



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR



MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN PAVIMENTO RÍGIDO Y OBRAS DE DRENAJE EN LA CARRERA 48 CON CALLE 60, LA CARRERA 49 CON CALLE 53 Y LA VÍA DE ACCESO A LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARÍA EUGENIA VELANDIA, MUNICIPIO DE ARJONA, DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR

ESTUDIO DE SUELOS

FEBRERO DE 2026



## CONTENIDO

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN.....                            | 4  |
| 2. ALCANCE Y OBJETIVOS .....                    | 5  |
| 2.1 ALCANCE .....                               | 5  |
| 2.2 OBJETIVO GENERAL.....                       | 5  |
| 2.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....                 | 5  |
| 3. GENERALIDADES .....                          | 6  |
| 3.1 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....      | 7  |
| 3.2 SECTORIZACIÓN DE LAS VÍAS A INTERVENIR..... | 10 |
| 3.3 INFRAESTRUCTURA EXISTENTE.....              | 12 |
| 4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA .....             | 12 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....         | 26 |
| 6. REFERENCIAS .....                            | 27 |
| 7. ANEXOS.....                                  | 27 |



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

### DESTINATARIOS

| DESTINATARIO                                              | COPIA DIGITAL | COPIA IMPRESA |
|-----------------------------------------------------------|---------------|---------------|
| ALCALDIA MUNICIPAL DE ARJONA--<br>DEPARTAMENTO DE BOLIVAR | 01            | 01            |
|                                                           |               |               |

### EJECUCIÓN, REVISIÓN Y APROBACIÓN

| VERSIÓN                                                                | MODIFICACIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                     |              | FECHA        |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|
| 01                                                                     | Versión Inicial                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     |              | FEBRERO 2026 |
|                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     |              |              |
|                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     |              |              |
| <b>TÍTULO DEL DOCUMENTO:</b>                                           | ESTUDIO DE SUELOS - MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN PAVIMENTO RÍGIDO Y OBRAS DE DRENAJE EN LA CARRERA 48 CON CALLE 60, LA CARRERA 49 CON CALLE 53 Y LA VÍA DE ACCESO A LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARÍA EUGENIA VELANDIA, MUNICIPIO DE ARJONA, DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR |                                                                                     |              |              |
| <b>DOCUMENTO No.:</b>                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     |              |              |
| <b>RESPONSABLES DE LA ELABORACIÓN</b>                                  | <b>Nombres:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                 | Ing. Civil, M.Sc.<br>IBRAHIM DAWD                                                   |              |              |
|                                                                        | <b>Firma:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |              |              |
|                                                                        | <b>Matrícula Profesional:</b>                                                                                                                                                                                                                                                   | 08202-387615-ATL                                                                    |              |              |
|                                                                        | <b>Fecha:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                   | FEBRERO 2026                                                                        |              |              |
| <b>RESPONSABLE POR REVISIÓN, APROBACIÓN Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD</b> | <b>Nombres:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     |              |              |
|                                                                        | <b>Firma:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |              |              |
|                                                                        | <b>Matrícula Profesional:</b>                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |              |              |
|                                                                        | <b>Fecha:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |              |              |
| <b>APROBACIÓN CLIENTE</b>                                              | <b>Fecha</b>                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Nombre</b>                                                                       | <b>Cargo</b> | <b>Firma</b> |
|                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     |              |              |



### 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la red vial del municipio de Arjona, en el departamento de Bolívar, se encuentra en condiciones deficientes pues la constante sobrecarga en el pavimento y la falta de mantenimiento periódico han causado fallas en el pavimento resultando en un deterioro amplio de la malla vial del municipio. En consecuencia, las condiciones de movilidad y conectividad para los habitantes se ven afectadas negativamente, esto directamente repercute en el desarrollo económico, social y comercial del municipio.

Ante este panorama, resulta indispensable una planificación cuidadosa en la infraestructura vial, implementando estrategias que logren mejorar las condiciones de movilidad de los habitantes, impactando directamente en su calidad de vida, pues el flujo existente entre los traslados de mercancías de los comerciantes, los trayectos de los habitantes hacia sus lugares de ocupación o trabajo serán más rápidos y cómodos.

Este documento pretende presentar el estudio de suelos del proyecto titulado “MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN PAVIMENTO RÍGIDO Y OBRAS DE DRENAJE EN LA CARRERA 48 CON CALLE 60, LA CARRERA 49 CON CALLE 53 Y LA VÍA DE ACCESO A LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARÍA EUGENIA VELANDIA, MUNICIPIO DE ARJONA, DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR” que pretende impactar positivamente la infraestructura vial en el municipio, promoviendo el bienestar y desarrollo de sus habitantes.



## 2. ALCANCE Y OBJETIVOS

### 2.1 ALCANCE

El presente documento permitirá el desarrollo del estudio de suelos para el proyecto denominado *MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN PAVIMENTO RÍGIDO Y OBRAS DE DRENAJE EN LA CARRERA 48 CON CALLE 60, LA CARRERA 49 CON CALLE 53 Y LA VÍA DE ACCESO A LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARÍA EUGENIA VELANDIA, MUNICIPIO DE ARJONA, DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR*, abarcando aspectos clave cumplimiento de normativas técnicas vigentes y la mejora de la seguridad y funcionalidad de la infraestructura vial para garantizar una rehabilitación eficiente y sostenible, contribuyendo al desarrollo urbano y la movilidad en la región.

### 2.2 OBJETIVO GENERAL

Elaborar el estudio de suelos a nivel de detalle para el **Proyecto de MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN PAVIMENTO RÍGIDO Y OBRAS DE DRENAJE EN LA CARRERA 48 CON CALLE 60, LA CARRERA 49 CON CALLE 53 Y LA VÍA DE ACCESO A LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARÍA EUGENIA VELANDIA, MUNICIPIO DE ARJONA, DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR**, garantizando el cumplimiento de normativas técnicas vigentes por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) y lineamientos por el Ministerio de Transporte, asegurando así soluciones eficientes que mejoren la funcionalidad, seguridad y durabilidad de la infraestructura vial.

### 2.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS

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

- Verificar, a partir de una rigurosa exploración geotécnica, las características más relevantes de los suelos de subrasante. Entre estas: humedad, granulometría, plasticidad, clasificación, resistencia, etc.
- Identificar el tipo y la calidad de los materiales que van a servir como fundación de las obras a proyectar.
- Proponer, en caso de ser necesario, alternativas de mejoramiento y/o reemplazo con material competente para garantizar óptimas condiciones de subrasante para la construcción de las capas de pavimento.
- Determinar la capacidad de soporte de la subrasante como parámetro fundamental de las metodologías de diseño de pavimentos.



### 3. GENERALIDADES

El presente proyecto tiene como objetivo la rehabilitación del pavimento rígido en 5.1 kilómetros de vías que forman parte de la malla vial del municipio de Arjona, en el departamento de Bolívar.

Actualmente, la infraestructura vial del municipio presenta deficiencias significativas en conectividad y estado físico, debido a la falta de mantenimiento periódico. Muchas de las vías rurales y urbanas se encuentran en condiciones regulares o deficientes, afectadas por baches, grietas, hundimientos y erosión por bombeo, además de la ausencia de señalización y pendientes inadecuadas. Estos problemas aumentan los tiempos de movilidad, reducen la comodidad y seguridad de los usuarios y aceleran el deterioro de los vehículos, además de ser factores de riesgo en la siniestralidad vial. La falta de inversión en el mantenimiento de la red vial ha generado un deterioro progresivo, haciendo urgente una intervención que garantice mejores condiciones de movilidad y calidad de vida para los habitantes.

Por estas razones, se propone la rehabilitación de 5.1 kilómetros de vías, implementando un diseño geométrico optimizado que garantice mayor seguridad vial al reducir la probabilidad de accidentes mediante un trazado adecuado, buena señalización y mejor visibilidad. Además, permitirá optimizar la movilidad disminuyendo los tiempos de desplazamiento y facilitando la circulación eficiente del transporte público y privado. También se logrará una mayor durabilidad de la infraestructura, lo que minimizará costos de mantenimiento a largo plazo, y se mejorará el confort de los usuarios al ofrecer recorridos más seguros y cómodos. Finalmente, este proyecto impulsará el desarrollo urbano y económico, facilitando la conexión entre zonas estratégicas y promoviendo el crecimiento ordenado del municipio. Con esta intervención, no solo se mejorará la funcionalidad y seguridad de la red vial, sino que también se contribuirá al desarrollo sostenible y a la calidad de vida de los habitantes de Arjona.

A continuación, se presenta un registro fotográfico del estado actual de algunas de las vías con el objetivo de tener una perspectiva clara del proyecto.



