



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PITRA

Programa de
Infraestructura
del Transporte

ASESORÍA TÉCNICA PARA
REALIZACIÓN DE ESTUDIOS
PRELIMINARES Y RECOMENDACIÓN
DE INTERVENCIÓN PARA EL CAMINO
C1-016-013 BIJAGUAL, CANTÓN DE
TURRUBARES

LM-PI-GM-INF-06-2016

PREPARADO POR
Ulate-Castillo, Alonso



programa de infraestructura
del transporte

PITRA

San José, Costa Rica
Noviembre, 2016

UGM

Unidad de
Gestión Municipal

ASESORÍA TÉCNICA PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS PRELIMINARES Y RECOMENDACIONES DE INTERVENCIÓN PARA EL CAMINO C1-016-013 BIJAGUAL, CANTÓN DE TURRUBARES

Ulate-Castillo Alonso ¹

1. Ingeniero Unidad de Gestión Municipal PITRA LanammeUCR

Palabras Clave: Asesoría técnica, estudios preliminares, diseño de pavimentos, Bijagual, Turrubares

Resumen: La Municipalidad de Turrubares solicitó la colaboración técnica del LanammeUCR para realizar estudios preliminares y recomendaciones de intervención para 440 m del camino C1-016-013 ubicado en la localidad de Bijagual. Se realizó una inspección visual del camino, se midió el volumen vehicular, sondeos a cielo abierto, ensayos de DCP y muestreo de materiales existentes para ser caracterizados en el laboratorio. Se aplicó la metodología de diseño AASHTO 93 y se realizó la verificación de desempeño por deformación permanente. Se recomiendan dos estructuras de pavimento, una para la sección de la calzada existente y una para las zonas de espaldones y carril a ampliar. Se aportan los diagramas de secciones transversales y estructuras de pavimento propuestas, así como recomendaciones acerca de la secuencia de intervención y especificaciones de referencia para los materiales nuevos a colocar. Los diseños recomendados son preliminares, por lo que la UTGV de la Municipalidad de Turrubares deberá valorar de acuerdo a su criterio técnico y presupuesto disponible el diseño final del proyecto, el cual se recomienda que cuente con los diagramas, planos y especificaciones técnicas correspondientes.

Referencias

1. American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). Guide for the Design of Pavement Structures [Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento]. (7ta Ed), Washington, D.C., EEUU: Autor.
2. Arias-Barrantes, E. (2014). Recomendaciones Técnicas para el Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles con la Incorporación de Criterios Mecánicos-Empíricos. San José: PITRA, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.
3. Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2013). Anuario de información de tránsito 2012. Descargado de: <http://www.mopt.go.cr/planificacion/carreteras/AnuarioTr%C3%A1nsito2012.pdf>
4. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2010). Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010.
5. Ulloa, Á; Badilla, G; Allen, J; Sibaja, D(2007). Encuesta de Carga. Unidad de Investigación. Proyecto #PI-01-PIIVI-2007. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. San José, Costa Rica: LanammeUCR.

TECHNICAL ASISTANCE ON PRELIMINARY STUDIES AND INTERVENTION RECOMMENDATIONS FOR THE ROAD C1-016-013 BIJAGUAL, TURRUBARES TOWN

Ulate-Castillo Alonso ¹

1. Engineer Municipal Management Department PITRA LanammeUCR

Keywords: Technical Assistance, preliminary studies, pavement design, Bijagual, Turrubares

Abstract: The Municipality of Turrubares requested the technical collaboration of the LanammeUCR to carry out preliminary studies and intervention recommendations for 440 m of the path C1-016-013 located in the town of Bijagual. A visual inspection of the road was made, the vehicle volume was measured, open pit surveys, DCP tests and sampling of existing materials to be characterized in the laboratory. The AASHTO 93 design methodology was applied and performance verification by permanent deformation was made. Two pavement structures are recommended, one for the section of the existing roadway and one for the areas of shoulders and lane to be extended. The proposed cross-sectional diagrams and pavement structures are provided, as well as recommendations on the intervention sequence and specifications for new materials to be placed. The recommended designs are preliminary, so that the Road Management Technical Unit (UTGV) of the Municipality of Turrubares should assess according to its technical criteria and available budget the final design of the project, which is recommended to have the corresponding diagrams, plans and technical specifications

References

1. American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). Guide for the Design of Pavement Structures [Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento]. (7ta Ed), Washington, D.C., EEUU: Autor.
2. Arias-Barrantes, E. (2014). Recomendaciones Técnicas para el Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles con la Incorporación de Criterios Mecánicos-Empíricos. San José: PITRA, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.
3. Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2013). Anuario de información de tránsito 2012. Descargado de: <http://www.mopt.go.cr/planificacion/carreteras/AnuarioTr%C3%A1nsito2012.pdf>
4. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2010). Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010.
5. Ulloa, Á; Badilla, G; Allen, J; Sibaja, D(2007). Encuesta de Carga. Unidad de Investigación. Proyecto #PI-01-PIIVI-2007. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. San José, Costa Rica: LanammeUCR.

Ulate-Castillo, A. (2016). *Asesoría técnica para la realización de los estudios preliminares y recomendaciones de intervención para el camino C1-016-013 Bijagual, cantón de Turrubares*. San José: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



programa de infraestructura
del transporte

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Informe No. LM-PI-GM-INF-06-2016

Asesoría técnica para realización de estudios preliminares y recomendación de intervención para el camino C1-016-013 Bijagual, Cantón de Turrubares.

Preparado por:
Unidad de Gestión Municipal

San José, Costa Rica
Noviembre, 2016

Documento generado con base en el Art. 6, inciso j) de la Ley 8114 según la reforma aprobada en la Ley 8603. Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT
Preparado por: Unidad de Gestión Municipal del PITRA-LanammeUCR
alonso.ulate@ucr.ac.cr



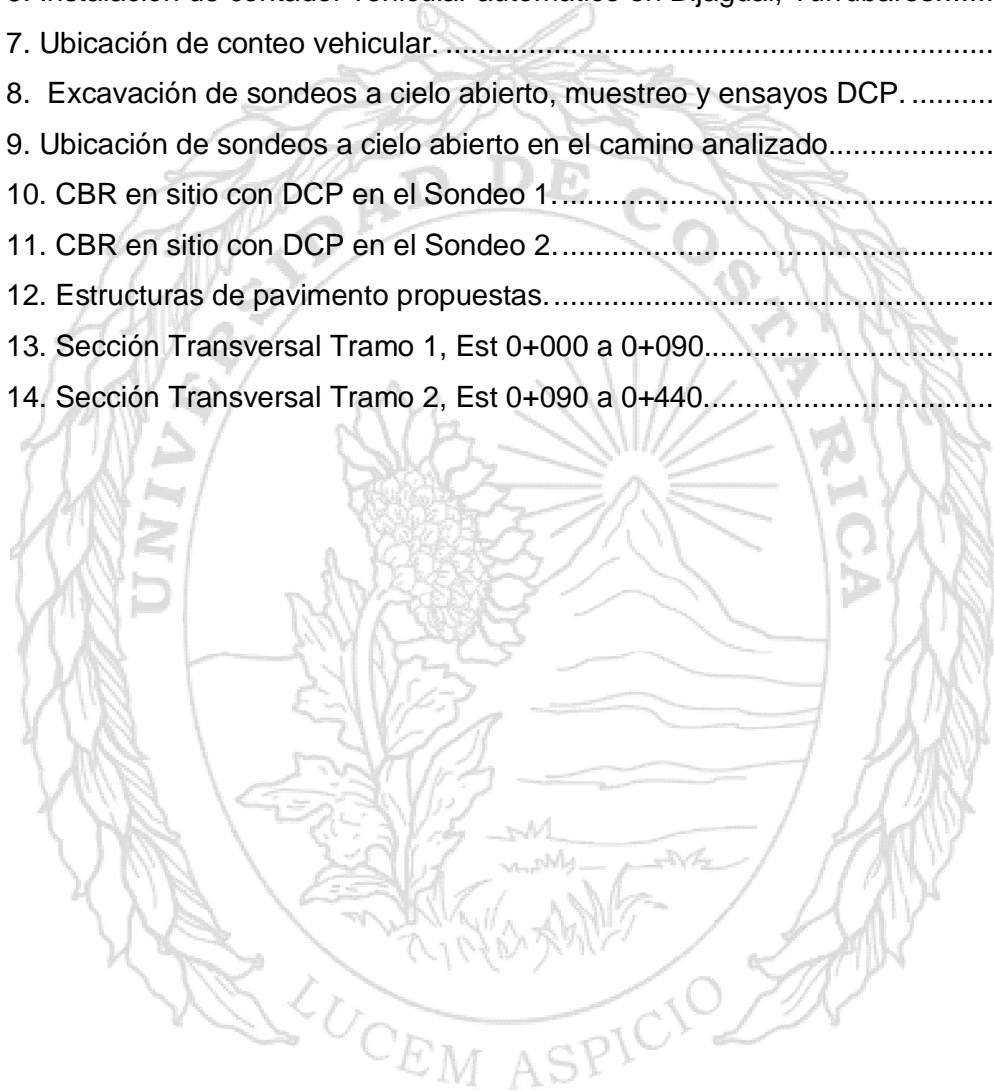
| | | |
|---|---|---|
| 1. Informe LM-PI-GM-INF-06-2016 | | 2. Copia No. 1 |
| 3. Título y subtítulo: ASESORÍA TÉCNICA PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS PRELIMINARES Y RECOMENDACIONES DE INTERVENCIÓN PARA EL CAMINO C1-016-013 BIJAGUAL, CANTÓN DE TURRUBARES. | | 4. Fecha del Informe Noviembre, 2016 |
| 7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440 | | |
| 8. Notas complementarias | | |
| 9. Resumen La Municipalidad de Turrubares solicitó la colaboración técnica del LanammeUCR para realizar estudios preliminares y recomendaciones de intervención para 440 m del camino C1-016-013 ubicado en la localidad de Bijagual. Se realizó una inspección visual del camino, se midió el volumen vehicular, sondeos a cielo abierto, ensayos de DCP y muestreo de materiales existentes para ser caracterizados en el laboratorio. Se aplicó la metodología de diseño AASHTO 93 y se realizó la verificación de desempeño por deformación permanente. Se recomiendan dos estructuras de pavimento, una para la sección de la calzada existente y una para las zonas de espaldones y carril a ampliar. Se aportan los diagramas de secciones transversales y estructuras de pavimento propuestas, así como recomendaciones acerca de la secuencia de intervención y especificaciones de referencia para los materiales nuevos a colocar. Los diseños recomendados son preliminares, por lo que la UTGV de la Municipalidad de Turrubares deberá valorar de acuerdo a su criterio técnico y presupuesto disponible el diseño final del proyecto, el cual se recomienda que cuente con los diagramas, planos y especificaciones técnicas correspondientes. | | |
| 10. Palabras clave Asesoría técnica, estudios preliminares, diseño de pavimentos, Bijagual, Turrubares | 11. Nivel de seguridad: Ninguno | 12. Núm. de páginas 32 |
| 13. Preparado por: | | |
| Ing. Alonso Ulate Castillo Ingeniero Civil, UGM ALONSO JOSE ULATE CASTILLO (FIRMA) Firmado digitalmente por ALONSO JOSE ULATE CASTILLO (FIRMA) Fecha: 2016.11.18 14:05:18 -06'00' Fecha: / / | Fecha: / / | Fecha: / / |
| 14. Revisado por: | | |
| Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal LanammeUCR MIGUEL CHACON ALVARADO (FIRMA) Firmado digitalmente por MIGUEL CHACON ALVARADO (FIRMA) Fecha: 2016.11.21 15:21:26 -06'00' Fecha: / / | Fecha: / / | 15. Aprobado por: Ing. Luis Guillermo Loria Salazar PhD., Coordinador General PITRA LUIS GUILLERMO LORIA SALAZAR (FIRMA) Firmado digitalmente por LUIS GUILLERMO LORIA SALAZAR (FIRMA) Nombre de reconocimiento (DN): serialNumber=CPE-01-0892-0218, sn=LORIA SALAZAR, givenName=LUIS GUILLERMO, c=CR, o=PERSONA FISICA, ou=CIUDADANO, cn=LUIS GUILLERMO LORIA SALAZAR (FIRMA) Fecha: 2016.11.22 17:33:44 -06'00' Fecha: / / |

