfica** |
|  | **Ubicación de personal de topográfica** |
|  | **Intervenciones de redes subterráneas afectando la continuidad y la estructura del pavimento a su vez se ven grietas en diferentes partes, comisión de topografía** |

| | |
|---|---|
|  |  |
| **Inspeccion de redes de alcantirllado** | Intervenciones y fallas en el pavimento |
|  |  |
| **Intervenciones y fallas en el pavimento** | **Inspeccion de redes de alcantirllado** |

| | |
|---|---|
|  |  |
| **Inspeccion de redes de alcantirllado** | **Intervenciones y fallas en el pavimento** |
|  |  |
| **Demolición de pavimento para extraer muestra y revisar la estratigrafía actual del terreno** | **Ubicación de personal para conteo** |

## 6.3 ESPESORES Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO.

Para caracterizar los materiales y el espesor de las capas del pavimento, en los estudios realizados se encontró la siguiente estratigrafía:

| APIQUE 5 | |
|---|---|
| 0 - 0,10 m | Carpeta Asfaltica |
| 0,10 - 0,50 m | sub base granular |
| 0,50 - 1,50 m | limo arenoso color marron oscuro |

*Figura 3. Espesores de capas del pavimento, medidas en apique*

Sobre las muestras de capa de base y de subrasante se practicaron ensayos de clasificación de suelos.

## 7. SECTORIZACIÓN DEL PAVIMENTO

Con el propósito de definir sectores homogéneos para diseño, se establecen sectores con propiedades similares para cada uno de los factores o variables evaluadas en los estudios. Como resultado de esta etapa, se definen los sectores que se consideran homogéneos para el diseño de una capa de refuerzo del pavimento y en los que debe haber una correspondencia entre los resultados de caracterización y el comportamiento que se puede observar en la estructura de rodamiento existente.

Tramo 3 que se considerará caracterizado con un CBR de 10.8% al 95% en el apique 5. Se puede determinar que es un material homogéneo debido a la ubicación y longitud de la toma, lo cual se concluye como un terreno de baja capacidad, implicando una mejorar en la estructura del pavimento.






APIQUE 5

## 8. RESULTADOS DE LABORATORIOS

Se deben llevar a cabo ensayos de laboratorio con el fin de proporcionar los datos básicos requeridos para clasificar y medir las propiedades ingenieriles de los suelos, para esto se proyectan realizar ensayos de laboratorio que permitan conocer la clasificación del suelo, humedad, peso unitario, límites de Attenberg Proctor Modificado y CBR de Laboratorio de tres puntos. A las muestras

obtenidas en la exploración de campo se les llevo a cabo los siguientes ensayos de laboratorio:

- Clasificación de suelos
- Humedad natural
- Análisis granulométrico
- Límites de Attenberg
- Proctor Modificado
- CBR de tres puntos

En la siguiente tabla se muestran los ensayos realizados a las muestras obtenidas en campo.

**TABLA 1. ENSAYOS DE LABORATORIO Y DE CAMPO REALIZADOS**

| ENSAYO | NORMA |
|---|---|
| GRANULOMETRIA | ASTM D 421-58-D422-63 |
| LIMI PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD | INVE – 126 |
| LIMITE LIQUIDO | INVE – 125 |
| CLASIFICACION DE SUELOS | NTC-1504 |
| HUMEDAD NATURAL | INVE – 122 |
| PROCTOR MODIFICADO | INVE – 142 |
| CBR | INVE – 148 |

**FUENTE: INVIAS**

Las muestras que ingresan al laboratorio son debidamente conservadas, empacadas y transportadas desde el sitio de trabajo hasta el laboratorio para garantizar datos reales de las propiedades del suelo presente en el sector en estudio.

A continuación, se describen los procedimientos que se realizaron en la ejecución de los laboratorios para obtener dichas propiedades:

### 8.1. HUMEDAD NATURAL

La humedad natural es un valor en porcentaje del contenido de agua que tiene el suelo contra su peso seco, para obtener esta propiedad se toma una muestra de suelo húmedo se toma su peso y se procede a secar dicha muestra en un horno a temperatura constante de 120ºC + /- 5ºC entre 3 y 8 horas dependiendo del tipo de suelo, luego de secada la muestra, se deja enfriar y se pesa de nuevo para obtener su peso seco y realizar los cálculos correspondientes para hallar el valor de la humedad natural.

### 8.2. GRANULOMETRÍA

La granulometría es un proceso mediante el cual el suelo es separado por tamaños de grano, los datos de la granulometría son utilizados junto con los

datos obtenidos en el ensayo de límite líquido y límite plástico para determinar si se tiene un suelo gravoso, arenoso, limoso, arcilloso o una combinación entre estos. Para la realización de la granulometría se toma una muestra suficiente del suelo a estudiar y se registra su peso posteriormente se procede a realizar un lavado sobre el tamiz No. 200 el cual separa los suelos gruesos de los suelos finos, después del lavado se seca el material retenido sobre este tamiz para que una vez seca la muestra esta
sea sometida al proceso de tamizado que consiste en pasar el suelo por una serie
de mallas las cuales tienen diferentes tamaños (1”, ¾”, ½”, 3/8”, 4, 10, 20, 40, 60, 100, 200) cada porción de suelo retenida en cada una de estas mallas se pesa y registra para los cálculos posteriores.