*Figura 1. Estado actual de las vías Arjona, Bolívar.*



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.1 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Arjona es un municipio colombiano ubicado en el norte del departamento de Bolívar, en la región Caribe. Se encuentra aproximadamente a 30 kilómetros al sureste de Cartagena de Indias, lo que le otorga una ubicación estratégica dentro del área metropolitana de la capital departamental. Geográficamente, Arjona está situado en las coordenadas 10°15' de latitud Norte y 75°21' de longitud Oeste, con una altitud promedio de 54 metros sobre el nivel del mar. Su clima es tropical cálido, con una temperatura promedio anual cercana a los 28°C, caracterizado por una marcada estación seca y una estación lluviosa que influye en sus actividades agrícolas y económicas.

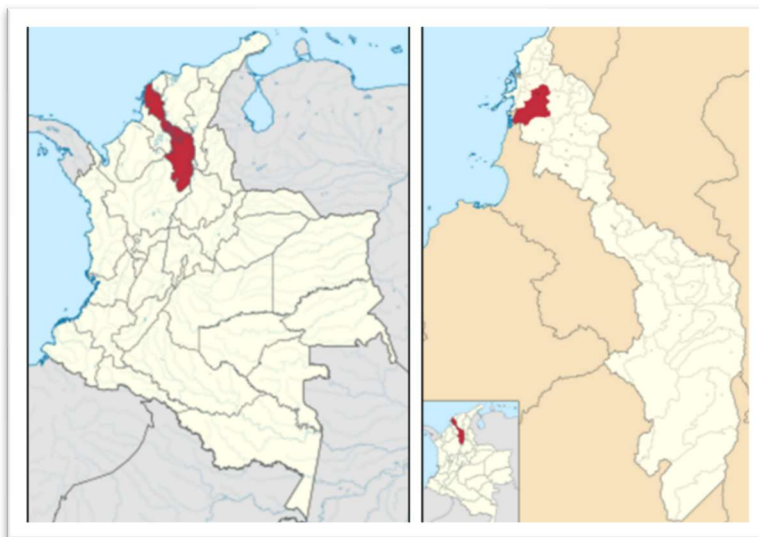
Arjona limita al norte con los municipios de Turbaco y Santa Rosa de Lima, al sur con Mahates, al este con Villanueva y al oeste con el Canal del Dique, una vía fluvial de gran importancia para la región. Su cercanía con Cartagena y su conexión con importantes corredores viales le permiten ser un punto clave para el comercio y el transporte en el departamento. El municipio cuenta con un área urbana en crecimiento y diversas zonas rurales dedicadas a la agricultura, la ganadería y la pesca.

La siguiente figura presenta la localización esquemática del departamento de Bolívar a nivel nacional, y la localización del municipio de interés.



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

Figura 2. Localización del Proyecto: (a) Departamento de Bolívar (b) Municipio de Arjona.



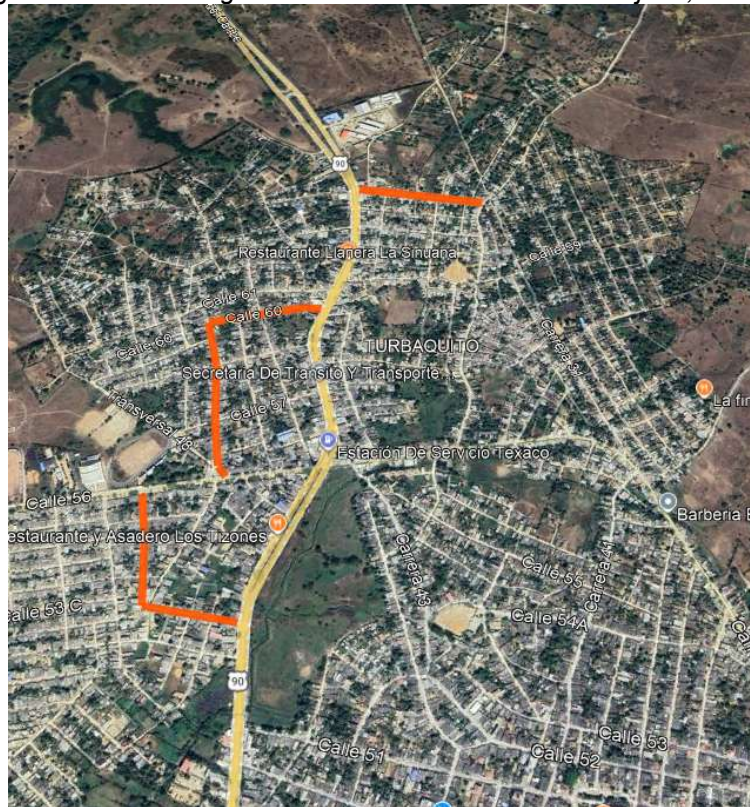
. Fuente: Wikipedia

Adicionalmente, en las siguientes figuras se presenta una ilustración global de las vías a intervenir, identificando los centros poblados de interés en los cuales habrá impactos positivos generados directamente por la mejoría de la movilidad del municipio.



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

Figura 3. Ilustración global de las vías a intervenir en Arjona, Bolívar.



Fuente: Elaboración propia



### 3.2 SECTORIZACIÓN DE LAS VÍAS A INTERVENIR

En la zona de estudio se intervendrán una serie de tramos viales, que incluyen las carreras 48 y 49, además de la vía de acceso a la Escuela CEMEV. La intervención contempla la implementación de nuevas estructuras de pavimento para mejorar la movilidad y el drenaje, lo que contribuirá a optimizar la calidad de vida de los habitantes de la zona.

En las siguientes figuras se puede identificar las calles que serán intervenidas:

- Carrera 48 – Calle 60

*Figura 4. Imagen satelital ID – 03: Carrera 48 – Calle 60*



*Fuente: Elaboración propia*



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

- Carrera 49 – Calle 53

*Figura 5. Imagen satelital ID – 07: Carrera 49 – Calle 53*



*Elaboración propia*

- Vía Escuela Cemev

*Figura 6. Imagen satelital ID – 17: Vía Escuela Cemev*



*Fuente: Elaboración propia*



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

En este orden de ideas, la siguiente tabla resume detalladamente las intervenciones propuestas para atender las limitaciones identificadas en el corredor vial, las cuales fueron esquematizadas en las figuras anteriores:

| TRAMO                            |           |           |        | INICIO X      | INICIO Y      |
|----------------------------------|-----------|-----------|--------|---------------|---------------|
| <b>CARRERA 48 -<br/>CALLE 60</b> | ID - 03.1 | L = 720 m | INICIO | 10°15'46.55"N | 75°21'6.67"O  |
|                                  |           |           | FIN    | 10°15'41.84"N | 75°21'14.52"O |
|                                  | ID - 03.2 |           | INICIO | 10°15'41.84"N | 75°21'14.52"O |
|                                  |           |           | FIN    | 10°15'29.80"N | 75°21'7.15"O  |
| <b>CARRERA 49 -<br/>CALLE 53</b> | ID - 07.1 | L = 488 m | INICIO | 10°15'26.12"N | 75°21'12.30"O |
|                                  |           |           | FIN    | 10°15'18.18"N | 75°21'8.17"O  |
|                                  | ID - 07.2 |           | INICIO | 10°15'18.17"N | 75°21'8.17"O  |
|                                  |           |           | FIN    | 10°15'19.61"N | 75°21'1.36"O  |
| <b>VÍA ESCUELA<br/>CEMEV</b>     | ID - 17   | L = 326 m | INICIO | 10°15'59.25"N | 75°21'8.65"O  |
|                                  |           |           | FIN    | 10°16'1.87"N  | 75°20'58.33"O |

### 3.3 INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

Los tramos viales que serán intervenidos presentan distintas condiciones. Algunos tienen superficies de rodadura sobre terreno natural, funcionando como vías carreteables, mientras que otros requieren la rehabilitación de la infraestructura existente. Esto incluye la reparación o el refuerzo de la estructura del pavimento debido a su deterioro. Además, las dimensiones varían entre los tramos, con anchos de calzada que oscilan entre 3 y 7 metros.



## **4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA**

### **4.1. METODOLOGÍA**

Para caracterizar las propiedades de los suelos existentes en el área del proyecto se desarrolló una etapa de exploración geotécnica, la cual consistió en la realización de apiques a largo de la vía en estudio. A partir de estas labores, se definieron los estratos del subsuelo, hasta la profundidad mencionada, con el propósito de realizar los ensayos de campo y laboratorio requeridos para estimar las propiedades de los materiales que van a servir como fundación de las obras a proyectar. En particular, se realizaron los siguientes ensayos:

- Humedad natural del suelo:
  - I.N.V. E-122-22. Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo – agregado.
- Límites de Atterberg:
  - I.N.V. E-125-22. Determinación del límite líquido de los suelos.
  - I.N.V. E-126-22. Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.
- Análisis granulométrico de suelos por tamizado:
  - I.N.V. E-123-22. Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos.
- Capacidad de soporte de la subrasante:
  - I.N.V. E-148-22. CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada.