Índice

| | |
|--|----|
| 1. Introducción..... | 6 |
| 2. Ubicación..... | 7 |
| 3. Alcance..... | 8 |
| 4. Limitaciones..... | 9 |
| 5. Metodología..... | 9 |
| 6. Ensayos realizados y resultados..... | 11 |
| 6.1 Tramos analizados..... | 11 |
| 6.2 Conteo vehicular y cargas de tránsito (ESAL)..... | 12 |
| 6.3 Sondeos a cielo abierto..... | 15 |
| 6.4 CBR en sitio..... | 17 |
| 6.4 Caracterización de suelos y materiales existentes..... | 20 |
| 7. Recomendaciones para intervención del camino..... | 22 |
| 7.1 Diseño de pavimentos..... | 23 |
| 7.2 Verificación de desempeño..... | 25 |
| 7.3 Sección transversal e intervención recomendada..... | 26 |
| 8. Conclusiones..... | 29 |
| 9. Recomendaciones generales..... | 30 |
| 10. Referencias bibliográficas..... | 31 |
| 11. Anexos..... | 32 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación del camino C1-016-013 de Bijagual, Turrubares..... | 7 |
| Figura 3. Esquema metodológico..... | 10 |
| Figura 4. Anchos de calzada observados en tramos del camino analizado..... | 11 |
| Figura 5. Indicación de Tramos definidos para el camino analizado..... | 12 |
| Figura 6. Instalación de contador vehicular automático en Bijagual, Turrubares..... | 12 |
| Figura 7. Ubicación de conteo vehicular..... | 13 |
| Figura 8. Excavación de sondeos a cielo abierto, muestreo y ensayos DCP..... | 15 |
| Figura 9. Ubicación de sondeos a cielo abierto en el camino analizado..... | 16 |
| Figura 10. CBR en sitio con DCP en el Sondeo 1..... | 18 |
| Figura 11. CBR en sitio con DCP en el Sondeo 2..... | 18 |
| Figura 12. Estructuras de pavimento propuestas..... | 26 |
| Figura 13. Sección Transversal Tramo 1, Est 0+000 a 0+090..... | 27 |
| Figura 14. Sección Transversal Tramo 2, Est 0+090 a 0+440..... | 27 |



Índice de tablas

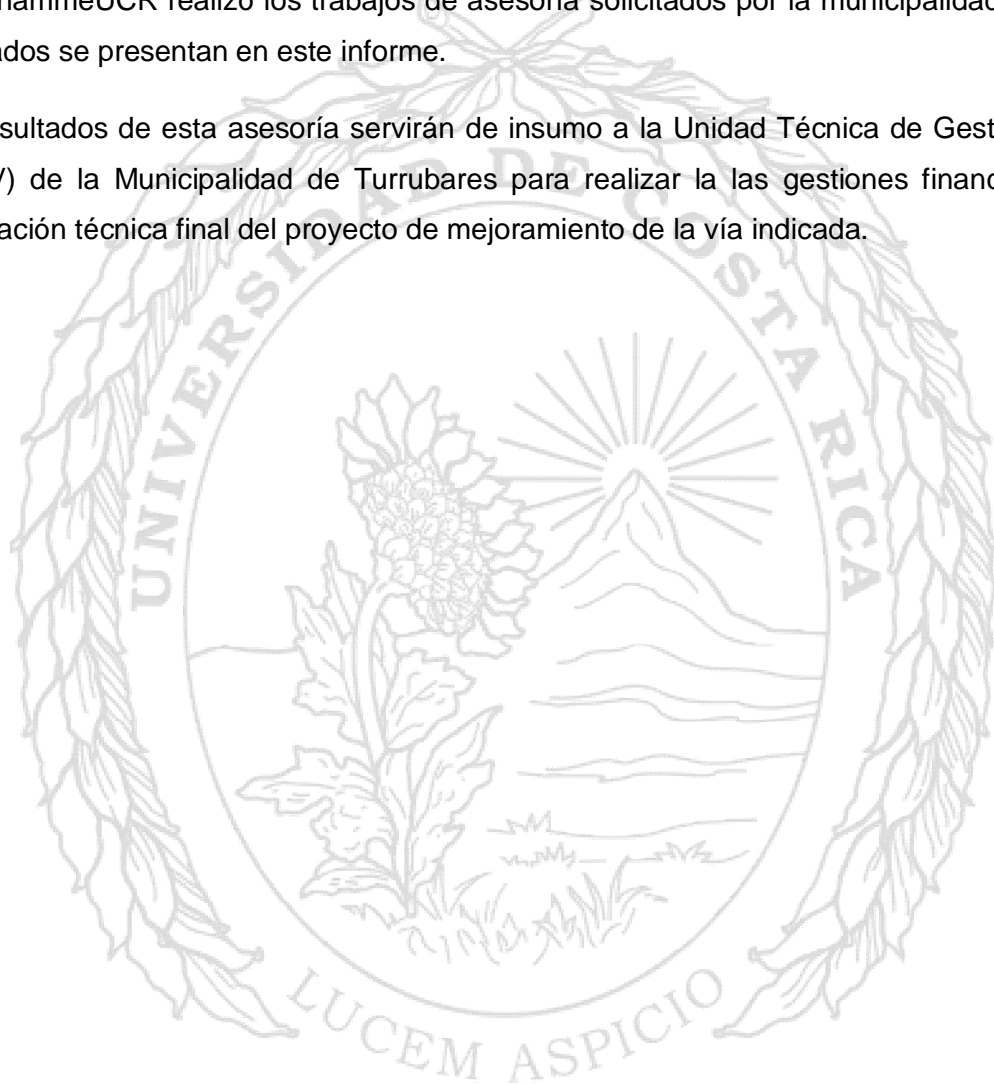
| | |
|---|----|
| Tabla 1. Clasificación vehicular de 13 categorías de la FHWA. | 13 |
| Tabla 2. Resultados de Conteo vehicular en RN.320..... | 14 |
| Tabla 3. Factores camión utilizados para el cálculo de los ESAL de diseño. | 14 |
| Tabla 4. Cargas vehiculares estimadas. | 14 |
| Tabla 5. Resumen de las muestras de grava y suelo..... | 16 |
| Tabla 6. Resumen de capas del pavimento existente encontradas en los sondeos..... | 17 |
| Tabla 7. Resumen de CBR en sitio promedio asignado a cada capa..... | 19 |
| Tabla 8. Resumen de resultados de ensayos de granulometría realizados a los suelos.. | 20 |
| Tabla 9. Resumen de resultados de ensayos de plasticidad realizados a los suelos..... | 20 |
| Tabla 10. Clasificación de los suelos existentes. | 20 |
| Tabla 11. Evaluación de materiales granulares existentes como subbase granular..... | 21 |
| Tabla 12. Evaluación de materiales granulares existentes como base granular..... | 21 |
| Tabla 13. Variables de diseño para AASHTO 93. | 23 |
| Tabla 14. Resumen de cálculo de espesores de pavimento en sección de calzada (EP-1). | 24 |
| Tabla 15. Cálculo de espesores de pavimento en sección de espaldones o ampliación (EP-2). | 24 |
| Tabla 16. Especificaciones generales de los materiales utilizados en el diseño..... | 25 |
| Tabla 17. Evaluación de desempeño ante deformación permanente..... | 26 |

1. Introducción

La Municipalidad de Turrubares solicitó la asesoría técnica del LanammeUCR para realizar los estudios preliminares y recomendaciones de intervención para el camino C1-016-013 en el distrito de Carara, localidad de Bijagual.

La Unidad de Gestión Municipal del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR realizó los trabajos de asesoría solicitados por la municipalidad, cuyos resultados se presentan en este informe.

Los resultados de esta asesoría servirán de insumo a la Unidad Técnica de Gestión Vial (UTGV) de la Municipalidad de Turrubares para realizar la las gestiones financieras y formulación técnica final del proyecto de mejoramiento de la vía indicada.



2. Ubicación

El estudio se ubicó en el camino C1-016-013 en Bijagual, distrito Carara, cantón de Turrubares de la provincia de San José como se indica en la Figura 1.



Figura 1. Ubicación del camino C1-016-013 de Bijagual, Turrubares.