### 8.3. LÍMITE LÍQUIDO

Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua, que se pueda moldear, se deposita en la Cazuela de Casagrande, se realiza una ranura que divida la muestra del suelo simétricamente y se golpea consecutivamente contra la base de la máquina, haciendo girar una manivela, hasta que la ranura se cierra en una longitud de 12 mm (1/2”). Si el número de golpes para que se cierre la zanja es 25. La humedad del suelo (razón peso de agua contenida en el suelo/peso de suelo seco) corresponde al límite líquido. Dado que no siempre es posible que la zanja se cierre en la longitud de 12 mm exactamente con 25 golpes, el cálculo se realiza trazando una gráfica en cuatro puntos como mínimo con el número de golpes en coordenadas logarítmicas, contra el contenido de humedad correspondiente, en coordenadas normales, e interpolando para la humedad correspondiente a 25 golpes, la humedad obtenida es el Límite Líquido

### 8.4. LÍMITE PLÁSTICO

Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado pero sencillo consistente en medir el contenido de humedad para el cual no es posible moldear un cilindro de suelo, con un diámetro de 3 mm. Para esto, se realiza una mezcla de agua y suelo, la cual se amasa entre los dedos o entre el dedo índice y una superficie inerte (vidrio), hasta conseguir un cilindro de 3 mm de diámetro. Al llegar a este diámetro, se desarma el cilindro, y vuelve a amasarse hasta lograr nuevamente un cilindro de 3 mm. Esto se realiza consecutivamente hasta que no es posible obtener el cilindro de la dimensión deseada. Con ese contenido de humedad, el suelo se vuelve quebradizo (por pérdida de humedad) o se vuelve pulverulento. Se mide el contenido de humedad, el cual corresponde al Límite Plástico. Se recomienda realizar este procedimiento al menos 3 veces para disminuir los errores de interpretación o medición.

## 8.5. ÍNDICE DE PLASTICIDAD

El índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

## 8.6. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Se consideran como suelos no cohesivos o granulares los que cumplen las siguientes condiciones, de acuerdo con el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (SCUS), con algunas modificaciones:

a. Todos los materiales clasificados como SM, SC, CL.

b. Todos los materiales clasificados como SM, SC, CL, en los cuales 30% o menos del peso pase por tamiz No 200 y que tengan límite líquido WI ≤ 30% e índice plástico IP ≤ 10%.

### 8.6.1. Suelos no granulares CLASIFICACION DEL SUELO EN EL SITIO DE ESTUDIO

El potencial de que el suelo sea expansivo es mínimo ya que todas las clasificaciones están en SM, a su vez el límite liquido es inferior al 39% incluido el índice de plasticidad que es inferior al 20% indicando que es un suelo poco cohesivo o granular.

## 8.7. CBR

El **ensayo CBR (California Bearing Ratio)** es una prueba de laboratorio y/o de campo que se utiliza para evaluar la **capacidad de soporte de un suelo**, es decir, su resistencia al corte y su capacidad para soportar cargas. Es uno de los ensayos más comunes en ingeniería vial y geotecnia, ya que los resultados son fundamentales para el **diseño de pavimentos** y plataformas de soporte.

**PROCEDIMIENTO:**

1. **Preparación de la muestra:**
   - Se toma una muestra de suelo representativa, la cual puede ser compactada en el laboratorio con la humedad óptima y densidad especificada.
2. **Saturación (si aplica):**

- En algunos casos, la muestra se somete a inmersión para simular condiciones de humedad extremas.

3. **Carga de penetración:**
   - Se utiliza un pistón de carga que penetra el suelo a velocidad constante.
   - Se mide la fuerza necesaria para penetrar el suelo a diferentes profundidades (2.5 mm y 5 mm).
4. **Cálculo del CBR:**
   - La fuerza medida se compara con un valor estándar de referencia.
   - Se expresa como un porcentaje (por ejemplo, un CBR de 10 % indica que el suelo tiene un 10 % de la resistencia del material estándar).
5. **Interpretación de resultados**

- **CBR < 3 %:** Suelo de muy baja capacidad portante (arcillas blandas o limos saturados).
- **CBR 3–7 %:** Suelo de baja capacidad portante (apto solo para capas de subrasante con mejoramiento).
- **CBR 7–20 %:** Suelo de capacidad portante media (puede usarse como subbase con espesores moderados de pavimento).
- **CBR > 20 %:** Suelo con buena capacidad portante (material granular de alta calidad).

6. **Aplicaciones**

- Diseño de **pavimentos flexibles y rígidos**.
- Determinación de **espesores de capas** de subrasante, subbase y base.
- Evaluación de **mejoras de suelos** (compactación, estabilización).
- Estudios de capacidad de soporte en plataformas industriales, carreteras, aeropuertos.