### **4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO**

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de caracterización de los suelos de subrasante, los cuales son contrastados con criterios y especificaciones definidos en la literatura técnica asociada a la mecánica de suelos y la geotécnica para pavimentos.

En particular, el análisis comprende los aspectos asociados a la humedad, plasticidad, granulometría, clasificación y capacidad de soporte de los suelos identificados en el corredor. De esta forma se busca definir si los suelos del proyecto garantizan una fundación adecuada para las estructuras de pavimento a considerar o si se requieren labores de mejoramiento de sus propiedades mecánicas.

### **4.3. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE HUMEDAD DE LA SUBRASANTE**

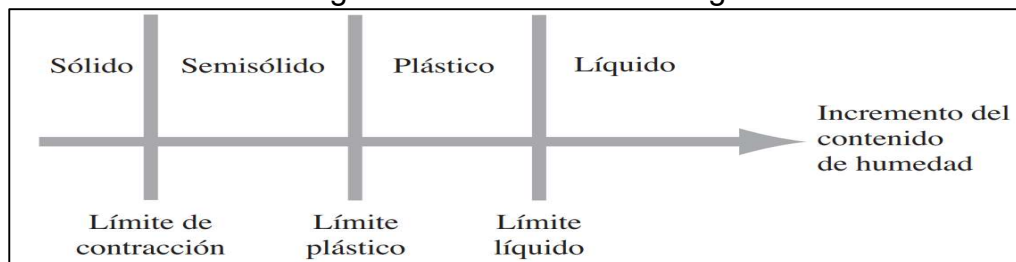
En la literatura asociada al estudio de la mecánica de suelos se define que, dependiendo del contenido de humedad, la naturaleza del comportamiento del suelo



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

puede ser dividido en cuatro estados básicos, delimitados por los Límites de Consistencia o Límites de Atterberg, tal como se presenta en la Figura 7.

Figura 7. Límites de Atterberg.



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja.

Diferentes apiques se realizaron con distancias menores a 250 metros entre apique, siguiendo así las recomendaciones de INVIAS para proyectos viales. A partir de los ensayos realizados a las muestras tomadas en campo, se determinaron los porcentajes de humedad natural y los límites de Atterberg, específicamente los valores de límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP), los cuales se resumen en la Tabla 1. La localización de los apiques se encuentra detallada en el plano de localización de apiques adjunto como un anexo.

Tabla 1. Humedad y Consistencia

| APIQUE No.            | ABSCISA | PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) |                 | HUMEDAD (%) | LL (%) | LP (%) | IP (%) |
|-----------------------|---------|-----------------------------|-----------------|-------------|--------|--------|--------|
|                       |         | LÍMITE SUPERIOR             | LÍMITE INFERIOR |             |        |        |        |
| Carrera 48 - Calle 60 |         |                             |                 |             |        |        |        |
| Apique 1              | K0+100  | 0.00                        | 1.50            | 15.6        | 33     | 19     | 14     |
| Apique 2              | K0+320  | 0.00                        | 1.50            | 12.9        | 35     | 20     | 15     |
| Apique 3              | K0+550  | 0.00                        | 1.50            | 17.9        | 37     | 22     | 15     |
| Apique 4              | K0+710  | 0.00                        | 1.50            | 16.1        | 38     | 21     | 17     |
| Carrera 49 - Calle 53 |         |                             |                 |             |        |        |        |
| Apique 1              | K0+020  | 0.00                        | 1.50            | 14.9        | 32     | 19     | 13     |
| Apique 2              | K0+265  | 0.00                        | 1.50            | 13.2        | 36     | 19     | 17     |
| Apique 3              | K0+450  | 0.00                        | 1.50            | 18.2        | 37     | 22     | 15     |
| Vía Escuela Cemev     |         |                             |                 |             |        |        |        |
| Apique 1              | K0+130  | 0.00                        | 1.50            | 16.6        | 38     | 20     | 18     |
| Apique 2              | K0+210  | 0.00                        | 1.50            | 16.4        | 35     | 23     | 12     |

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados presentados en la tabla anterior permiten estimar algunas características del suelo que serán relevantes al momento de definir sus



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

propiedades mecánicas como material de fundación. Entre estas se pueden mencionar la compresibilidad, la plasticidad, el contenido de arcillas y el potencial de expansión o hinchamiento. La Tabla 2 define un criterio para estimar la compresibilidad del suelo en función de su Límite Líquido.

Tabla 2. Compresibilidad del Suelo.

| <b>TÉRMINO UTILIZADO</b>              | <b>LÍMITE LÍQUIDO (LL)</b> |
|---------------------------------------|----------------------------|
| Ligera a baja compresibilidad         | 0 a 30                     |
| Moderada a intermedia compresibilidad | 31 a 50                    |
| Alta compresibilidad                  | mayor a 50                 |

Fuente: Mecánica de Suelos, K. Terzaghi.

Contrastando los valores de límite líquido de las tablas anteriores con el criterio de la Tabla 2 se puede determinar que los suelos de subrasante del presente estudio presentan de moderada a intermedia compresibilidad.

Tabla 3. Resultados de compresibilidad del suelo

| <b>TRAMOS</b> | <b>TERMINO UTILIZADO</b>                        |
|---------------|-------------------------------------------------|
| Todos         | Suelos de moderada a intermedia compresibilidad |

Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, las siguientes tablas presentan criterios de clasificación de resistencia y características basados en el índice de plasticidad.

Tabla 4. Clasificación de los suelos según su índice de plasticidad

| <b>TÉRMINO UTILIZADO</b> | <b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)</b> | <b>RESISTENCIA EN ESTADO SECO</b> |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| No Plástico              | 0 a 3                             | Muy Baja                          |
| Ligeramente Plástico     | 4 a 15                            | Ligera                            |
| Medianamente Plástico    | 15 a 30                           | Mediana                           |
| Muy Plástico             | Mayor a 30                        | Alta                              |

Fuente: Mecánica de Suelos, K. Terzaghi.



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

Tabla 5. Características del suelo de acuerdo con su índice de plasticidad.

| ÍNDICE DE PLASTICIDAD | CARACTERÍSTICA            |
|-----------------------|---------------------------|
| $IP > 20$             | Suelos Muy Arcillosos     |
| $20 > IP > 10$        | Suelos Arcillosos         |
| $10 > IP > 4$         | Suelos Poco Arcillosos    |
| $IP = 0$              | Suelos Exentos de Arcilla |

Fuente: Mecánica de Suelos, K. Terzaghi.

De acuerdo con los valores de índice de plasticidad del tramo de interés y los criterios de las tablas anteriores, se puede observar que los suelos estudiados son ligeramente a medianamente plásticos y de características arcillosas, ver Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación del suelo de subrasante del tramo de acuerdo con su índice de plasticidad.

| TRAMOS | RESISTENCIA EN ESTADO SECO                  | CARACTERÍSTICA DE ACUERDO CON SU PLASTICIDAD |
|--------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Todos  | Suelos ligeramente a medianamente plásticos | Suelos arcillosos                            |

Fuente: Elaboración Propia.

Por otra parte, el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos Para Vías Con Bajos Volúmenes De Tránsito del INVIAS presenta el siguiente criterio para calificar cualitativamente el potencial de expansión del suelo de subrasante a partir de su límite líquido y su índice de plasticidad, ver Tabla 7.

Tabla 7. Clasificación de los suelos según su potencial de hinchamiento.

| LL (%)    | IP (%)    | CLASIFICACIÓN DEL HINCHAMIENTO POTENCIAL |
|-----------|-----------|------------------------------------------|
| $> 60$    | $> 35$    | Alto                                     |
| $50 - 60$ | $25 - 35$ | Marginal                                 |
| $< 50$    | $< 25$    | Bajo                                     |

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos Para Vías Con Bajos Volúmenes De Tránsito, INVIAS.

Finalmente, con base en este criterio, los suelos de subrasante en las vías analizadas son categorizados como de bajo potencial de hinchamiento.



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

Tabla 8. Clasificación de los suelos según su potencial de hinchamiento.

| TRAMOS | CLASIFICACIÓN DEL HINCHAMIENTO POTENCIAL |
|--------|------------------------------------------|
| Todos  | Bajo                                     |

Fuente: Elaboración Propia.