3. Alcance

- El estudio se realizó en el camino cantonal código C1-016-013, específicamente en un tramo de 440 m como se indica en la Figura 1.
- La ubicación, cantidad y tipo de pruebas de campo, muestreo de materiales y los ensayos de laboratorio realizados fueron definidos por la Unidad de Gestión Municipal del LanammeUCR en conjunto con la UTGV de la Municipalidad de Turubares.
- Las pruebas de campo y ensayos de laboratorio se realizaron siguiendo las normas y procedimientos ASTM o AASHTO aplicables a cada caso como se indica en cada uno de los informes adjuntos.
- Las soluciones propuestas son aplicables exclusivamente para la zona de estudio indicada en la ubicación de este informe.
- Este estudio contiene las recomendaciones del LanammeUCR acerca de las condiciones y especificaciones mínimas requeridas para la intervención de las vías indicadas, sin embargo se recomienda realizar un diseño final que incluya planos constructivos y especificaciones técnicas detalladas para la ejecución del proyecto.
- Las soluciones propuestas se ajustan a la información de tránsito medida y características de los materiales existentes encontrados en el sitio o aquellos materiales nuevos que se indica colocar, de acuerdo a los resultados de los ensayos de campo y laboratorio realizados.
- Se asume que luego de planteado el diseño final, la fase constructiva se ejecutará de manera continua y sin interrupciones, cumpliendo con las especificaciones indicadas para los materiales y procesos constructivos así como la aplicación de buenas prácticas de ingeniería para que se cumplan los supuesto realizados en la etapa de diseño.

4. Limitaciones

- Los ensayos de campo y laboratorio efectuados a las muestras de suelos y materiales granulares del sitio, se ajustan a los requerimientos mínimos de estudios preliminares para este tipo de vías, consideradas como caminos de bajo volumen o vecinales.
- Los conteos vehiculares, ensayos de campo y el muestreo de materiales para analizar en el laboratorio se realizaron entre agosto y setiembre de 2016, por lo tanto los resultados de estos ensayos podrían reflejar condiciones propias de la época.
- El diseño propuesto de las estructuras de pavimento se realizó por medio de la Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO 93, la cual es una metodología empírica generada para materiales, condiciones climáticas y cargas vehiculares que podrían diferir de las condiciones y materiales encontrados y a incorporar en las vías estudiadas.
- El diseño preliminar de secciones transversales se realizó bajo información recolectada con mediciones no topográficas, donde se midieron anchos de calzada y superficie de ruedo existentes en sitio. Esto deberá ser confirmado por parte de la UTGV de la Municipalidad de Turubares con el departamento de ordenamiento territorial y catastro correspondiente, así como equipo topográfico si es necesario.

5. Metodología

El estudio se llevó a cabo siguiendo una secuencia lógica de tres etapas: (a) recolección de información de campo, luego (b) procesamiento de datos de campo, ensayos de laboratorio y análisis de resultados, para finalizar con (c) elaboración de la solución propuesta. La recolección de información de campo fue realizada por personal profesional y técnico del LanammeUCR, quien efectuó las visitas al sitio.

El trabajo de campo comprendió la realización de un conteo con equipo automático, para medir el tránsito vehicular. Se excavaron sondeos a cielo abierto para medir espesores, tomar muestras de los materiales de las estructuras de pavimento para ser caracterizados en laboratorio y se realizaron ensayos con el Cono de Penetración Dinámico (DCP, por sus siglas en inglés) para medir la capacidad de soporte CBR en sitio, de las diferentes capas de materiales existentes en el camino.

Se realizaron los ensayos de laboratorio para las muestras de suelos y materiales granulares existentes en la vía. Luego se procesaron los datos, tanto de los ensayos de campo como de laboratorio para clasificación de suelos y materiales granulares existentes, así como para determinar su aporte en cuanto a capacidad de soporte CBR en sitio. Además, se calculó el tránsito vehicular y se estimaron las cargas vehiculares ESALs para diseño de pavimentos.

Se utilizó la metodología de diseño de pavimentos AASHTO 93 para estimar el aporte estructural del suelo y capas de material granular existente. Además, se presentan secciones transversales que, de manera esquemática, pretenden orientar acerca de elementos a tomar en cuenta durante la ejecución de las obras de construcción de acuerdo a las condiciones observadas en el sitio. La Figura 2 muestra el esquema que resume la metodología aplicada al estudio realizado en el camino C1-016-013 Bijagual, Turubares.

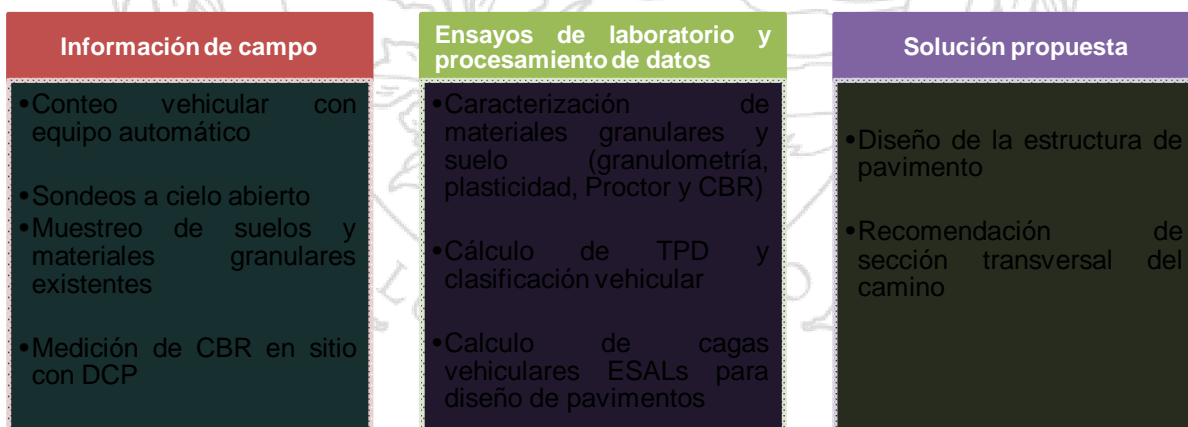


Figura 2. Esquema metodológico.

6. Ensayos realizados y resultados

Se recolectó información en el sitio y se realizaron ensayos de laboratorio a muestras de material y suelo existente en la vía. Las actividades realizadas para la recolección de información de campo fueron las siguientes: conteo vehicular, sondeos a cielo abierto con medición de espesores de estructuras de pavimento existente, medición de CBR en sitio con DCP, caracterización visual, muestreo de suelo y materiales granulares. Luego se procesó la información y se realizaron ensayos de laboratorio para obtener los resultados que se detallan a continuación.

6.1 Tramos analizados

Durante la inspección del tramo de 440 m del camino C1-016-013 en Bijagual, se observó que se cuenta con una calzada existente con Tratamiento Superficial Bituminoso en mal estado de un ancho promedio de 4.5 m y espaldones de ancho variable que aparentemente no cuentan con estructura de pavimento. Además, se observó que se cuenta con cordón y caño, así como al menos dos pasos de alcantarilla con sus correspondientes tragantes como se observa en la Figura 3.



Figura 3. Anchos de calzada observados en tramos del camino analizado.

De acuerdo con lo anterior, se definieron dos tramos de acuerdo al ancho entre las estructuras de cordón y caño existente. El Tramo 1 va desde el inicio ubicado en la

estación 0+000 hasta la estación 0+090 y el Tramo 2 va desde la estación 0+090 hasta el final ubicado en la estación 0+440. Esto se puede observar en la Figura 4.



Figura 4. Indicación de Tramos definidos para el camino analizado.

6.2 Conteo vehicular y cargas de tránsito (ESAL)

Durante los días hábiles del 10 al 12 de agosto 2016 se realizó un conteo vehicular por medio de equipo automático frente a la plaza de Bijagual, sobre la RN.320 (Figura 5). Esta ruta es el acceso principal al camino cantonal C1-016-013, por lo que se tiene un tránsito vehicular representativo de la zona, como se observa en la Figura 6. El conteo se realizó durante los días hábiles del 10 al 12 de agosto 2016.



Figura 5. Instalación de contador vehicular automático en Bijagual, Turrubares.

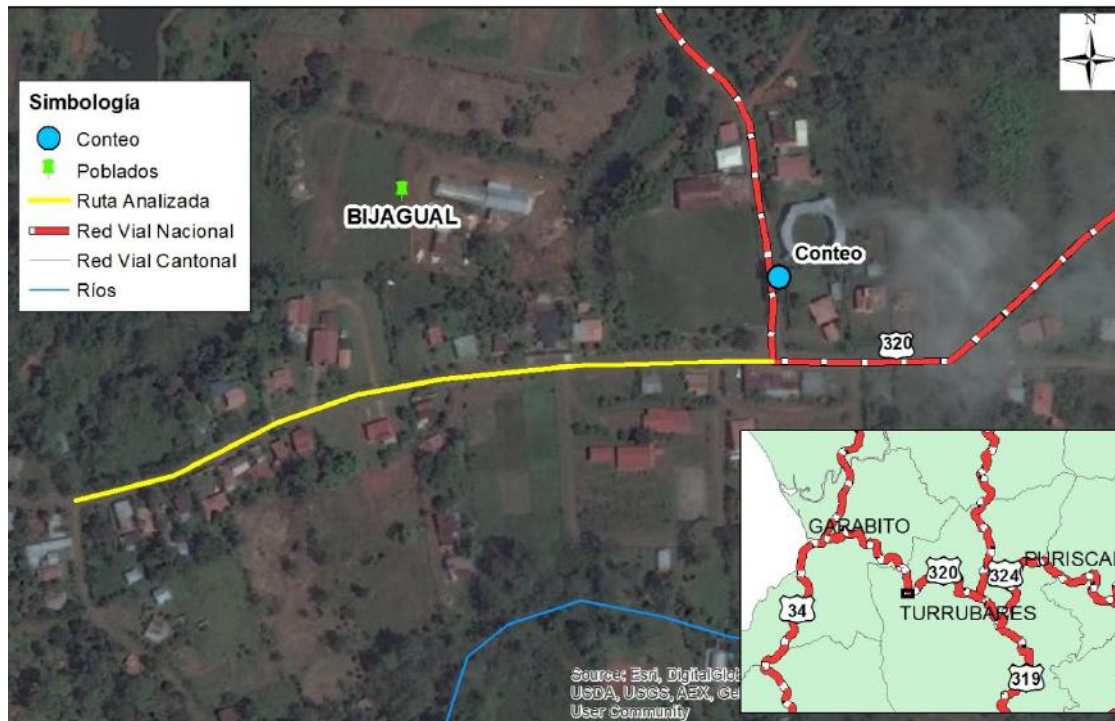


Figura 6. Ubicación de conteo vehicular.