# RESULTADOS DE LABORATORIO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Solano Navas LTDA. | | ENSAYO DE CLASIFICACIÓN LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN I.N.V E - 122 -13 - E - 123 -13 - E - 125 -13 - E - 126-13 | CÓDIGO: FO-053 |
| | | | VERSIÓN: 3 |

| | |
|---|---|
| **FECHA** | **Mayo de 2025** |
| **ORDEN DE SERVICIO No.** | **1** |
| **CLIENTE.** | **ALCALDIA MUNICIPAL DE CALARCA** |
| **PROYECTO** | **ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCION, ADECUACION Y/O REHABILITACION DE VIAS** |
| **UBICACIÓN** | **APIQUE 5 CALLE 41** |
| **CONTRATISTA** | **CONSULTORES SOLANO NAVAS LTDA** |
| **FECHA DE LOS ENSAYOS** | **Mayo de 2025** |
| **TIPO DE MATERIAL** | **limo arcilloso** |

**CON. DE HUMEDAD**

| **PROFUNDIDAD** | 0,00-0,50 m |
|---|---|
| PESO DE RECIP. + S.H. | 74,88 |
| PESO DE RECIP. + S.S. | 69,71 |
| PESO RECIPIENTE | 26,70 |
| PESO AGUA | 5,17 |
| PESO SUELO SECO | 43,01 |
| **% HUMEDAD** | 12,02 |

**DATOS SONDEOS**

| | |
|---|---|
| **ABSCISA** | - |
| **APIQUE** | **5** |
| **MUESTRA** | |
| **PROF.** | **0,00-0,50 m** |

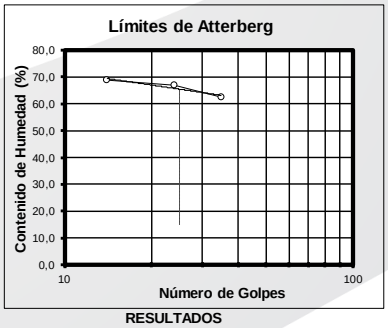
**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

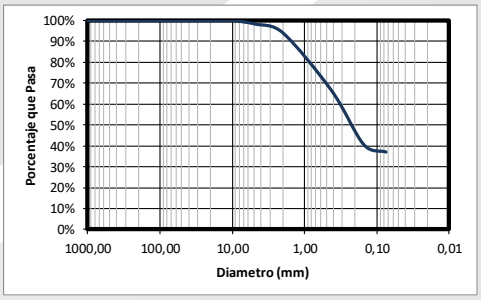
| **LÍMITE LÍQUIDO NL** | | | |
|---|---|---|---|
| Determinación No | 1 | 2 | 3 |
| No GOLPES | 14 | 24 | 35 |
| RECIP. No. | 61 | 67 | 46 |
| PESO DE RECIP. + S.H. | 17,4 | 19,78 | 20,14 |
| PESO DE RECIP. + S.S. | 13,89 | 15,3 | 15,55 |
| PESO RECIPIENTE | 8,8 | 8,6 | 8,2 |
| PESO AGUA | 3,51 | 4,48 | 4,59 |
| PESO SUELO SECO | 5,09 | 6,70 | 7,35 |
| % HUMEDAD | 68,96 | 66,87 | 62,45 |

| **LÍMITE PLÁSTICO NP** | | |
|---|---|---|
| RECIP. No. | 77 | 55 |
| PESO DE RECIP. + S.H. | 15,44 | 17,20 |
| PESO DE RECIP. + S.S. | 13,70 | 14,96 |
| PESO RECIPIENTE | 8,30 | 8,15 |
| PESO AGUA | 1,74 | 2,24 |
| PESO SUELO SECO | 5,40 | 6,81 |
| % HUMEDAD | 32,22 | 32,89 |

**GRADACIÓN**

| **Peso inicial:** | **1150** | **gr** | **Peso final:** | **725,85** | **gr** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Tamiz (plg)** | **Tamiz (mm)** | **Peso (gr)** | **% Reten.** | **% Ret.Acum** | **% Pasa** |
| **3"** | 76,10 | | | | 100,0% |
| **2 ½"** | 64,00 | | | | 100,0% |
| **2"** | 50,80 | | | | 100,0% |
| **1 ½"** | 38,10 | | | | 100,0% |
| **1"** | 25,40 | 0,0 | | | 100,0% |
| **3/4"** | 19,00 | 0,0 | | | 100,0% |
| **1/2"** | 12,70 | 0,0 | | | 100,0% |
| **3/8"** | 9,51 | 0,0 | | | 100,0% |
| **4** | 4,76 | 19,6 | 1,7% | 1,7% | 98,3% |
| **8** | 2,38 | 0,0 | | 1,7% | 98,3% |
| **10** | 2,00 | 47,1 | 4,1% | 5,8% | 94,2% |
| **12** | 1,68 | 0,0 | | 5,8% | 94,2% |
| **16** | 1,19 | 0,0 | | 5,8% | 94,2% |
| **20** | 0,59 | 70,2 | 6,1% | 11,9% | 88,1% |
| **40** | 0,42 | 250,1 | 21,7% | 33,6% | 66,4% |
| **60** | 0,30 | 174,2 | 15,1% | 48,8% | 51,2% |
| **80** | 0,18 | 83,3 | 7,2% | 56,0% | 44,0% |
| **100** | 0,15 | 41,1 | 3,6% | 59,6% | 40,4% |
| **200** | 0,07 | 40,3 | 3,5% | 63,1% | 36,9% |
| **Pasa 200** | 0,0 | 424,15 | 36,9% | 100,0% | 0,0% |
| **Total** | | 1.150,0 | | | |




**RESULTADOS**

| | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido | 65,3 | % |
| Límite Plástico | 32,6 | % |
| Índice Plastico | 32,7 | % |
| Gravas | 1,7% | |
| Arenas | 61,4% | |
| Finos | 36,9% | |

**CLASIFICACIÓN**

| | |
|---|---|
| Índice de Grupo | 6 |
| A.A.S.H.T.O. | A - 7 - 5 |
| U.S.C | SM |