### 4.4. GRANULOMETRÍA

A cada una de las muestras tomadas en el tramo analizado se le realizó un análisis granulométrico. Este estudio consiste en la determinación de la gama de tamaños de partículas presentes en los suelos, expresados como un porcentaje de su peso seco total. Los resultados obtenidos para las muestras estudiadas se resumen en las tablas siguientes.

Tabla 9. Resultados del análisis granulométrico

| APIQUE No.            | MUESTRA No. | GRANULOMETRÍA (%) QUE PASA |      |      |      |      |       |       |        |
|-----------------------|-------------|----------------------------|------|------|------|------|-------|-------|--------|
|                       |             | 1"                         | 3/4" | 1/2" | 3/8" | N° 4 | N° 10 | N° 40 | N° 200 |
| Carrera 48 - Calle 60 |             |                            |      |      |      |      |       |       |        |
| Apique 1              | 1           | 100                        | 100  | 100  | 100  | 99.2 | 92.9  | 86.4  | 76.1   |
| Apique 2              | 1           | 100                        | 100  | 100  | 100  | 99.7 | 94.1  | 88.0  | 80.0   |
| Apique 3              | 1           | 100                        | 100  | 100  | 100  | 99.5 | 86.6  | 78.9  | 70.5   |
| Apique 4              | 1           | 100                        | 100  | 100  | 100  | 99.6 | 88.1  | 82.5  | 71.1   |
| Carrera 49 - Calle 53 |             |                            |      |      |      |      |       |       |        |
| Apique 1              | 1           | 100                        | 100  | 100  | 100  | 99.7 | 89.3  | 82.7  | 76.7   |
| Apique 2              | 1           | 100                        | 100  | 100  | 100  | 99.8 | 90.0  | 81.1  | 68.8   |
| Apique 3              | 1           | 100                        | 100  | 100  | 100  | 99.7 | 87.2  | 76.8  | 60.2   |
| Vía Escuela Cemev     |             |                            |      |      |      |      |       |       |        |
| Apique 1              | 1           | 100                        | 100  | 100  | 100  | 99.7 | 89.9  | 81.0  | 66.0   |
| Apique 2              | 1           | 100                        | 100  | 100  | 100  | 99.7 | 91.2  | 83.8  | 71.6   |

Fuente: Elaboración Propia.



### 4.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

En esta sección se describen algunas metodologías reconocidas internacionalmente para clasificar los suelos en grupos y subgrupos en función de sus propiedades mecánicas y el comportamiento esperado para sus aplicaciones de ingeniería. Específicamente, se utilizarán dos sistemas de clasificación ampliamente utilizados por la comunidad ingenieril: el sistema de la American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Ambos sistemas están basados en las propiedades de humedad, consistencia y granulometría del suelo, las cuales fueron abordadas en secciones anteriores.

#### SISTEMA AASHTO

Este sistema está definido por la norma ASTM D-3282. La Tabla 10 resume el método de clasificación de suelos de la AASHTO, el cual clasifica el suelo en siete grupos (A1 – A7) con algunos subgrupos particulares, y finalmente describe cualitativamente el comportamiento del suelo clasificado como material de subrasante.



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

Tabla 10. Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO.

| Clasificación general                                              | Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200) |         |               |                                |         |                         |         |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------|--------------------------------|---------|-------------------------|---------|
|                                                                    | A-1                                                                                |         |               | A-2                            |         |                         |         |
| Grupo de clasificación                                             | A-1-a                                                                              | A-1-b   | A-3           | A-2-4                          | A-2-5   | A-2-6                   | A-2-7   |
| Análisis de tamiz<br>(porcentaje de paso)                          |                                                                                    |         |               |                                |         |                         |         |
| Núm. 10                                                            | 50 máx.                                                                            |         |               |                                |         |                         |         |
| Núm. 40                                                            | 30 máx.                                                                            | 50 máx. | 51 mín.       |                                |         |                         |         |
| Núm. 200                                                           | 15 máx.                                                                            | 25 máx. | 10 máx.       | 35 máx.                        | 35 máx. | 35 máx.                 | 35 máx. |
| Características de<br>la fracción de paso<br>núm. 40               |                                                                                    |         |               |                                |         |                         |         |
| Límite líquido                                                     |                                                                                    |         |               | 40 máx.                        | 41 mín. | 40 máx.                 | 41 mín. |
| Índice de plasticidad                                              | 6 máx.                                                                             |         | NP            | 10 máx.                        | 10 máx. | 11 mín.                 | 11 mín. |
| Tipos comunes<br>de materiales<br>significativos<br>constituyentes | Fragmentos de roca,<br>grava y arena                                               |         | Arena<br>fina | Limo o grava arcillosa y arena |         |                         |         |
| Clasificación general<br>de la subrasante                          | Excelente a bueno                                                                  |         |               |                                |         |                         |         |
|                                                                    |                                                                                    |         |               |                                |         |                         |         |
| Clasificación general                                              | Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200) |         |               |                                |         |                         |         |
|                                                                    | A-4                                                                                |         |               | A-5                            | A-6     | A-7<br>A-7-5*<br>A-7-6† |         |
| Grupo de clasificación                                             | A-4                                                                                |         |               | A-5                            | A-6     | A-7<br>A-7-5*<br>A-7-6† |         |
| Análisis de tamiz (porcentaje de paso)                             |                                                                                    |         |               |                                |         |                         |         |
| Núm. 10                                                            |                                                                                    |         |               |                                |         |                         |         |
| Núm. 40                                                            |                                                                                    |         |               |                                |         |                         |         |
| Núm. 200                                                           |                                                                                    | 36 mín. |               | 36 mín.                        | 36 mín. |                         | 36 mín. |
| Características de<br>la fracción de paso<br>núm. 40               |                                                                                    |         |               |                                |         |                         |         |
| Límite líquido                                                     |                                                                                    | 40 máx. |               | 41 mín.                        | 40 máx. |                         | 41 mín. |
| Índice de plasticidad                                              |                                                                                    | 10 máx. |               | 10 máx.                        | 11 mín. |                         | 11 mín. |
| Tipos comunes de materiales<br>significativos constituyentes       |                                                                                    |         |               | Suelos limosos                 |         | Suelos arcillosos       |         |
| Clasificación general de la subrasante                             | Regular a malo                                                                     |         |               |                                |         |                         |         |
| *Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$                                     |                                                                                    |         |               |                                |         |                         |         |
| †Para A-7-6, $PI > LL - 30$                                        |                                                                                    |         |               |                                |         |                         |         |

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja.

Adicionalmente, para complementar la evaluación de la calidad del suelo como material de subrasante de manera cuantitativa, el método incorpora un número llamado Índice de Grupo (IG), puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$IG = (F - 30)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

$F$  = Porcentaje que pasa el tamiz N° 200.

$LL$  = Límite Líquido.

$IP$  = Índice de Plasticidad.

En general, la calidad del comportamiento de un suelo como material de subrasante es inversamente proporcional al índice de grupo.

### SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

Este sistema está definido por la norma ASTM D-2487. En este, el suelo se divide en dos grandes categorías, que posteriormente se subclasifican de acuerdo con las especificaciones que se resumen en la Tabla 11.

Tabla 11. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

| Criterio para la asignación de símbolos de grupo                   |                                                           |                                 |                                                                            | Símbolos de grupo |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Suelos de grano grueso<br>Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200 | <b>Gravas</b>                                             | Gravas limpias                  | $C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$                                       | GW                |
|                                                                    | Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4 | Menos de 5% finos <sup>a</sup>  | $C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^e$                                              | GP                |
|                                                                    |                                                           | Gravas con finos                | $PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)                   | GM                |
|                                                                    |                                                           | Más de 12% finos <sup>a,d</sup> | $PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)              | GC                |
|                                                                    | <b>Arenas</b>                                             | Arenas limpias                  | $C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$                                       | SW                |
|                                                                    | 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4         | Menos de 5% finos <sup>b</sup>  | $C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^e$                                              | SP                |
| Suelos de grano fino<br>50% o más pasa a través del tamiz núm. 200 |                                                           | Arenas con finos                | $PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)                   | SM                |
|                                                                    |                                                           | Más de 12% finos <sup>b,d</sup> | $PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)              | SC                |
|                                                                    | <b>Limos y arcillas</b>                                   | Inorgánico                      | $PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) <sup>e</sup> | CL                |
|                                                                    | Límite líquido menor que 50                               | Orgánico                        | $PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) <sup>e</sup>      | ML                |
|                                                                    |                                                           |                                 | Límite líquido: secado                                                     |                   |
|                                                                    |                                                           |                                 | Límite líquido: no secado                                                  |                   |
| Suelos altamente orgánicos                                         | <b>Limos y arcillas</b>                                   | Inorgánico                      | Gráficos $PI$ en o por encima de línea "A" (figura 4.2)                    | CH                |
|                                                                    | Límite líquido 50 o más                                   | Orgánico                        | Gráficos $PI$ por debajo de "A" línea (figura 4.2)                         | MH                |
|                                                                    |                                                           |                                 | Límite líquido: secado                                                     |                   |
|                                                                    |                                                           |                                 | Límite líquido: no secado                                                  |                   |
| Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico           |                                                           |                                 |                                                                            | Pt                |

<sup>a</sup>Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

<sup>b</sup>Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

$$^e C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

<sup>d</sup>Si  $4 \leq PI \leq 7$  y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

<sup>e</sup>Si  $4 \leq PI \leq 7$  y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja.