El conteo vehicular se clasificó en 13 categorías de acuerdo a lo recomendado por la *Federal Highway Association (FHWA)* como se muestran en la Tabla 1 y los resultados del conteo se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1. Clasificación vehicular de 13 categorías de la FHWA.

| Clase | Tipo de vehículo |
|-------|--|
| 1 | Motos y bicicletas |
| 2 | Livianos y pick-up |
| 3 | Camionetas, vans, panels |
| 4 | Buses de 2 y 3 ejes |
| 5 | Camiones C2 y C2+ |
| 6 | Camiones C3 |
| 7 | Camiones C4 |
| 8 | Camiones articulados T2-S1, T2-S2, T3-S1 |
| 9 | Camiones articulados T3-S2 |
| 10 | Camiones articulados T3-S3, T3-S4 |
| 11 | Camiones doble articulados 5 ejes |
| 12 | Camiones doble articulados 6 ejes |
| 13 | Camiones doble articulados 7 ejes |

Tabla 2. Resultados de Conteo vehicular en RN.320.

| Fecha | Clases | | | | | | | | Total |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| Miércoles 10-08-2016 | 183 39.7% | 249 54.0% | 24 5.2% | 0 0% | 3 0.7% | 0 0% | 0 0% | 2 0.4% | 461 |
| Jueves 11-08-2016 | 220 47.7% | 243 52.7% | 20 4.3% | 0 0% | 1 0.2% | 1 0.2% | 1 0.2% | 0 0% | |
| Viernes 12-08-2016 | 284 61.6% | 289 62.7% | 21 4.6% | 0 0% | 1 0.2% | 0 0% | 0 0% | 0 0% | 595 |
| Promedio | 229 44.6% | 260 50.6% | 22 4.2% | 0 0% | 2 0.3% | 0 0.1% | 0 0.1% | 1 0.1% | |

Se definió como Tránsito Promedio Diario (TPD) al promedio de los tres días para los cuales se cuenta con información de tránsito vehicular. Entonces, el TPD a utilizar para el diseño de pavimentos se definió como 514 vehículos/ día con la clasificación vehicular promedio indicada en la Tabla 2.

Luego se procedió a estimar las cargas vehiculares a las cuales es sometida la estructura de pavimento del camino (ESAL de diseño) proyectado a 10, 15 y 20 años. Los factores camión (FC) asignados a la RN.27 de acuerdo con lo indicado en el documento *LM-PI-GM-INF-22-2014 Recomendaciones Técnicas para el Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles con la Incorporación de Criterios Mecánico-Empíricos* del LanammeUCR, los cuales se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Factores camión utilizados para el cálculo de los ESAL de diseño.

| Clase | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 y mayores |
|------------------|--------------------------|---------------------|-------------------|-------------|----------------------------|
| Tipo de vehículo | Camionetas, vans, panels | Buses de 2 y 3 ejes | Camiones C2 y C2+ | Camiones C3 | Camiones C4, T3-S2 y otros |
| Factor Camión | 0.016 | 1.957 | 1.163 | 3.155 | 2.695 |

Tabla 4. Cargas vehiculares estimadas.

| TPD | ESAL diseño | | |
|------------|-------------|---------|---------|
| | 10 años | 15 años | 20 años |
| 514 | 18 503 | 30 858 | 45 891 |

6.3 Sondeos a cielo abierto

Se realizaron dos calicatas o sondeos a cielo abierto en el camino indicado hasta llegar a la profundidad donde se encontrara el suelo de subrasante o hasta una profundidad máxima de 1 m.

Durante esta actividad, se midieron los espesores de las capas de pavimento existentes, se realizó una caracterización visual en sitio de los materiales de suelo y granulares existentes, se tomaron muestras para analizar en el laboratorio y se midió la capacidad de soporte del suelo (CBR en sitio) por medio del Cono de Penetración Dinámico (DCP). La Figura 7 muestra el momento de realización de los sondeos.

Los sondeos se ubicaron en los estacionamientos 0+110 y 0+300 del Camino C1-016-0103 como se observa en la Figura 8. Se recolectaron muestras de los materiales granulares existentes (grava) y suelo en los sondeos realizados para ser caracterizadas en el laboratorio y evaluar sus propiedades físicas como materiales para estructura de pavimento. La Tabla 5 resume las muestras de suelo y materiales granulares que se recolectaron en el sitio.



Figura 7. Excavación de sondeos a cielo abierto, muestreo y ensayos DCP.



Figura 8. Ubicación de sondeos a cielo abierto en el camino analizado.

Tabla 5. Resumen de las muestras de grava y suelo.

| Sondeo | Estacionamiento | Muestreo |
|--------|-----------------|---|
| 1 | 0+110 | Material granular existente (subbase) Suelo (subrasante) |
| 2 | 0+300 | Material granular existente (subbase) Suelo (subrasante) |

Durante el proceso de excavación de los sondeos a cielo abierto se encontraron diferentes capas de materiales granulares y suelo de subrasante de acuerdo a lo indicado en la Tabla 6. Además se adjuntan los formularios de registro de los sondeos en el Anexo 1 con la información detallada y fotografías adicionales.

6.4 CBR en sitio

Se realizaron dos ensayos de DCP en cada uno de los puntos de sondeo, el primero sobre la superficie existente y el segundo sobre el suelo subrasante. Los resultados de CBR en sitio obtenido por medio del ensayo se muestran en las Figuras 7 y 8 para el Sondeo 1 y 2 respectivamente.

Luego de analizar el resultado de los ensayos de DCP se procedió a asignar valores de CBR en sitio promedio para cada una de las capas de materiales existentes encontradas en los sondeos como se muestra también en la Tabla 7.

Tabla 6. Resumen de capas del pavimento existente encontradas en los sondeos.

| Capa de material existente | Descripción |
|----------------------------|--|
| TSB | Tratamiento superficial bituminoso en mal estado |
| BE | Material granular tratado o estabilizado con cemento |
| SBG | Material granular tipo subbase combinado con suelo |
| RE1 | Material granular de relleno combinado con suelo |
| RE2 | Material granular de relleno combinado con suelo |
| SR1 | Suelo de subrasante (primera capa) |
| SR2 | Suelo de subrasante (segunda capa) |

Los ensayos de DCP se realizaron durante la época lluviosa de la zona del proyecto (mayo-noviembre), donde el efecto de la humedad en la capacidad de soporte (CBR en sitio) de las capas de suelo subrasante existente se considera crítico. Dado que no se cuenta con datos que permitan estimar el cambio en las condiciones de soporte, ni ensayos de módulo resiliente de las capas de suelo con diferentes contenidos de humedad, se utilizaron los datos de CBR en sitio medidos durante los ensayos de DCP para estimar el módulo resiliente de las capas de suelo subrasante que se consideró como módulo resiliente efectivo. Esto permite realizar un cálculo conservador acerca del aporte del suelo existente a las estructuras de pavimento que se recomiendan más adelante.

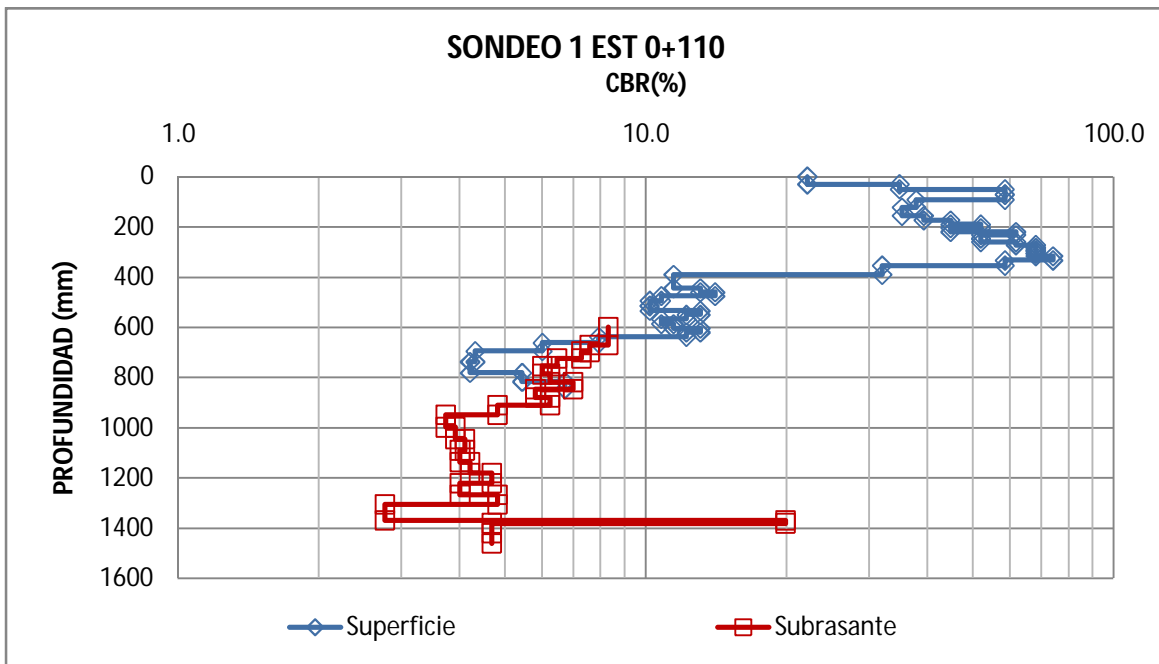


Figura 9. CBR en sitio con DCP en el Sondeo 1.