**OBSERVACIONES:**

**ELABORADO POR: MANUEL PEREZ**

**REVISADO POR: GERMAN PEREZ PINTO**

**APROBADO POR: ING.MARCO A SOLANO**

**FECHA DE ENTREGA: MAYO 2025**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Solano Navas LTDA. | | ENSAYO DE CLASIFICACIÓN LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN I.N.V E - 122 -13 - E - 123 -13 - E - 125 -13 - E - 126-13 | CÓDIGO: FO-053 |
| | | | VERSIÓN: 3 |

| | |
|---|---|
| FECHA | Mayo de 2025 |
| ORDEN DE SERVICIO No. | 1 |
| CLIENTE. | ALCALDIA MUNICIPAL DE CALARCA |
| PROYECTO | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCION, ADECUACION Y/O REHABILITACION DE VIAS |
| UBICACIÓN | APIQUE 5 CALLE 41 |
| CONTRATISTA | CONSULTORES SOLANO NAVAS LTDA |
| FECHA DE LOS ENSAYOS | Mayo de 2025 |
| TIPO DE MATERIAL | limo arcilloso |

**CON. DE HUMEDAD**

| PROFUNDIDAD | 0,00-1,50 m |
|---|---|
| PESO DE RECIP. + S.H. | 64,17 |
| PESO DE RECIP. + S.S. | 59,20 |
| PESO RECIPIENTE | 27,10 |
| PESO AGUA | 4,97 |
| PESO SUELO SECO | 32,10 |
| % HUMEDAD | 15,48 |

**DATOS SONDEOS**

| | |
|---|---|
| ABSCISA | - |
| APIQUE | 5 |
| MUESTRA | |
| PROF. | 0,00-1,50 m |

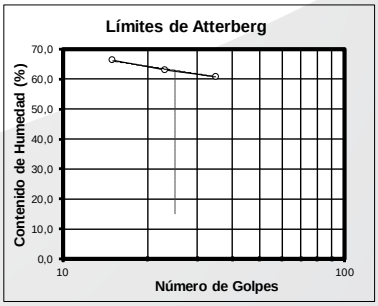
**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

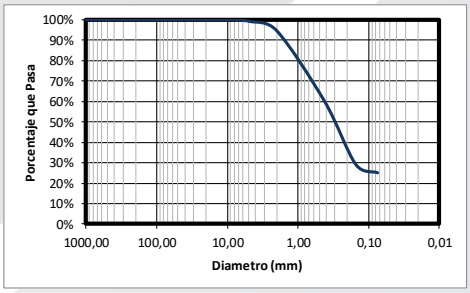
| LÍMITE LÍQUIDO NL | | | |
|---|---|---|---|
| Determinación No | 1 | 2 | 3 |
| No GOLPES | 15 | 23 | 35 |
| RECIP. No. | 4 | 1 | 80 |
| PESO DE RECIP. + S.H. | 16,17 | 17,01 | 17,46 |
| PESO DE RECIP. + S.S. | 13,13 | 13,68 | 14,02 |
| PESO RECIPIENTE | 8,54 | 8,4 | 8,37 |
| PESO AGUA | 3,04 | 3,33 | 3,44 |
| PESO SUELO SECO | 4,59 | 5,28 | 5,65 |
| % HUMEDAD | 66,23 | 63,07 | 60,88 |

| LÍMITE PLÁSTICO NP | | |
|---|---|---|
| RECIP. No. | 81 | 5 |
| PESO DE RECIP. + S.H. | 12,79 | 14,66 |
| PESO DE RECIP. + S.S. | 11,74 | 13,15 |
| PESO RECIPIENTE | 8,28 | 8,33 |
| PESO AGUA | 1,05 | 1,51 |
| PESO SUELO SECO | 3,46 | 4,82 |
| % HUMEDAD | 30,35 | 31,33 |

**GRADACIÓN**

| Peso inicial: | 770 | gr | Peso final: | 575,80 | gr |
|---|---|---|---|---|---|
| Tamiz (plg) | Tamiz (mm) | Peso (gr) | % Reten. | % Ret.Acum | % Pasa |
| 3" | 76,10 | | | | 100,0% |
| 2 ½" | 64,00 | | | | 100,0% |
| 2" | 50,80 | | | | 100,0% |
| 1 ½" | 38,10 | | | | 100,0% |
| 1" | 25,40 | 0,0 | | | 100,0% |
| 3/4" | 19,00 | 0,0 | | | 100,0% |
| 1/2" | 12,70 | 0,0 | | | 100,0% |
| 3/8" | 9,51 | 0,0 | | | 100,0% |
| 4 | 4,76 | 6,7 | 0,9% | 0,9% | 99,1% |
| 8 | 2,38 | 0,0 | | 0,9% | 99,1% |
| 10 | 2,00 | 34,3 | 4,5% | 5,3% | 94,7% |
| 12 | 1,68 | 0,0 | | 5,3% | 94,7% |
| 16 | 1,19 | 0,0 | | 5,3% | 94,7% |
| 20 | 0,59 | 48,4 | 6,3% | 11,6% | 88,4% |
| 40 | 0,42 | 216,7 | 28,1% | 39,8% | 60,2% |
| 60 | 0,30 | 154,7 | 20,1% | 59,8% | 40,2% |
| 80 | 0,18 | 59,7 | 7,8% | 67,6% | 32,4% |
| 100 | 0,15 | 24,7 | 3,2% | 70,8% | 29,2% |
| 200 | 0,07 | 30,6 | 4,0% | 74,8% | 25,2% |
| Pasa 200 | 0,0 | 194,20 | 25,2% | 100,0% | 0,0% |
| Total | | 770,0 | | | |