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

### RESUMEN DE CLASIFICACIÓN

Una vez descritos los sistemas de clasificación de suelos a utilizar, se procede a la clasificación de las muestras tomadas en las vías en estudio, cuyos resultados se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 12. Clasificación de los suelos de subrasante

| APIQUE                | MUESTRA No. | CLASIFICACIÓN |                 |      | CLASIFICACIÓN GENERAL COMO SUBRASANTE |
|-----------------------|-------------|---------------|-----------------|------|---------------------------------------|
|                       |             | AASHTO        | ÍNDICE DE GRUPO | SUCS |                                       |
| Carrera 48 - Calle 60 |             |               |                 |      |                                       |
| Apique 1              | 1           | A-6           | 10              | CL   | Regular a malo                        |
| Apique 2              | 1           | A-6           | 10              | CL   | Regular a malo                        |
| Apique 3              | 1           | A-6           | 9               | CL   | Regular a malo                        |
| Apique 4              | 1           | A-6           | 10              | CL   | Regular a malo                        |
| Carrera 49 - Calle 53 |             |               |                 |      |                                       |
| Apique 1              | 1           | A-6           | 9               | CL   | Regular a malo                        |
| Apique 2              | 1           | A-6           | 10              | CL   | Regular a malo                        |
| Apique 3              | 1           | A-6           | 7               | CL   | Regular a malo                        |
| Vía Escuela Cemev     |             |               |                 |      |                                       |
| Apique 1              | 1           | A-6           | 8               | CL   | Regular a malo                        |
| Apique 2              | 1           | A-6           | 8               | CL   | Regular a malo                        |

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.6. CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE LA SUBRASANTE

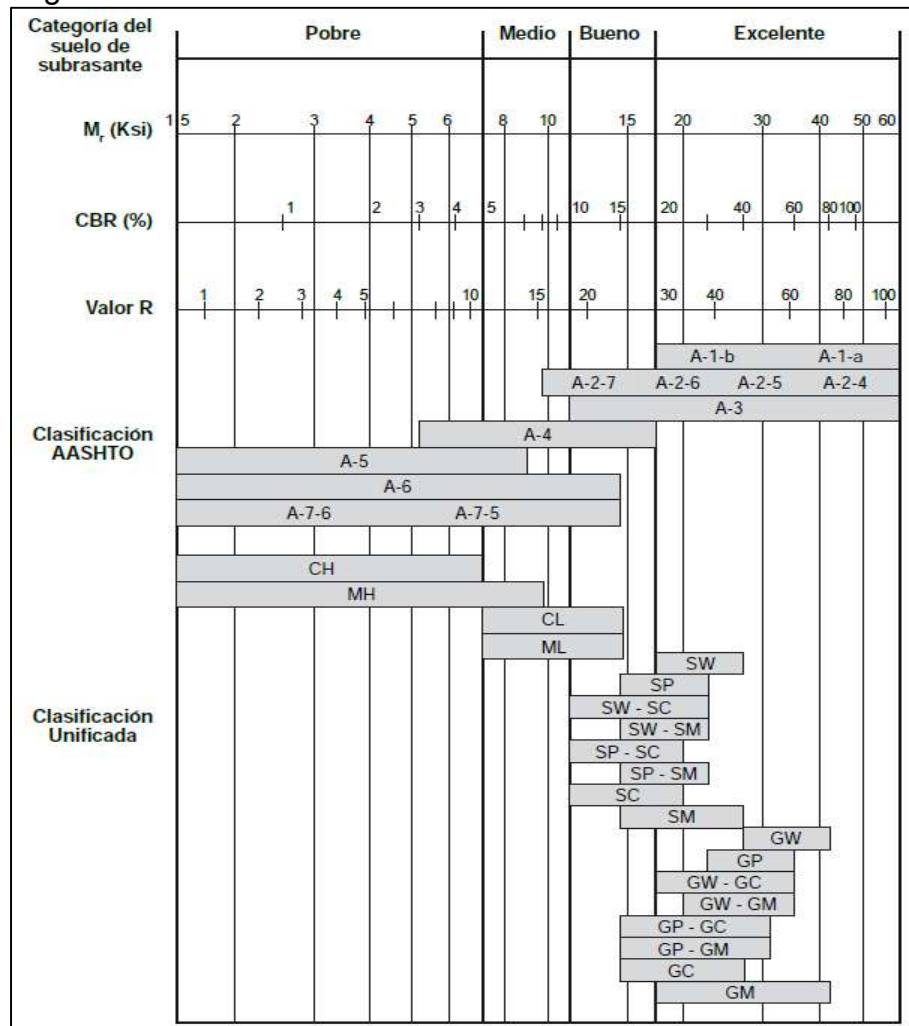
De acuerdo con el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos Para Vías Con Bajos Volúmenes De Tránsito del INVIAS, la caracterización de las propiedades mecánicas de la subrasante se puede realizar por medio del análisis de los valores de CBR obtenidos por cada unidad definitiva de diseño.

En el manual de la AASHTO se reporta el diagrama que se presenta en la Figura 8, en la que se puede estimar un valor de CBR (%) en función de la clasificación del suelo. Sin embargo, con el objetivo de tener una representación de la capacidad de soporte de la subrasante con mayor precisión y seguridad, en el presente estudio se realizaron ensayos de CBR sobre muestras inalteradas para las diferentes muestras evaluadas a nivel de subrasante en la exploración geotécnica.



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

Figura 8. Correlaciones entre distintas características del suelo.



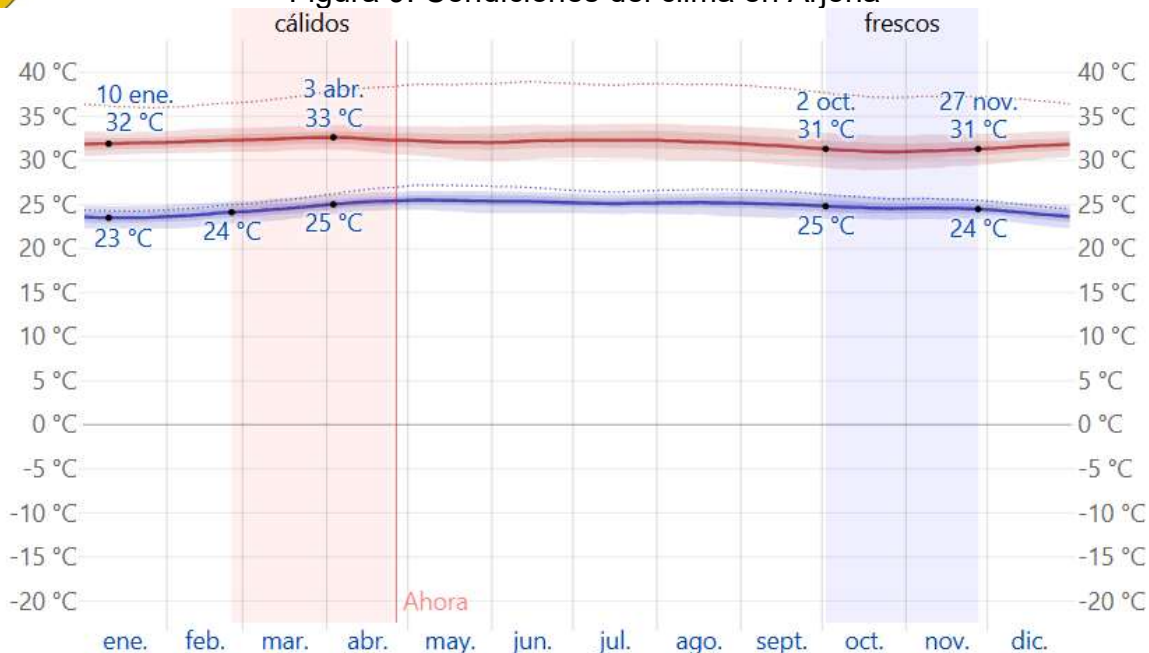
Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos Para Vías Con Bajos Volúmenes De Tránsito, INVIAS.