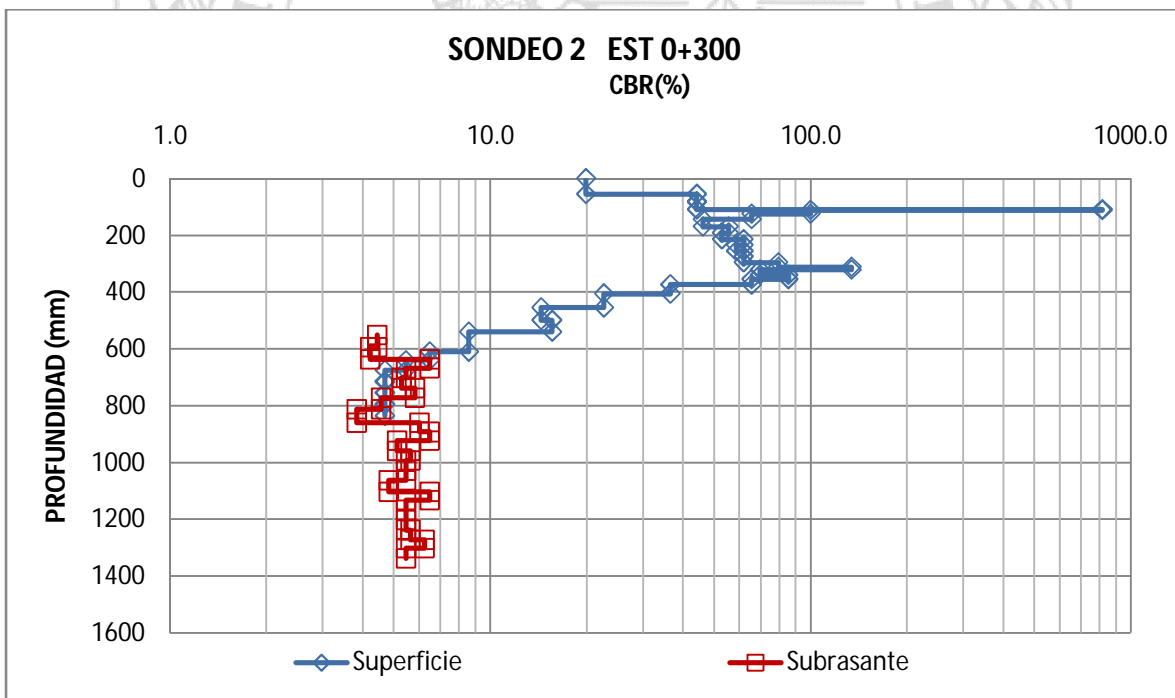


Figura 10. CBR en sitio con DCP en el Sondeo 2.

Tabla 7. Resumen de CBR en sitio promedio asignado a cada capa.

| Profundidad (cm) | Sondeo 1 | | Sondeo 2 | |
|------------------|-----------------|---------|-----------------|---------|
| | Capa o material | CBR (%) | Capa o material | CBR (%) |
| 0 | TSB | - | TSB | - |
| 5 | BE | - | BE | - |
| 10 | BE | - | BE | - |
| 15 | BE | - | BE | - |
| 20 | SBG | 43.5 | BE | - |
| 25 | SBG | 43.5 | SBG | 36.1 |
| 30 | RE1 | 46.0 | SBG | 36.1 |
| 35 | RE1 | 46.0 | RE1 | 58.0 |
| 40 | RE1 | 46.0 | RE1 | 58.0 |
| 45 | RE2 | 64.9 | RE1 | 58.0 |
| 50 | RE2 | 64.9 | RE1 | 58.0 |
| 55 | SR1 | 13.4 | RE2 | 67.2 |
| 60 | SR1 | 13.4 | RE2 | 67.2 |
| 65 | SR1 | 13.4 | SR1 | 17.6 |
| 70 | SR1 | 13.4 | SR1 | 17.6 |
| 75 | SR1 | 13.4 | SR1 | 17.6 |
| 80 | SR1 | 13.4 | SR2 | 5.4 |
| 85 | SR2 | 5.5 | SR2 | 5.4 |
| 90 | SR2 | 5.5 | SR2 | 5.4 |
| 95 | SR2 | 5.5 | SR2 | 5.4 |
| 100 | SR2 | 5.5 | SR2 | 5.4 |
| 105 | SR2 | 5.5 | SR2 | 5.4 |
| 110 | SR2 | 5.5 | SR2 | 5.4 |
| 115 | SR2 | 5.5 | SR2 | 5.4 |
| 120 | SR2 | 5.5 | SR2 | 5.4 |
| 125 | SR2 | 5.5 | SR2 | 5.4 |
| 130 | SR2 | 5.5 | SR2 | 5.4 |
| 135 | SR2 | 5.5 | SR2 | 5.4 |
| 140 | SR2 | 5.5 | SR2 | 5.4 |
| 145 | SR2 | 5.5 | SR2 | 5.4 |
| 150 | SR2 | 5.5 | SR2 | 5.4 |
| 155 | SR2 | 5.5 | SR2 | 5.4 |
| 160 | SR2 | 5.5 | SR2 | 5.4 |

6.4 Caracterización de suelos y materiales existentes

Los materiales de la estructura de pavimento existente de los cuales se tomó muestras fueron analizados en el laboratorio por medio de varios ensayos como. Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg, Proctor y CBR de laboratorio. Los resultados se observan en el informe de laboratorio I-1334-16 que se encuentran en el Anexo 2.

Las Tablas 8 y 9 muestran los datos de análisis granulométrico y plasticidad respectivamente. Con esto se procedió a clasificar los suelos según la metodología del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y AASHTO cuyos resultados se muestran en la Tabla 10. Las Tablas 11 y 12 muestran la comparación de granulometría con las bases y subbases especificadas en el CR-2010.

Tabla 8. Resumen de resultados de ensayos de granulometría realizados a los suelos.

| Sondeo | Material | Porcentaje Pasando | | | | FG | FS | CF |
|--------|------------------|--------------------|------|------|-------|-----------|-----------|-----------|
| | | N°4 | N°10 | N°40 | N°200 | (% grava) | (% arena) | (% finos) |
| 1 | Granular | 53. | 36.3 | 17.4 | 9.0 | 50.8 | 49.2 | 9.0 |
| | Suelo subrasante | 86 | 68 | 50 | 43.0 | 24.6 | 75.4 | 43 |
| 2 | Granular | 60. | 42.7 | 21.6 | 12.1 | 44.6 | 55.4 | 12.1 |
| | Suelo subrasante | 95 | 91 | 87 | 84.0 | 31.3 | 68.8 | 84 |

Tabla 9. Resumen de resultados de ensayos de plasticidad realizados a los suelos.

| Sondeo | Material | Límite Líquido | Límite Plástico | Índice de plasticidad | Comentario |
|--------|------------------|----------------|-----------------|-----------------------|--|
| 1 | Granular | 29 | 23 | 6 | Especificación CR-2010 Base granular IP=4-9 |
| | Suelo subrasante | 54 | 31 | 29 | |
| 2 | Granular | 27 | 19 | 8 | Subbase IP-4-10 LL<35 |
| | Suelo subrasante | 67 | 38 | 29 | |

Tabla 10. Clasificación de los suelos existentes.

| Sondeo | Material | SUCS | AASHTO | Descripción |
|--------|------------------|-------|-----------|----------------------------|
| 1 | Granular | GW-GM | A-1-a(0) | Grava bien graduada limosa |
| | Suelo subrasante | SC | A-7-6(7) | Arena arcillosa |
| 2 | Granular | SC | A-2-4(0) | Arena arcillosa |
| | Suelo subrasante | MH | A-7-5(30) | Limo muy compresible |

Tabla 11. Evaluación de materiales granulares existentes como subbase granular.

| Abertura de malla | % por peso pasando | | | | Comentario |
|-------------------|--------------------|-----------|------|------|---|
| | Subbase A | Subbase B | S1 | S2 | |
| 63mm | 100 | - | 100 | 100 | <p>-El material granular analizado en el laboratorio para ambos sondeos muestra características generales de granulometría similares a las Subbase graduación A y B indicadas en la especificación del CR-2010.</p> <p>-En ambos casos se tiene mayor cantidad de material pasando la malla de 25mm que lo requerido en la especificación.</p> <p>-En ambos casos los materiales se parecen más a la especificación indicada para Subbase Graduación B.</p> |
| 50mm | 97-100 | 100 | 100 | 100 | |
| 37,5mm | - | 97-100 | 98.5 | 97.7 | |
| 25mm | 65-79 (6) | - | 92.0 | 96.2 | |
| 19mm | - | - | 87.7 | 92.0 | |
| 12,5mm | 45-59(7) | - | - | - | |
| 9,5mm | - | - | 71.8 | 79.1 | |
| 4,75mm | 28-42(6) | 40-60(8) | 53.8 | 60.8 | |
| 0,425mm | 9-17(4) | - | 17.4 | 21.6 | |
| 0,075mm | 4-8(3) | 4-12(4) | 8.97 | 12.1 | |

Tabla 12. Evaluación de materiales granulares existentes como base granular.

| Abertura de malla | % por peso pasando | | | | | Cumplimiento de especificación |
|-------------------|--------------------|------------|-----------|------|------|--|
| | Base C | Base D | Base E | S1 | S2 | |
| 63mm | - | - | - | 100 | 100 | <p>-Al comparar con la especificación del CR-2010 de bases, la granulometría de los materiales granulares encontrados en los sondeos se parecen más a la Base graduación C.</p> <p>-Los materiales analizados no cumplen con el tamaño máximo indicado para las mallas 25mm y 19mm para la Base graduación D y E respectivamente.</p> <p>-El material del S2 contiene mayor cantidad de finos que lo indicado para la malla 0.075mm de la Base graduación C.</p> |
| 50mm | 100 | - | - | 100 | 100 | |
| 37,5mm | - | - | - | 98.5 | 97.7 | |
| 25mm | 80-100 (6) | 100 | - | 92.0 | 96.2 | |
| 19mm | 64-94 (6) | 86-100 (6) | 100 | 87.7 | 92.0 | |
| 12,5mm | - | - | - | - | - | |
| 9,5mm | - | 51-82 (6) | 62-90 (6) | 71.8 | 79.1 | |
| 4,75mm | 40-69 (6) | 36-64 (6) | 46-74 (7) | 53.8 | 60.8 | |
| 0,425mm | 31-54 (4) | 12-26 (4) | 12-26 (4) | 17.4 | 21.6 | |
| 0,075mm | 4-7 (3) | 4-7 (3) | 4-7 (3) | 8.97 | 12.1 | |

La clasificación final realizada por medio de SUCS y AASHTO indica que se trata de materiales de grava limosa y arena arcillosa para los Sondeos 1 y 2 respectivamente. Además, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 9 los materiales granulares analizados para ambos sondeos presentan límite líquido e índice de plasticidad dentro de los rangos recomendados por el CR-2010 para capas de base y subbase granular.