**RESULTADOS**

| | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido | 62,9 | % |
| Límite Plástico | 30,8 | % |
| Índice Plastico | 32,1 | % |
| Gravas | 0,9% | |
| Arenas | 73,9% | |
| Finos | 25,2% | |

**CLASIFICACIÓN**

| | |
|---|---|
| Índice de Grupo | 0 |
| A.A.S.H.T.O. | A - 2 - 7 |
| U.S.C | SC |

**OBSERVACIONES:**

**ELABORADO POR: MANUEL PEREZ**

**REVISADO POR: GERMAN PEREZ PINTO**

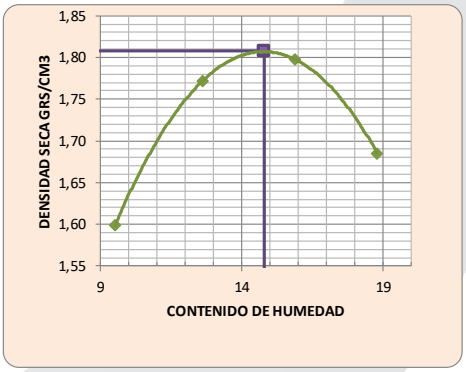
**APROBADO POR: ING.MARCO A SOLANO**

**FECHA DE ENTREGA: MAYO 2025**

| | | |
|---|---|---|
| | CONSULTORES SOLANO NAVAS LTDA | CODIGO: FO-27 |
| | RELACIONES DE HUMEDAD-MASA UNITARIA SECA EN LOS SUELOS ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN I.N.V. E 142/2013 | VERSION: 3 |
| | | FECHA: OCTUBRE DE 2024 |

| | |
|---|---|
| **FECHA** | Junio de 2025 |
| **ORDEN DE SERVICIO No.** | 1 |
| **EMPRESA SOLICITANTE.** | Alcaldia Municipal de Calarca |
| **PROYECTO** | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCION, ADECUACION Y/O REHABILITACION DE VIAS EN EL MUNICIPIO DE CALARCA |
| **UBICACIÓN** | calarca apique 5 Calle 41 |
| **CONTRATISTA** | CONSULTORES SOLANO NAVAS |
| **FECHA DE LOS ENSAYOS** | Junio de 2025 |

| MOLDE PROCTOR MODIFICADO | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| PESO MOLDE +SUELO HUMEDO | 6490,0 | 7008,0 | 7193,0 | 7020,0 |
| PESO MOLDE gr | 2784,0 | 2784,0 | 2784,0 | 2784,0 |
| PESO SUELO HUMEDO gr | 3706,0 | 4224,0 | 4409,0 | 4236,0 |
| DENSIDAD HUMEDA gr/cm$^3$ | 1,75 | 2,00 | 2,08 | 2,00 |
| **HUMEDADES** | | | | |
| CAPSULA | 32 | 30 | 34 | 4 |
| PESO CAP + SUELO HUMEDO,gr | 70,35 | 64,97 | 87,12 | 96,86 |
| PESO CAP + SUELO SECO ,gr | 66,69 | 60,73 | 81,13 | 88,09 |
| PESO AGUA ,gr | 3,66 | 4,24 | 5,99 | 8,77 |
| PESO CAPSULA,gr | 28,26 | 27,19 | 43,45 | 41,45 |
| PESO SUELO SECO gr | 38,43 | 33,54 | 37,68 | 46,64 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD % | ***9,52*** | ***12,64*** | ***15,90*** | ***18,80*** |
| DENSIDAD SECA gr/cm$^3$ | ***1,599*** | ***1,772*** | ***1,798*** | ***1,685*** |




| | | |
|---|---|---|
| **PESO DEL MOLDE :** | 2784,0 | gr |
| **VOLUMEN DEL MOLDE :** | 2116 | cm$^3$ |

| | | |
|---|---|---|
| **DENSIDAD MÁXIMA :** | **1,808** | gr/cm$^3$ |
| **HUMEDAD ÓPTIMA :** | **14,80** | % |

**ELABORADO POR: ANGEL FLORES**

**REVISADO POR: GERMAN PÉREZ PINTO**

**APROBADO POR: ING. MARCO A. SOLANO**

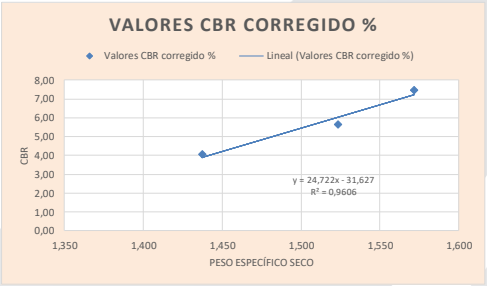
**FECHA DE ENTREGA: JUNIO DE 2025**

| | CONSULTORES SOLANO NAVAS LTDA | CODIGO: FO-21 |
|---|---|---|
| | | VERSION: 3 |
| | ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO NORMA I.N.V E- 148 / 2013 | FECHA:FEBRERO DE 2018 |