De acuerdo con el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito del INVIAS, las condiciones de humedad para realizar el ensayo de CBR deben definirse en función de las condiciones climáticas de la zona, específicamente con base en la temperatura media anual TMAP (°C) y la precipitación media anual (mm). En particular la zona del proyecto presenta altas temperaturas, con valores en el rango entre 23°C y 33°C. Por otro lado, meses como octubre llegan a tener precipitaciones mensuales promedio de 133 mm y picos de 230 mm, ver Figura 9 y Figura 10, respectivamente. Por esta razón, se adoptaron las condiciones sumergidas para el análisis de la capacidad de soporte de la subrasante en términos de CBR (condición crítica). De esta manera se garantiza una condición crítica y que el pavimento tendrá un óptimo funcionamiento en todas las épocas del año.



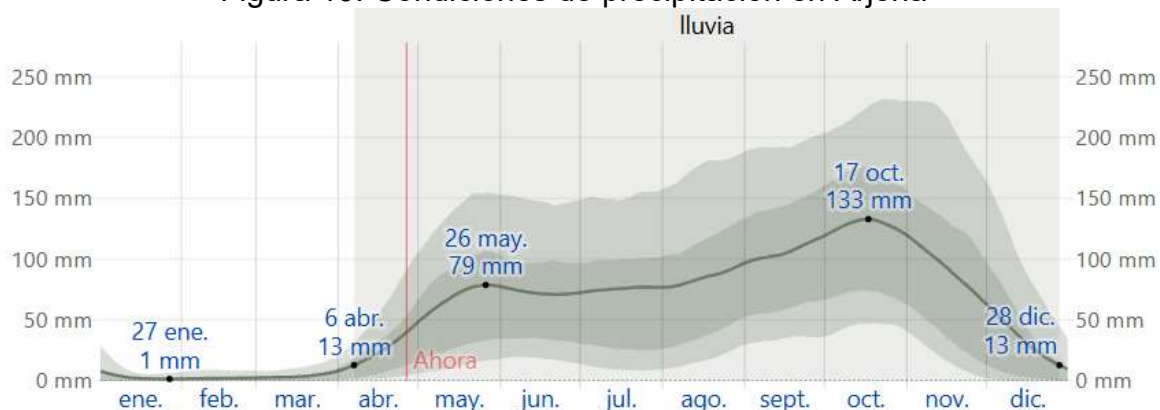
## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

Figura 9. Condiciones del clima en Arjona



Fuente: Weatherspark.

Figura 10. Condiciones de precipitación en Arjona



Fuente: Weatherspark.

La siguiente tabla resume los valores de CBR identificados a lo largo de los apiques realizados, los cuales pueden ser utilizados para el diseño de las estructuras de pavimento. Es importante mencionar que los resultados de los ensayos se presentan en el capítulo de Anexos del presente informe.



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

Tabla 13. Valores de CBR (%) de suelos de subrasante

| APIQUE                       | CBR (%)<br>SUMERGIDO |
|------------------------------|----------------------|
| <b>Carrera 48 - Calle 60</b> |                      |
| Apique 1                     | 1.2                  |
| Apique 2                     | 1.4                  |
| Apique 3                     | 1.3                  |
| Apique 4                     | 1.2                  |
| <b>Carrera 49 - Calle 53</b> |                      |
| Apique 1                     | 1.3                  |
| Apique 2                     | 1.5                  |
| Apique 3                     | 1.4                  |
| <b>Vía Escuela Cemev</b>     |                      |
| Apique 1                     | 1.4                  |
| Apique 2                     | 1.2                  |

Fuente: Elaboración Propia.

En general, de la información presentada en las tablas anteriores, se puede observar que existe poca variabilidad en los valores de resistencia mecánica, en términos de CBR (%) a lo largo de los tramos analizados. Por esto, se generará un único diseño para los 3 proyectos que están ubicados en el mismo municipio. El análisis de la selección del CBR de diseño para cada calle/carrera se seleccionó como el valor promedio (media aritmética), siguiendo así las recomendaciones del Instituto del Asfalto para proyectos de bajos volúmenes de tráfico. Por lo tanto, se tiene un CBR de diseño para el tramo de 1.3%. Adicionalmente, dadas las pobres características de la subrasante arcillosa encontrada, se recomienda colocar un geotextil tejido T2400 sobre la subrasante.

### 4.7. CLASIFICACIÓN DE SUBRASANTE Y CBR DE DISEÑO

Teniendo en cuenta la Tabla 14 “Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia” del Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito” del INVIAS en la clasificación de la Subrasante se tienen cinco clases de fundación en función de la capacidad de soporte (CBR), las cuales varían desde S1 hasta S5.



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

Tabla 14. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia

| Clase o Tipo | CBR (%) |
|--------------|---------|
| S1           | < 2     |
| S2           | 2 - 5   |
| S3           | 5 - 10  |
| S4           | 10 - 20 |
| S5           | >20     |

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos De Concretos Para Vías Con Bajos, Medios y Altos Volúmenes De Tránsito, INVIAS.

Los tramos de este proyecto clasifican como clase S1. Teniendo en cuenta que la capacidad portante de la subrasante del tramo analizado es muy baja con un valor de CBR de diseño menor a 3%, con suelos completamente arcillosos y que las especificaciones definidas por el INVIAS recomiendan procedimientos de mejoramiento o estabilización del terreno en suelos con  $CBR \geq 3\%$ , se recomienda un mejoramiento de subrasante utilizando material tipo triturado calizo 3/4 a 1 1/2". Para calcular el CBR mínimo de mejoramiento de la subrasante se aplica la metodología de Ivanov por medio de la siguiente ecuación:

$$E_e = \frac{E_0}{1 - \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}}\right) \arctan\left(\frac{ns}{2a}\right)}$$

$$n = \sqrt[2.5]{\frac{E_1}{E_0}}$$

Donde:

- $E_e$  Módulo equivalente de subrasante mejorada (kg/cm<sup>2</sup>).
- $E_0$  Módulo de elasticidad de la subrasante (kg/cm<sup>2</sup>).
- $E_1$  Módulo de elasticidad del material de tipo rajón (kg/cm<sup>2</sup>).
- $s$  Espesor del material de tipo rajón (cm).
- $a$  Constante con valor igual a 15.

El módulo de elasticidad dinámicos de cada capa se obtiene a partir de las siguientes correlaciones establecidas a partir de experiencias locales y cartas de la AASHTO:

Correlación 1: Para el módulo resiliente de la subrasante la ecuación propuesta es para CBR <8%

$$Mr \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 100 * CBR$$

Correlación 2: Para el módulo resiliente de la subrasante la ecuación propuesta es para CBR >8%

$$Mr \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 130 * CBR^{0.714}$$

Como los resultados de CBR obtenidos son menores al 8% se hace uso de la



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

correlación 1 para el cálculo del Módulo Equivalente por el método de IVANOV y con base en este resultado se calcula el CBR equivalente de la interacción de la subrasante con el mejoramiento, obteniendo un valor de CBR de diseño de 7.3%.