De acuerdo al análisis de granulometría del laboratorio y la comparación mostrada en las Tablas 11 y 12, los materiales evaluados se adaptan de mejor forma como subbases granulares que como bases granulares.

Se realizó el ensayo de Proctor Modificado y CBR de laboratorio para las muestras de material granular recolectadas en ambos sondeos. Los resultados obtenidos en estos ensayos indican que estos materiales presentan valores de CBR de 54.7% y 58.9% a 95% de Próctor Modificado, para los Sondeos 1 y 2 respectivamente. Esto confirma que cumplen como materiales tipo subbase granular para los cuales se especifica $CBR \geq 30$ en el CR-2010, pero no se ajustan al requerimiento de base granular que es de $CBR \geq 80$ al 95% de Próctor Modificado.

Se considera que los materiales encontrados en los sondeos, tienen buenas características para ser conservados en el sitio como relleno o plataforma de apoyo para la nueva estructura de pavimento, siempre y cuando esto no afecte los niveles de rasante a los que sea necesario ajustarse dado que ya se tienen estructuras de cordón y caño a ambos lados de la calzada. Esto se puede observar con detalle más adelante en las secciones transversales propuestas.

7. Recomendaciones para intervención del camino

Luego de la recolección de datos y análisis de resultados se procedió a proponer las recomendaciones para la intervención del camino, en cuanto a estructura de pavimento y secciones transversales típicas, para la sección de 440 m analizada del camino C1-016-013 de Bijagual, Turubares. Los diseños son preliminares por lo tanto, la UTGV de la Municipalidad de Turubares deberá valorar las recomendaciones aquí planteadas para definir el diseño final del proyecto de acuerdo con su criterio técnico.

7.1 Diseño de pavimentos

El diseño de pavimentos se elaboró utilizando la Metodología AASHTO 93, a partir del tránsito y cargas vehiculares indicadas en la Tabla 4 y los valores de capacidad de soporte del suelo CBR en sitio indicados en la Tabla 7. La Tabla 16 muestra los datos de entrada utilizados en el diseño de pavimentos bajo la metodología AASHTO 93.

Tabla 13. Variables de diseño para AASHTO 93.

| Dato, parámetro de entrada o cálculo inicial | | Valor | |
|--|------------------------------|-------------|------------------------------|
| Ejes equivalentes de diseño | W_{18} | 50 000 | |
| Confiabilidad | R | 80% | |
| Desviación normal estándar | Z_R | -0,841 | |
| Desviación estándar global | S_0 | 0,50 | |
| Índice de servicio inicial | p_0 | 4,2 | |
| Índice de servicio al final | p_t | 2,5 | |
| Diferencia de índices de servicio | ΔPSI | 1,7 | |
| Número estructural requerido | SN_{req} | 1.93 | |
| Propiedades estructurales estimadas para los materiales | | CBR | Módulo elástico o resiliente |
| Módulo de la base granular nueva BG (psi / MPa) | E_{BG} | 80% | 28000 / 193.1 |
| Módulo de la subbase granular nueva SBG (psi / MPa) | $E_{SBG \text{ nueva}}$ | 30% | 14000 / 96.5 |
| Módulo del material tipo subbase existente SBG (psi / MPa) | $E_{SBG \text{ existente}}$ | 40% | 17000 / 117.2 |
| Módulo del material tipo relleno existente RE1 (psi / MPa) | E_{RE1} | 50% | 18000 / 124.1 |
| Módulo del material tipo relleno existente RE2 (psi / MPa) | E_{RE2} | 65% | 13500 / 93.1 |
| Mr efectivo de la subrasante existente SR1 (psi / MPa) | $Mr_{eff_{SR1}}$ | 17% | 12 000 / 82.7 |
| Mr efectivo de la subrasante existente SR2 (psi / MPa) | $M_{eff_{SR2}}$ | 5.5% | 8100 / 55.9 |

De acuerdo a lo indicado en la Tabla 13, los Ejes Equivalentes de Diseño (W_{18}) se redondearon a 50 000 a partir de la estimación realizada para un período de diseño de 20 años, como se indicó en la Tabla 4.

Se resolvió la Ecuación AASHTO 93 para determinar el SN_{req} que fue de 1.93 como se indica en la Tabla 13. Luego, se procedió a determinar el espesor de material nuevo suficiente para obtener el aporte estructural requerido, incluyendo la contribución de las capas de material existente en el pavimento. Para esto se aplicó la Metodología AASHTO 93 para rehabilitación de pavimentos mediante evaluación e inspección para la valoración del aporte de los materiales existentes. Este cálculo se resume en la Tabla 14 y 15 para las estructuras de pavimento ubicadas en la sección de la calzada existente (EP-1) y espaldones o ampliaciones (EP-2) respectivamente (donde no se cuenta con capas granules existentes). Se observa que el $SN_{diseño}$ cumple en ambos casos, más allá de lo requerido, sin embargo el espesor de material nuevo de BG y SBG a colocar se ajustó para conservar el nivel de rasante actual, el cual está definido por las estructuras de cordón y caño existentes a ambos lados de la calzada.

Tabla 14. Resumen de cálculo de espesores de pavimento en sección de calzada (EP-1).

| Capa o material | Origen | Coefficiente estructural a_i | Coefficiente de drenaje m_i | Espesor (cm) | SN diseño |
|-----------------|-----------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|-------------|
| TSB | Nuevo | - | - | - | - |
| BG | Nuevo | 0.135 | 0.8 | 20 | 0.85 |
| SBG | Existente | 0.120 | 0.8 | 10 | 0.38 |
| RE1 | Existente | 0.125 | 0.8 | 15 | 0.59 |
| RE2 | Existente | 0.100 | 0.8 | 10 | 0.31 |
| SR1 | Existente | 0.090 | 0.8 | 20 | 0.57 |
| Total | | | | 75 | 2.70 |

Tabla 15. Cálculo de espesores de pavimento en sección de espaldones o ampliación (EP-2).

| Capa o material | Origen | Coefficiente estructural a_i | Coefficiente de drenaje m_i | Espesor (cm) | SN diseño |
|-----------------|-----------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|-------------|
| TSB | Nuevo | - | - | - | - |
| BG | Nuevo | 0.135 | 0.8 | 20 | 0.85 |
| SBG | Nuevo | 0.11 | 0.8 | 35 | 1.2 |
| SR1 | Existente | 0.090 | 0.8 | 20 | 0.57 |
| Total | | | | 75 | 2.63 |

Las características y especificaciones generales de los materiales nuevos considerados en la recomendación de estructura de pavimento corresponden a lo indicado en el Manual CR-2010 y se resumen en la Tabla 16.

Tabla 16. Especificaciones generales de los materiales utilizados en el diseño.

| Código | Definición | Especificaciones básicas |
|------------|---|--|
| TSB triple | Tratamiento Superficial Bituminoso Triple | <ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento Superficial Bituminoso Triple Designación E38, construido de acuerdo a las especificaciones indicadas en el CR-2010, Sección 411. |
| BG | Base granular | <ul style="list-style-type: none"> • Base granular graduación C o D • CBR=80 min • Compactación 95% de PM (AASHTO T180) • Límite Líquido 35 max • Índice de plasticidad 4-9 |
| SBG | Subbase granular | <ul style="list-style-type: none"> • Subbase granular graduación B • CBR=30 min • Compactación 95% de PM (AASHTO T180) • Límite Líquido 35 max • Índice de plasticidad 4-10 |

7.2 Verificación de desempeño

Se aplicó la Metodología AASHTO 93 para recomendar las estructuras de pavimento, las cuales se evaluaron por medio de criterios mecanístico-empíricos en cuanto a su desempeño proyectado. Se utilizó el software 3D-Move de multicapa elástica para modelar la estructura propuesta y obtener las respuestas mecánicas en cuanto a esfuerzos, deformaciones y deflexiones a diferentes profundidades desde la rasante.

Luego se aplicaron las verificaciones mecánico-empíricas recomendadas en el documento *LM-PI-GM-INF-22-2014 Recomendaciones Técnicas para el Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles con la Incorporación de Criterios Mecánico-Empíricos* del LanammeUCR. Esto se realizó específicamente para evaluar la deformación permanente en los materiales granulares y suelo en pavimentos con cargas vehiculares menores a 3 millones de ESALs y un ahuellamiento permisible máximo de 25 mm. Lo anterior dado que se propone una estructura de pavimento con superficie de ruedo sin aporte estructural como es el TSB. La Tabla 17 muestra el resultado de la revisión por deformación permanente (ahuellamiento) para la estructura de pavimento propuesta.

Tabla 17. Evaluación de desempeño ante deformación permanente.

| Estructura de Pavimento | Ahuellamiento (mm) | | | | | | | Criterio | Cumplimiento |
|-------------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|----------|--------------|
| | BG | SBG | RE1 | RE2 | SR1 | SR2 | Total | | |
| EP-1 | 10.1 | 2.8 | 2.1 | 1.0 | 1.2 | 4.2 | 21.4 | 25.0 | Si Cumple |
| EP-2 | 10.0 | 6.0 | - | - | 1.3 | 4.1 | 21.4 | 25.0 | Si Cumple |

Adicionalmente, se verificó que el criterio de deformación permanente de 25mm como máximo se cumple hasta los 200 000 ESAL, tanto para la EP-1 como para la EP-2.

Dado lo anterior, la Figura 11 muestra las estructuras de pavimento recomendadas para el camino C1-016-013 de Bijagual, Turrubares. La estructura EP-1 corresponde a la sección donde se encuentra la calzada existente y la estructura EP-2 para la sección de espaldones o ampliación de carril derecho en el Tramo 1, de acuerdo a lo mostrado más adelante en el detalle de las secciones transversales del camino.