| | |
|---|---|
| **FECHA** | Junio de 2025 |
| **ORDEN DE SERVICIO No.** | 1 |
| **EMPRESA SOLICITANTE.** | Alcaldia Municipal de Calarca |
| **PROYECTO** | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCION, ADECUACION Y/O REHABILITACION DE VIAS EN EL MUNICIPIO DE CALARCA |
| **UBICACIÓN** | calarca apique 5 Calle 41 |
| **CONTRATISTA** | CONSULTORES SOLANO NAVAS |
| **FECHA DE LOS ENSAYOS** | Junio de 2025 |

| **COMPACTACION** | | | |
|---|---|---|---|
| **Prueba No.** | 1 | 2 | 3 |
| **No. De golpes** | 56 | 26 | 12 |
| **Humedad deseada** | 14,8 | 14,8 | 14,8 |
| **Humedad natural** | 13,0 | 13,0 | 13,0 |
| **Humedad adicional** | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| **Peso muestra humeda, (g)** | 3686 | 3594 | 3202 |
| **Peso muestra seca, (g)** | 3262 | 3181 | 2834 |
| **Agua adicional** | 125 | 57 | 51 |
| **Molde No.** | 1 | 2 | 3 |
| **Peso molde** | 4160 | 3986 | 4112 |
| **Volumen molde ($cm^3$** | 2095,2 | 2099,8 | 2089,9 |
| **Peso molde + muestra húmeda (g)** | 7846 | 7580 | 7314 |
| **HUMEDAD DE MOLDEO** | | | |
| Tara No. | 41 | 47 | 11 |
| Peso tara + suelo húmedo (g) | 100,34 | 114,85 | 144,72 |
| Peso tara + suelo seco (g) | 96,06 | 110,81 | 140,56 |
| Peso tara (g) | 60,25 | 78,11 | 77,51 |
| Humedad (%) | 12,0% | 12,4% | 6,6% |
| Peso unitario seco (g/cm3 ) | 1,571 | 1,523 | 1,437 |
| **EXPANSIÓN DEL MATERIAL** | | | |
| Altura muestra en el molde (mm) | 116,5 | 116,5 | 116,5 |
| lectura inicial (mm) | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Lectura día 1 expansión (mm) | 2,00 | 0,05 | 0,00 |
| Lectura día 2 expansión (mm) | 0,08 | 0,00 | 0,00 |
| Lectura día 3 expansión (mm) | 0,09 | 0,00 | 0,00 |
| Lectura día 4 expansión (mm) | 3,95 | 0,12 | 0,00 |
| % expansión | 1,67% | 0,06% | 0,00% |
| **HUMEDAD DE PENETRACION** | | | |
| Tara No. | 11 | 13 | 22 |
| Peso tara + suelo húmedo (g) | 58,45 | 58,45 | 55,49 |
| Peso tara + suelo seco (g) | 53,47 | 53,05 | 50,25 |
| Peso tara (g) | 27,88 | 28,18 | 28,85 |
| Humedad penetracion (%) | 19,5 | 21,7 | 24,5 |




**OBSERVACIONES**

**ELABORADO POR: ANGEL FLORES**

**REVISADO POR: GERMAN PEREZ**

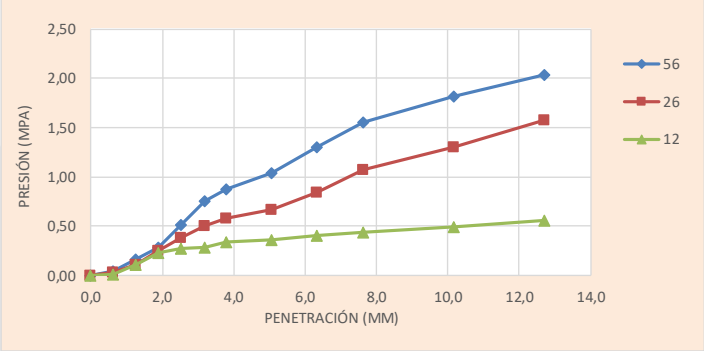
**APROBADO POR: ING. MARCO A. SOLANO VARGAS**

**FECHA DE ENTREGA: JUNIO 2025**

| | | |
|---|---|---|
| | **CONSULTORES SOLANO NAVAS LTDA** | **CODIGO: FO-27** |
| | | **VERSION: 3** |
| | **ENSAYO C.B.R. DE LABORATORIO NORMA I.N.V E- 148 / 2013** | **FECHA: FEBRERO DE 2018** |

| | |
|---|---|
| **FECHA** | Junio de 2025 |
| **ORDEN DE SERVICIO No.** | 1 |
| **CLIENTE** | Alcaldia Municipal de Calarca |
| **PROYECTO** | ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCION, ADECUACION Y/O REHABILITACION DE VIAS EN EL MUNICIPIO DE CALARCA |
| **UBICACIÓN** | calarca apique 5 calle 41 |
| **TIPO DE MATERIAL** | arenas limosas |