| CÁLCULO ESTIMATIVO DEL CBR EQUIVALENTE EN LA SUPERFICIE DE LA CAPA DE MEJORAMIENTO<br>POR MEDIO DE LA FÓRMULA DE IVANOV                                                                                                                                                                                      |               |                       |                   |                       |                     |                     |                     |                                          |                         |                  |                                           |                       |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------------------------|-----------------------|----------------|
| CBR DEL CORREDOR                                                                                                                                                                                                                                                                                             |               | E <sub>INF.</sub>     | E <sub>SUP.</sub> | n                     | n <sup>3.5</sup>    | h <sub>1</sub> (cm) | h <sub>1</sub> / 2a | tan <sup>-1</sup> (n <sup>3.5</sup> /2a) | 1-(1/n <sup>3.5</sup> ) | 2/p              | 2/p <sup>1</sup>                          | E <sub>equiv</sub>    | CBR            |
| SUBRASANTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | MAT. GRANULAR | (kg/cm <sup>2</sup> ) |                   |                       |                     |                     |                     | (rad)                                    |                         |                  |                                           | (Kg/cm <sup>2</sup> ) |                |
| 1.20                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 30.0          | 148                   | 1474              | 2.51                  | 24.97               | 30.0                | 0.99                | 1.19                                     | 0.96                    | 0.64             | 0.72                                      | 538                   | 7.3            |
| <b>SISTEMA EQUIVALENTE</b><br>CBR EQUIVALENTE = 7.3 %                                                                                                                                                                                                                                                        |               |                       |                   |                       |                     |                     |                     |                                          |                         |                  |                                           |                       |                |
| CBR DISEÑO                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |               |                       | E <sub>INF.</sub> | E <sub>SUP.</sub>     | E <sub>EQUIV.</sub> | n                   | n <sup>3.5</sup>    | 1-(1/n <sup>3.5</sup> )                  | 2/p                     | 2/p <sup>1</sup> | 1-(E <sub>INF</sub> /E <sub>EQUIV</sub> ) | tan(L/K)              | h <sub>1</sub> |
| SUBRASANTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | MAT. GRANULAR | EQUIV.                |                   | (Kg/cm <sup>2</sup> ) |                     |                     |                     |                                          |                         |                  |                                           |                       | (cm)           |
| 1.20                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 30.0          | 7.3                   | 148               | 1474                  | 538.5               | 2.51                | 24.97               | 0.96                                     | 0.64                    | 0.61             | 0.73                                      | 2.47                  | 30.01          |
| <b>ESPESOR NECESARIO</b><br><b>PARA OBTENER EL MÓDULO EQUIVALENTE</b><br>ALTURA DEL RELLENO (h <sub>1</sub> ) = 30.01 cm                                                                                                                                                                                     |               |                       |                   |                       |                     |                     |                     |                                          |                         |                  |                                           |                       |                |
| $E_{INFERIOR} = 130 \times CBR^{0.714}$ $E_{SUPERIOR} = 130 \times CBR^{0.714}$ $h_1 = \frac{2a}{n} \cdot \tan \left[ \frac{\left(1 - \frac{E_{inferior}}{E_{equivalente}}\right)}{\frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}}\right)} \right]$ $n = \left( \frac{E_{superior}}{E_{inferior}} \right)^{1/2.5}$ |               |                       |                   |                       |                     |                     |                     |                                          |                         |                  |                                           |                       |                |
| h <sub>1</sub> corresponde al espesor entre máximo y mínimo del material granular                                                                                                                                                                                                                            |               |                       |                   |                       |                     |                     |                     |                                          |                         |                  |                                           |                       |                |

De acuerdo con lo anterior, se deben mejorar las características de la subrasante usando un mejoramiento con material de tipo triturado calizo 3/4 a 1 1/2"y un espesor mínimo de **0.30 m**, obteniendo el CBR de diseño de 7.3%. Con esto el proyecto clasificaría como S3. Adicionalmente, contemplar este material disminuye los espesores del pavimento en concreto, tal como se presenta en el diseño de pavimentos del proyecto. El cálculo del relleno para el mejoramiento de la subrasante por medio de IVANOV, se muestran en el Anexo.



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente informe desarrolló los aspectos asociados al estudio de suelos para el proyecto *“MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN PAVIMENTO RÍGIDO Y OBRAS DE DRENAJE EN LA CARRERA 48 CON CALLE 60, LA CARRERA 49 CON CALLE 53 Y LA VÍA DE ACCESO A LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARÍA EUGENIA VELANDIA, MUNICIPIO DE ARJONA, DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR”*. Se realizó una fase de exploración geotécnica con el objetivo de estimar las propiedades de los materiales que van a servir como fundación de las obras a proyectar. Lo anterior, por medio de la realización de ensayos de campo y laboratorio, de acuerdo con los lineamientos definidos en las Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras del INVIAS. A partir de la información analizada a lo largo del documento, sintetizada en la sección anterior, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Las exploraciones (apiques) fueron realizadas a una profundidad de aproximadamente 1.5 m, identificando homogeneidad en las propiedades del material de subrasante a lo largo de los tres tramos de estudio. El nivel freático se evidenció a una profundidad promedio de 1 m.
- Se determinaron los límites de Atterberg y los contenidos de humedad para las muestras de suelo analizadas en laboratorio, los cuales fueron contrastados con algunos criterios disponibles en la literatura técnica para caracterizar algunas propiedades relevantes de los suelos. En particular, se identificaron los rangos de valores que se encuentran resumidos en la siguiente Tabla.

Tabla 15. Rango de los resultados de los límites de Atterberg

| APIQUE No.            | ABSCISA | PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) |                 | HUMEDAD (%) | LL (%) | LP (%) | IP (%) |
|-----------------------|---------|-----------------------------|-----------------|-------------|--------|--------|--------|
|                       |         | LÍMITE SUPERIOR             | LÍMITE INFERIOR |             |        |        |        |
| Carrera 48 - Calle 60 |         |                             |                 |             |        |        |        |
| Apique 1              | K0+100  | 0.00                        | 1.50            | 15.6        | 33     | 19     | 14     |
| Apique 2              | K0+320  | 0.00                        | 1.50            | 12.9        | 35     | 20     | 15     |
| Apique 3              | K0+550  | 0.00                        | 1.50            | 17.9        | 37     | 22     | 15     |
| Apique 4              | K0+710  | 0.00                        | 1.50            | 16.1        | 38     | 21     | 17     |
| Carrera 49 - Calle 53 |         |                             |                 |             |        |        |        |
| Apique 1              | K0+020  | 0.00                        | 1.50            | 14.9        | 32     | 19     | 13     |
| Apique 2              | K0+265  | 0.00                        | 1.50            | 13.2        | 36     | 19     | 17     |
| Apique 3              | K0+450  | 0.00                        | 1.50            | 18.2        | 37     | 22     | 15     |
| Vía Escuela Cemev     |         |                             |                 |             |        |        |        |
| Apique 1              | K0+130  | 0.00                        | 1.50            | 16.6        | 38     | 20     | 18     |



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

| APIQUE No. | ABSCISA | PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m) |                 | HUMEDAD (%) | LL (%) | LP (%) | IP (%) |
|------------|---------|-----------------------------|-----------------|-------------|--------|--------|--------|
|            |         | LÍMITE SUPERIOR             | LÍMITE INFERIOR |             |        |        |        |
| Apique 2   | K0+210  | 0.00                        | 1.50            | 16.4        | 35     | 23     | 12     |

*Fuente: Elaboración Propia*

- Utilizando las propiedades de límites de Atterberg y granulometría de las muestras, se clasificaron los Suelos de acuerdo con los sistemas AASHTO y SUCS. En general, ambos sistemas coinciden en la identificación de suelos arcillosos de baja plasticidad y una calidad regular a mala como material de subrasante.
- Por otra parte, las propiedades de resistencia mecánica de la subrasante fueron valoradas por medio del ensayo CBR sobre muestras inalteradas. Considerando las condiciones climáticas de la zona del proyecto, específicamente la temperatura media anual TMAP (°C) y la precipitación media anual (mm), se adoptaron las condiciones sumergidas para el análisis de la capacidad de soporte de la subrasante. A partir de estos procedimientos se identificaron valores de CBR en el rango entre 1.2% y 1.5%. Adicionalmente, dadas las pobres características de la subrasante arcillosa encontrada, se recomienda colocar un geotextil tejido T2400 sobre la subrasante.
- Con base en los cálculos obtenidos en la fórmula de IVANOV, se adoptó como valor de CBR de diseño usando un relleno de material de tipo triturado calizo 3/4 a 1 1/2" con un espesor mínimo de **0.30 m**. Con esta mejora, se obtuvo un CBR combinado de diseño de 7.3%, el cual es análogo a un módulo de reacción de la subrasante de 167 pci. Se recomienda que el diseñador del pavimento considere este valor para el diseño de la estructura del pavimento.
- El material proveniente de las excavaciones no podrá ser empleado como material de relleno ya que presenta una alta plasticidad y baja consistencia.

Para la intervención de las redes de alcantarillado es necesario realizar excavaciones de aproximadamente 1.5 metros de profundidad. Dadas las malas características del material de la subrasante, y con el objetivo de preservar la vida y seguridad de los trabajadores, no se recomienda realizar excavaciones de más de 50 centímetros en pared vertical. En consecuencia, para la instalación de las redes de alcantarillado se hace necesario utilizar entibados. El entibado se usará para sostener las paredes de la excavación, proteger el personal, las edificaciones vecinas y la obra en general. Los entibados se deberán apuntalar la parte superior e inferior en la forma descrita en la Figura 11, entibado con 2 puntales y usando perfiles tablas horizontales (miembros horizontales que van de pared a pared) y verticales. Estos elementos serán listones de madera o puntales especiales extensibles de acero (gatos).



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

Los puntales se colocarán cada 1,5 metros, soportando largueros horizontales que normalmente consisten en listones de 100 mm (4 pulgadas) que se deberán afirmar sobre las paredes de excavación colocando cuñas entre los mismos y los puntales, o bien extendiendo los puntales de acero (gatos) por medio de sus tornillos.