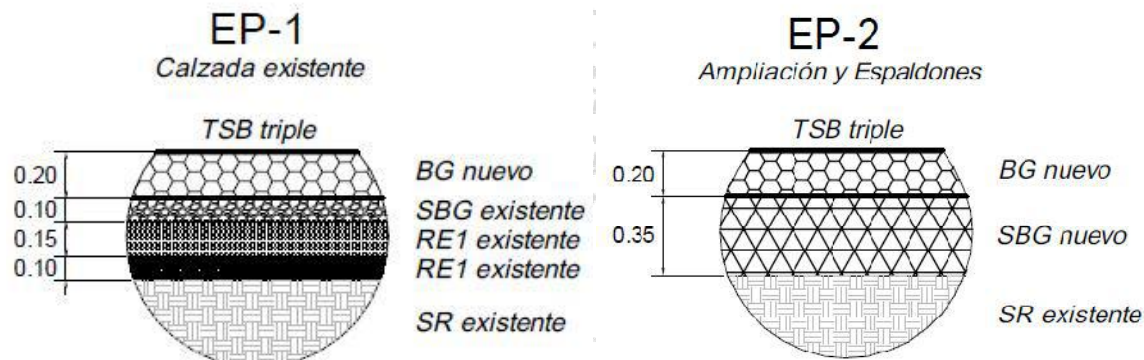


Figura 11. Estructuras de pavimento propuestas.

7.3 Sección transversal e intervención recomendada

De acuerdo a lo indicado en la Figura 4, se dividió el camino analizado en dos tramos de acuerdo al ancho entre las estructuras de cordón y caño existentes. El Tramo 1 se extiende de la estación 0+000 a la estación 0+090 y el Tramo 2 de la estación 0+090 a 0+440.

Las secciones transversales recomendadas a continuación se ajustan a la definición de tramos ya mencionada y además incluyen la ubicación de las dos estructuras de pavimento propuestas, tanto para la sección de la calzada existente, como para la sección de espaldones y ampliación como se observa en las Figuras 12 y 13 para los Tramos 1 y 2 respectivamente. En el Anexo 3 se adjuntan los diagramas de secciones transversales y estructuras de pavimento propuestas.

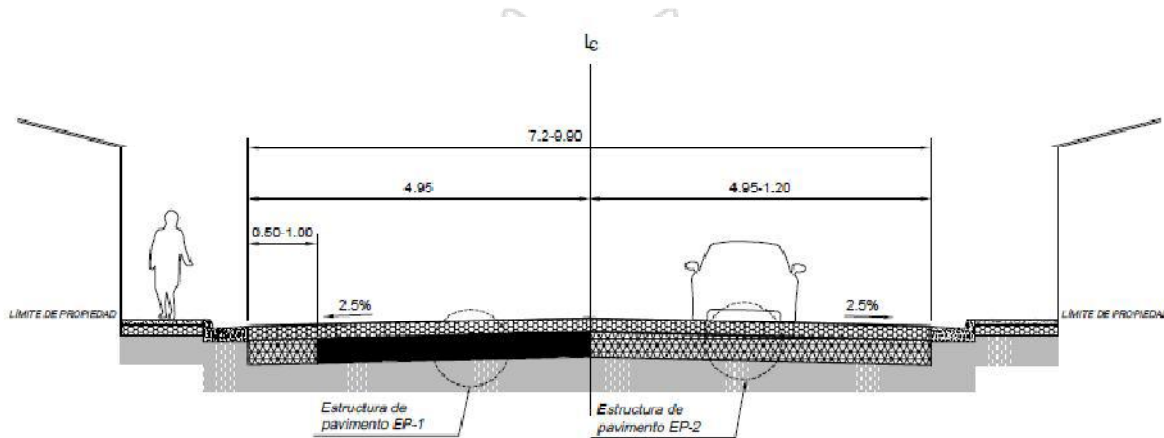


Figura 12. Sección Transversal Tramo 1, Est 0+000 a 0+090.

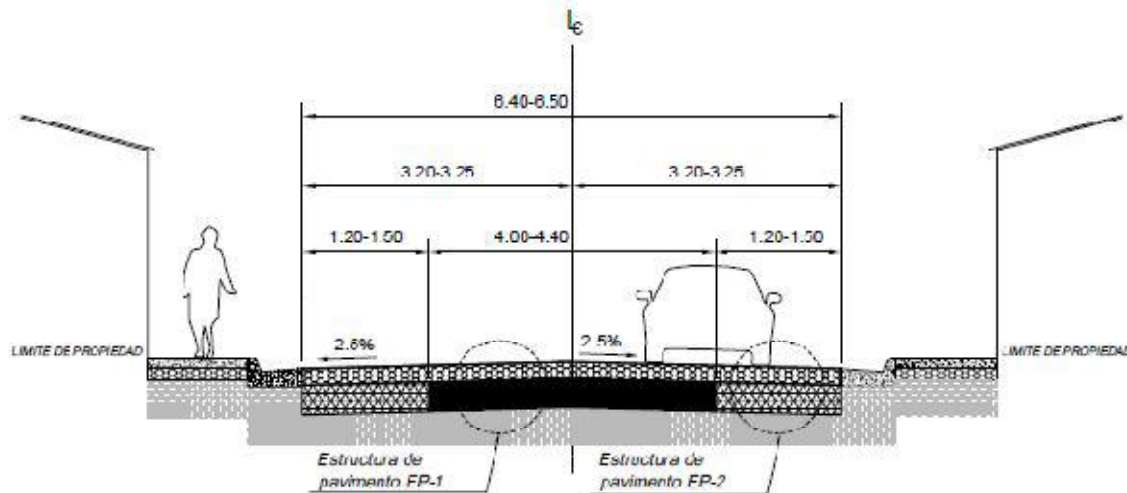


Figura 13. Sección Transversal Tramo 2, Est 0+090 a 0+440.

De acuerdo a la Figura 12, en el Tramo 1 se recomienda aplicar la estructura de pavimento EP-1 para la sección de calzada existente, ubicada en el carril izquierdo, mientras que se recomienda aplicar la EP-2 para la sección de espaldón izquierdo (ancho de 1.20 m a 1.50 m) y ampliación del carril derecho (ancho de 4.95m a 1.20 m), donde actualmente no se cuenta con calzada ni capas de material granular. De manera similar, de acuerdo a la Figura 13, para el Tramo 2 se recomienda aplicar la EP-1 para la sección de la calzada existente y la EP-2 para los espaldones de ambos lados (ancho de 1.20 m a 1.50 m) donde actualmente no se cuenta con estructura de pavimento.

El proceso o secuencia generalizada de intervención que se recomienda es el siguiente:

- Eliminar la superficie de ruedo asfáltica existente (TSB en mal estado).
- Demoler la capa de base estabilizada con cemento existente (BE). Evaluar si se puede reutilizar el material remanente de esta capa de manera que se logre dar granulometría requerida para utilizar como subbase granular a colocar en la sección de espaldones en ambos tramos y carril a ampliar en el Tramo 1. Caso contrario desechar adecuadamente como escombros.
- Excavar sección de espaldones en ambos tramos y sección de ampliación en el carril derecho para el Tramo 1 en un espesor de 35cm. Rellenar y compactar adecuadamente las secciones de espaldón y carril derecho a ampliar con material granular nuevo, tipo Subbase graduación B o similar, de acuerdo a lo indicado en las secciones transversales y estructuras de pavimento.
- Colocar, extender y compactar la capa de 20 cm de material granular tipo base graduación C o D (BG). Respetar especificaciones indicadas en la Tabla 16. Ajustar a nivel de rasante definido por el condón y caño existente a ambos lados de la vía, de manera que la capa debe quede conformada con la pendiente transversal requerida de 2.5% como se indica en la sección transversal de la Figura 12 y 13.
- Colocar el TSB triple de acuerdo a las especificaciones indicadas en la Tabla 16. Verificar conformación de pendiente transversal de al menos 2.5% de acuerdo a sección transversal de la Figura 12 y 13.

8. Conclusiones

- La inspección del camino y los sondeos a cielo abierto indicaron que se cuenta con una calzada existente de 4.5 m de ancho promedio, la cual cuenta con una estructura de pavimento compuesta por una capa de material estabilizado con cemento en mal estado de 15 a 20 cm de espesor, así como varias capas de materiales granulares que suman 35 cm de espesor promedio sobre el suelo subrasante. Además, se cuenta con estructuras de cordón y caño para el drenaje de agua pluvial, a ambos lados de la calzada existente.
- Los ensayos de DCP indicaron que se cuenta con dos capas de suelo subrasante, una con un CBR en sitio promedio de 15 % en un espesor promedio de 20 cm y otra capa con CBR en sitio promedio de 5.4% en un espesor mayor a 85 cm.
- Se definieron dos tramos de acuerdo al ancho medido entre las estructuras de cordón y caño existentes. El Tramo 1 inicia en la estación 0+000 y termina en la estación 0+090, mientras que el Tramo 2 va desde 0+090 hasta 0+440.
- Los ensayos de laboratorio realizados a los materiales granulares existentes en la vía, indicaron que a pesar de que estos materiales no cumplen a cabalidad con las especificaciones del CR-2010, pueden mantenerse en la estructura de pavimentos del camino como capa de subbase granular y su aporte se tomó en cuenta en el diseño estructural.
- Se recomiendan dos estructuras de pavimento que cumplen con las cargas vehiculares proyectadas a 20 años y las verificaciones por deformación permanente. La EP-1 se aplica a la sección de la calzada existente y la EP-2 se aplica a los espaldones en ambos tramos y a la sección de carril derecho a ampliar en el Tramo 1.
- Los diseños aquí recomendados son preliminares, por lo tanto la definición final acerca de la estructura de pavimento y secciones transversales del camino, deberá ser formulada finalmente por la UTGV de la Municipalidad de Turrubares de acuerdo a su criterio técnico y análisis de los recursos disponibles.