| **MOLDE No** | 1 | | | 2 | | | 3 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **No DE GOLPES** | 56 | | | 26 | | | 12 | | |
| **DIAS DE INMERSION** | 4 | | | 4 | | | 4 | | |
| **PENETRACIÓN (mm)** | **LEC** | **CARGA (KN)** | **PRESIÓN (MPa)** | **LEC** | **CARGA (KN)** | **PRESIÓN (MPa)** | **LEC** | **CARGA (KN)** | **PRESIÓN (MPa)** |
| 0,0 | 0 | 0,0 | 0,00 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0 | 0,000 | 0,00 |
| 0,6 | 1 | 0,126 | 0,04 | 1 | 0,058 | 0,03 | 1 | 0,016 | 0,01 |
| 1,3 | 2 | 0,310 | 0,16 | 2 | 0,224 | 0,12 | 2 | 0,206 | 0,11 |
| 1,9 | 3 | 0,560 | 0,29 | 3 | 0,498 | 0,26 | 3 | 0,438 | 0,23 |
| 2,5 | 4 | 0,992 | 0,52 | 4 | 0,754 | 0,39 | 4 | 0,540 | 0,28 |
| 3,2 | 5 | 1,456 | 0,76 | 5 | 0,968 | 0,50 | 5 | 0,558 | 0,29 |
| 3,8 | 6 | 1,696 | 0,88 | 6 | 1,120 | 0,58 | 6 | 0,668 | 0,35 |
| 5,1 | 7 | 2,000 | 1,04 | 7 | 1,304 | 0,67 | 7 | 0,710 | 0,37 |
| 6,4 | 8 | 2,510 | 1,30 | 8 | 1,624 | 0,84 | 8 | 0,790 | 0,41 |
| 7,6 | 9 | 2,990 | 1,55 | 9 | 2,072 | 1,07 | 9 | 0,848 | 0,44 |
| 10,2 | 10 | 3,494 | 1,82 | 10 | 2,516 | 1,30 | 10 | 0,956 | 0,49 |
| 12,7 | 11 | 3,912 | 2,03 | 11 | 3,062 | 1,58 | 11 | 1,088 | 0,56 |
| **CBR A 0.1"** | 7,5 | | | 5,6 | | | 4,0 | | |
| **CBR A 0.2"** | 10,0 | | | 6,5 | | | 3,5 | | |
| **CBR CORR. 0.1"** | 7,5 | | | 5,6 | | | 4,0 | | |
| **CBR CORR. 0.2"** | 10,0 | | | 6,5 | | | 3,5 | | |




| **%Densidad max** | **Densidad** | **CBR** | **CBR CORREGIDO** |
|---|---|---|---|
| 95% | 1,718 | 4,0 | 10,8 |
| 98% | 1,772 | 5,6 | 12,2 |
| 100% | 1,808 | 7,5 | 13,1 |

**OBSERVACIONES**

**REALIZADO POR: ANGEL FLORES**

**VISTO BUENO DE: GERMAN PEREZ**

**APROBADO POR: ING. MARCO A. SOLANO**

**FECHA DE ENTREGA: JUNIO DE 2025**

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

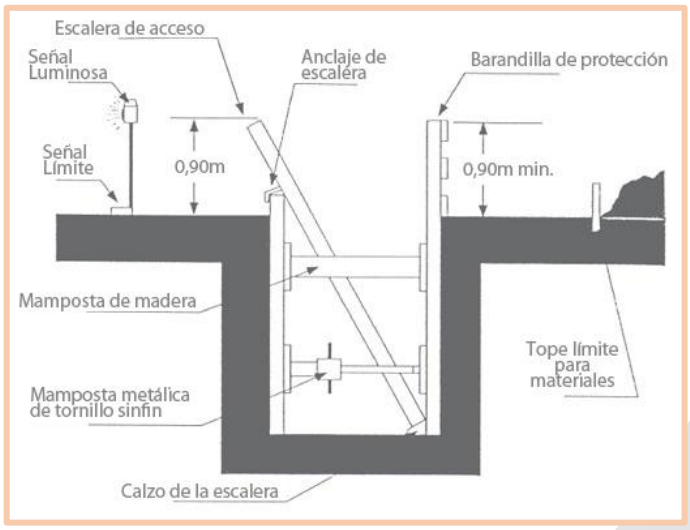
En el **tramo 3**, específicamente en el sector correspondiente a la **calle 41**, se llevó a cabo la excavación de un apique en un punto estratégicamente seleccionado dentro de su longitud total. Esta intervención tuvo como finalidad obtener información precisa y representativa de las condiciones del suelo existente. Los resultados obtenidos de dicho apique proporcionaron datos técnicos fundamentales que servirán como insumo para el proceso de diseño de las estructuras de pavimento, asegurando que las soluciones propuestas sean acordes con las características reales del terreno y garanticen un desempeño óptimo de la vía a lo largo de su vida útil.

- Apique 5 arroja un CBR de 10.8, una densidad máxima de 1.808 g/cm3 humedad optima de 14.80 % y una clasificación de la A.AS.H.T.O = A-2-7 y por medio de la U.S.C. = SC con un índice de grupo = 0.

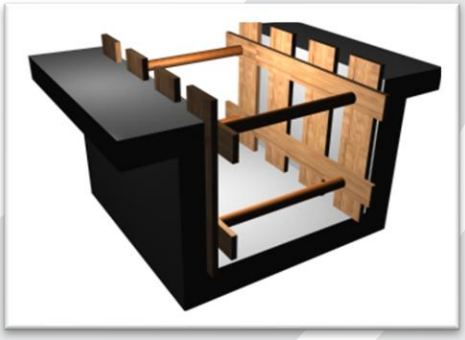
- Para las excavaciones de instalación de alcantarillado donde estas superen los dos metros de profundidad se recomienda usar entibados para prevenir deslizamientos inesperados que puedan afectar la integridad del personal de obra.