Se deberán utilizar los siguientes materiales tipos: puntales, los cuales se disponen con separaciones de 1,50 m en sentido horizontal y de 1 a 2 metros en sentido vertical. En excavaciones para instalación de redes de acueducto y alcantarillado, consisten en puntales de madera o metálicos de 100 mm x 100 mm (4 por 4 pulgadas). Para los entablonados verticales se deberán utilizar tablonos de un ancho de 250 mm a 300 mm (10 a 12 pulgadas).

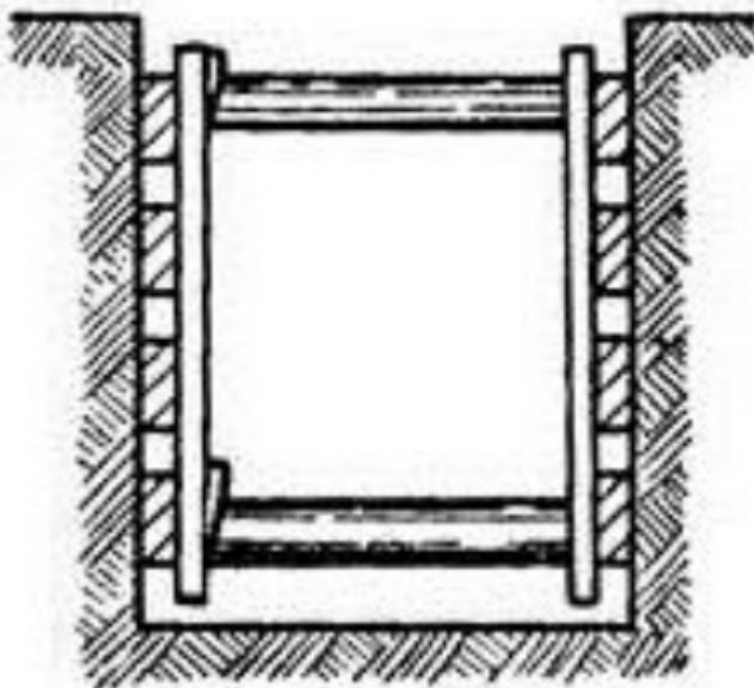


Figura 11. Entibado con dos puntales.

El proceso de instalación para el entibado tipo cajón es el siguiente:

1. Preparación de una preexcavación del largo del cajón, aproximadamente de 0.5 a 1 m de profundidad y del ancho de la excavación.
2. Con la excavadora se coloca el cajón en la preexcavación.
3. Excavación con el balde de la excavadora al interior del cajón, empujando los paneles alternadamente hacia abajo, con el balde (lleno de tierra para que adquiera peso), de modo de introducirlos en el terreno a medida que se excava. No se debe golpear los paneles con el balde, ya que esto los dañaría, al igual que a la excavadora. Sobre los paneles se debe colocar la viga de protección para no dañarlos, sobre la cual carga el balde de la excavadora.



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR

4. El proceso de excavación e hincado del cajón se repite hasta que éste llegue a la profundidad requerida.
5. Si la profundidad de la excavación así lo requiere, se instala sobre el cajón base el cajón realza, el cual se coloca sobre el cajón base cuando éste esté con su parte superior a nivel de terreno, se une con los acoples metálicos con sus pasadores y seguros respectivos. Luego se continúa el proceso.
6. Para finalizar las riostras deben quedar en forma horizontal, perpendicular a los rieles.
7. Terminada la instalación del cajón y la excavación ingresan los trabajadores, estando completamente protegidos de cualquier riesgo de desmoronamiento, a las tareas de preparación cancha, colocación de tubos y relleno compactado.
8. Una vez terminado los trabajos dentro de la excavación se procede al retiro de los cajones. Antes de comenzar todos los trabajadores deben salir de la excavación.
9. Retiro de los cajones: Para retirar los cajones se engancha la eslinga de cadenas a las 4 esquinas de éste y con la excavadora se tira alternadamente de las esquinas de cada panel hasta que suelten. Los cajones se deben levantar en la medida que se va efectuando el relleno compactado. Nunca se debe sacar el cajón completamente ya que quedarían las paredes de la excavación desprotegidas con el grave riesgo de que se desmoronen.
10. Los cajones que se retiren se colocan al final de la excavación y se repite todo el proceso.

**Cajones de Blindaje.**  
**Modo operativo:**  
 Se presiona alternadamente  
 sobre ambas planchas.  
 El cajón descende según se  
 excava.

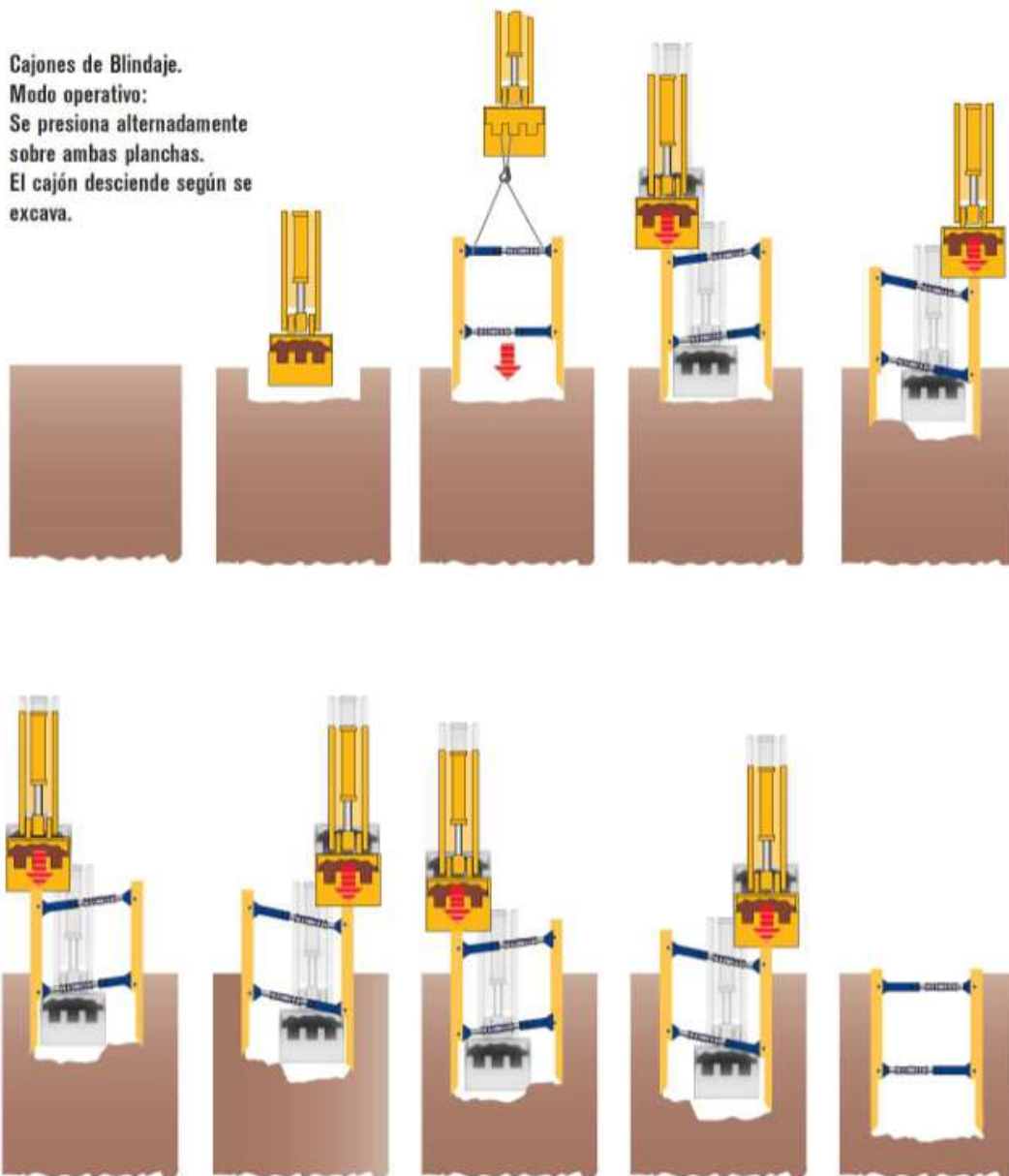


Figura 12. Método de instalación de entibado tipo cajón.



## ALCALDÍA MUNICIPAL DE ARJONA - BOLÍVAR



Figura 13. Método de instalación de entibado tipo cajón.



## **6. REFERENCIAS**

Braja, D (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*.

INVIAS (2007). *Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito*.

INVIAS (2008). *Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para Vías de Bajos, Medios y Altos Volúmenes de Tránsito*.

INVIAS (2012). *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras*.

INVIAS (2012). *Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras*.

Terzaghi, K (1978). *Mecánica de Suelos*.

## **7. ANEXOS**

Resultados de ensayos de laboratorio