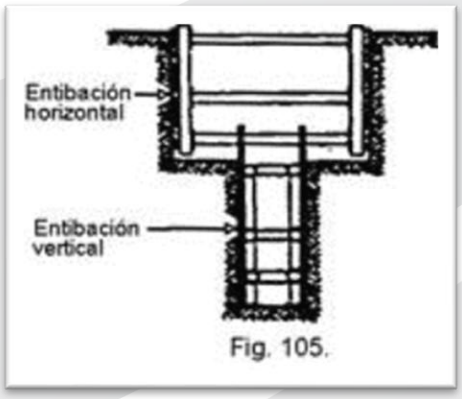
- Está estrictamente prohibido iniciar actividades de excavación mientras se presenten lluvias. En caso de que la excavación ya se encuentre en proceso o haya personal trabajando dentro de ella, los obreros deberán evacuar de manera inmediata al comenzar la precipitación. Esta medida preventiva tiene como objetivo reducir el riesgo de accidentes y evitar posibles atrapamientos ocasionados por deslizamientos o colapsos de las paredes de la excavación debido a la saturación del terreno por efecto de la lluvia.

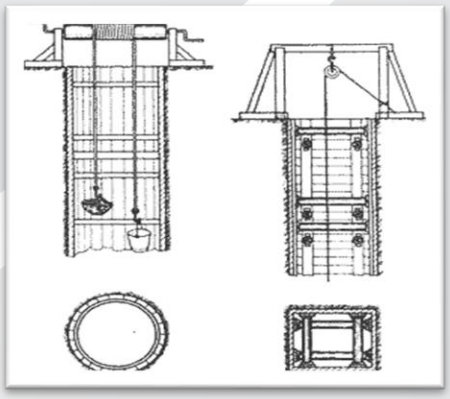
- Luego de llegar a la profundidad deseada se recomienda realizar entibados a lo largo de la excavación con listones de madera o metálicos para proteger los taludes generados por la excavación de las tuberías a instalar, a su vez se pueden realizar excavaciones con pendientes y o por diferentes tipos de terrazas tal como se encuentra en las siguientes gráficas.





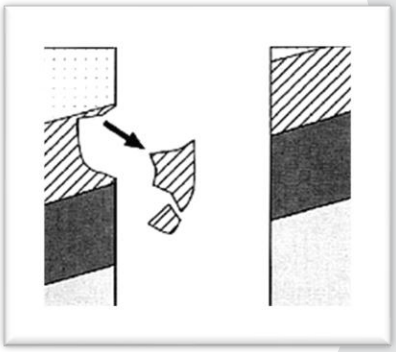





- Estos entibados se deben realizar con el fin de evitar deslizamientos tal como se encuentran en las siguientes gráficas.





El procedimiento constructivo de las excavaciones para instalación de tuberías de alcantarillado, al igual que el piso de fondo, el manejo de drenaje y la adecuación de rellenos de nivelación; deberán ser aprobados por un ingeniero con experiencia.

A continuación, se detallan algunas recomendaciones a tener en cuenta en el proceso constructivo:

- El apuntalamiento de las paredes de la excavación se puede realizar con tableros metálicos debidamente arriostrados mediante el uso de parales colocados en forma diagonal. Los parales poseen un sistema de tornillo que permitirá realizar los ajustes requeridos en el apuntalamiento.

- Se debe cuidar que los arriostres o bases de los puntales estén colocados sobre terreno firme.

- Se debe continuar hacia abajo el entibado y el arrostramiento conforme se profundiza la zanja.

- Se debe constatar que los puntales estén arriostrados entre sí.

- Cuando la lluvia inunde la zanja, es imprescindible hacer una revisión minuciosa y detallada antes de reanudar los trabajos. Se disminuirá inmediatamente las aguas que afloren o caigan en el interior de las zanjas para evitar alteraciones en estabilidad de los taludes. En época lluviosa o por escorrentías provenientes de drenajes u ojos de agua, deben tomarse medidas preventivas para el desvío de las aguas.

- Si se encuentran capas de tierra poco consistentes o grandes bloques de roca, estos deben removerse comenzando desde la parte superior de la excavación.

- Guiar los baldes con materiales durante su izado para que no golpee las paredes de la entibación.

- La excavación debe poseer un terraplén contra la entrada de agua en caso de lluvias.

- Al final de cada jornada de trabajo y cuando se presenten lluvias se cubrirá la excavación con un material impermeable y se deberá señalizar la localización de la excavación.

- Debe colocarse escalera que cubra toda la profundidad de la excavación y sobresalga de la misma

- Debe hacerse responsable a una persona competente de verificar y realizar inspecciones frecuentes del apuntalamiento y se deben dar instrucciones a todos los trabajadores para que se comuniquen inmediatamente cualquier indicio de debilidad.

- Se debe realizar un registro fotográfico de todo el sistema constructivo y a su vez de las viviendas vecinas el antes y después de la ejecución de la obra, esto es con el fin de evitar posibles malos entendidos con los vecinos en la afectación de dicho previos por culpa de la construcción nueva (actas de vecindad).

## 10. REFERENCIAS

-AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO Guide for design of pavement structures. 1993.
-ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS 2022. Instituto Nacional de Vías- INVIAS