9. Recomendaciones generales.

- Se recomienda revisar la condición y adecuado funcionamiento de las estructuras de drenaje pluvial existente a lo largo de los 440 m del camino a intervenir. Esto incluye verificar la continuidad del cordón y caño a ambos lados de la calzada, buena condición de tragantes y tuberías de pasos transversales de alcantarilla.
- Se recomienda verificar si se requiere colocar pasos de alcantarilla adicionales con sus respectivos tragantes, de manera que se eviten potenciales daños a la nueva estructura de pavimento a construir, producto de un inadecuado drenaje de agua pluvial.
- Se recomienda valorar la posibilidad de colocar geomalla sobre capa de subbase granular existente (SBG) y capa de base granular nueva (BG), debido a que la estructura de pavimento quedará seccionada entre la calzada existente, espaldones en ambos tramos y carril a ampliar en el Tramo 1. El uso de geomalla ayuda a evitar asentamientos diferenciales y reflejo de juntas de construcción hacia la superficie de ruedo. Se recomienda aplicar las recomendaciones del fabricante de la geomalla de acuerdo a estos requerimientos.
- Se recomienda incluir el señalamiento vertical y horizontal dentro del alcance del proyecto de mejoramiento vial del camino.
- Se recomienda elaborar planos constructivos para la formulación del proyecto de intervención del camino, de manera que se detalle claramente el alcance y especificaciones de las obras a realizar.

10. Referencias bibliográficas

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Guide for the Design of Pavement Structures* [Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento]. (7ta Ed), Washington, D.C., EEUU: Autor.
- Asphalt Institute. (1999). *MS-1 Thickness Design-Highways & Streets* [MS-1 Diseño de espesores-Autopistas y Carreteras]. (1999). (9a Ed) Kentucky, EEUU: Autor.
- ASTM Standard D4694. (2006). *Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device*. ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/D4694-09, www.astm.org.
- Arias Barrantes, E. (2014). *Recomendaciones Técnicas para el Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles con la Incorporación de Criterios Mecánicos-Empíricos*. San José: PITRA, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.
- Garber, N; Hoel, L. (2005). *Ingeniería de Tránsito y de Carreteras*. México: Thomson
- Instituto Meteorológico Nacional. (n.d.). *Atlas Climatológico Interactivo*. Costa Rica: Autor.
Descargado de: http://www.imn.ac.cr/mapa_clima/interactivo/index.html
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2013). Anuario de información de tránsito 2012. Descargado de: <http://www.mopt.go.cr/plani fi cacion/carreteras/AnuarioTr%C3%A1nsito2012.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2010). *Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010*.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2007). Oficio DVOP-5170-07. Lineamientos diseño de pavimento por Ing. Pedro Castro PhD.
- Ulloa, Á; Badilla, G; Allen, J; Sibaja, D(2007). Encuesta de Carga. Unidad de Investigación. Proyecto #PI-01-PIIVI-2007. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. San José, Costa Rica: LanammeUCR.
- Yang H. Huang. (2004). *Pavement Analysis and Design* [Análisis y Diseño de Pavimentos]. (2da Ed), New, Jersey, EEUU: Prentice Hall.

11. Anexos

| Anexo | Contenido |
|-------|--|
| 1 | Formularios de Sondeos y Ensayos DCP |
| 2 | Informe de laboratorio I-1334-16 |
| 3 | Secciones Transversales y estructuras de pavimento |





| Anexo | Contenido |
|-------|--------------------------------------|
| 1 | Formularios de Sondeos y Ensayos DCP |

| 1. UBICACIÓN | | 2. DIMENSIONES GENERALES | | | 6. CBR (DCP) | | | |
|---|---|--------------------------|----------------|-----------|---------------------|--------------|------------|--------------|
| PROVINCIA | San José | LONGITUD (Km): | Tramo de 430 m | | MASA UTILIZADA (kg) | 8 | | |
| CANTON | Turrubares | ANCHO PROM SR (m): | 9 | | No. GOLPES | LECTURA (mm) | No. GOLPES | LECTURA (mm) |
| DISTRITO | Bijagual | ANCHO PROM DV (m): | 14 | | 0 | 20 | 1 | 757 |
| CODIGO DEL CAMINO | Camino Bijagual 1-016-013-00 | | | 3 | 50 | 1 | 801 | |
| DE: | (ENT. N.320)BIJAGUAL | | | 3 | 70 | 1 | 836 | |
| A: | (ENT.C.096)JACO-ACCESO LAJAS | | | 5 | 91 | 1 | 865 | |
| 3. SONDEOS | | | | | 5 | 112 | | |
| SONDEO No | 1 (superficie) | | | 5 | 143 | | | |
| ESTACIONAMIENTO | 0+110 | | | 5 | 176 | | | |
| COORDENADAS GPS | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | 3 | 194 | | | |
| N | 9 | 43 | 35.5 | 3 | 210 | | | |
| W | 84 | 35 | 8.5 | 3 | 224 | | | |
| 4. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO | | | | | 3 | 240 | | |
| CAPAS | DENOMINACION | ESPESOR (cm) | | 3 | 252 | | | |
| No. 1 | TSB | - | | 3 | 266 | | | |
| No. 2 | BE | 15.0 | | 3 | 280 | | | |
| No. 3 | SBG | 10.0 | | 3 | 292 | | | |
| No. 4 | RE1 | 15.0 | | 3 | 303 | | | |
| No. 5 | RE2 | 10.0 | | 3 | 314 | | | |
| No. 6 | SR | - | | 3 | 325 | | | |
| CAPAS | DESCRIPCIÓN | | | 3 | 336 | | | |
| No. 1 | Tratamiento Superficial Bituminoso. Muy antiguo y deteriorado. Casi totalmente destruido. Ha sido bacheado en centro y bordes. | | | 5 | 353 | | | |
| No. 2 | Toba cemento en mal estado. Presenta huecos y erosión de los bordes. Se encuentra expuesta en muchas secciones debido a deterioro del TSB | | | 5 | 374 | | | |
| No. 3 | Material granular tipo subbase contaminado por suelo | | | 5 | 410 | | | |
| No. 4 | Material granular de relleno combinado con suelo | | | 3 | 464 | | | |
| No. 5 | Material granular de relleno combinado con suelo | | | 1 | 480 | | | |
| No. 6 | Suelo arcilloso color café claro | | | 1 | 495 | | | |
| 5. LECTURAS DEL ANILLO DE CARGA | | | | | 1 | 514 | | |
| 1 | | 11 | | 1 | 534 | | | |
| 2 | | 12 | | 1 | 554 | | | |
| 3 | | 13 | | 1 | 570 | | | |
| 4 | | 14 | | 1 | 587 | | | |
| 5 | | 15 | | 1 | 606 | | | |
| 6 | | 16 | | 1 | 624 | | | |
| 7 | | 17 | | 1 | 640 | | | |
| 8 | | 18 | | 1 | 657 | | | |
| 9 | | 19 | | 1 | 682 | | | |
| 10 | | 20 | | 1 | 714 | | | |
| 7. CONDICIONES DEL SITIO Y OBSERVACIONES GENERALES | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| FECHA | 26/08/2016 | | | APUNTADOR | AUC | | | |

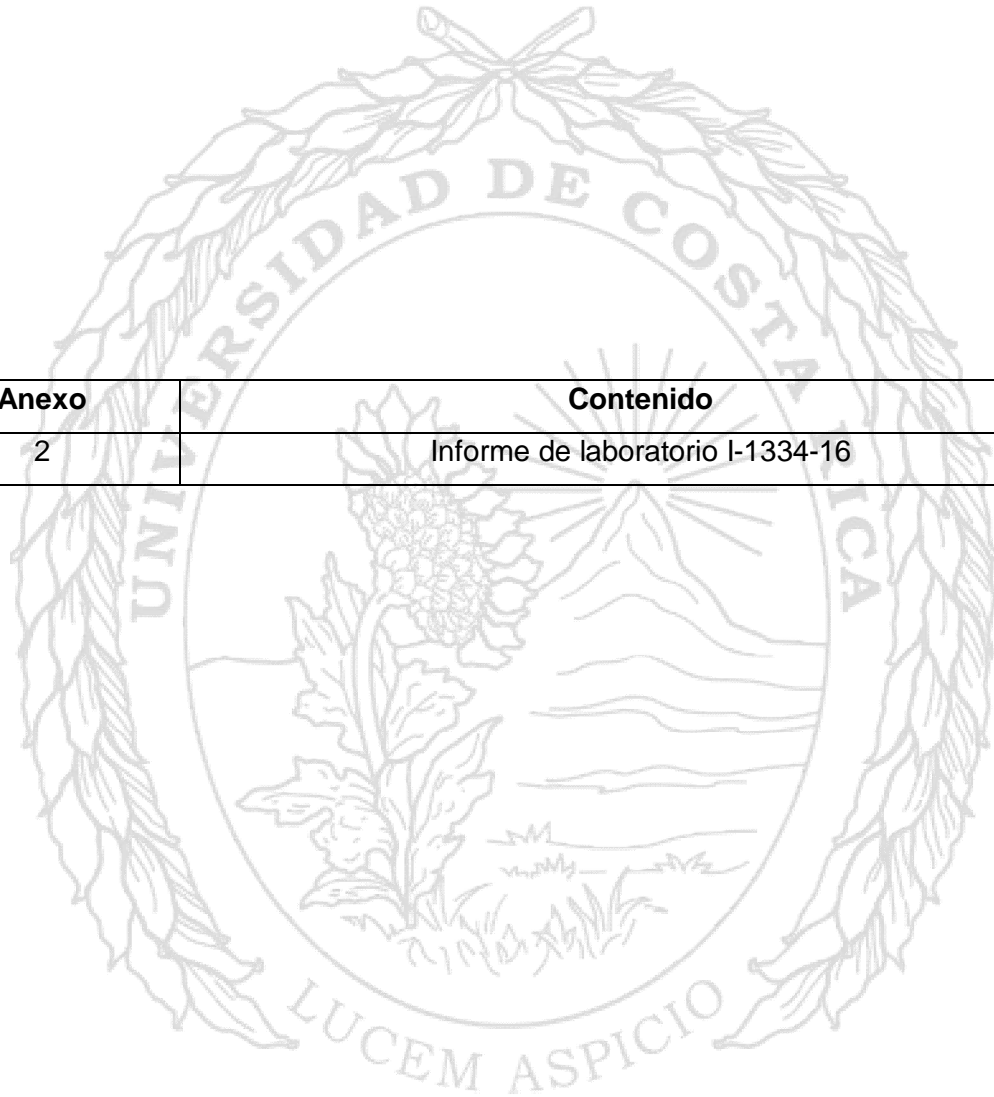
| 1. UBICACIÓN | | 2. DIMENSIONES GENERALES | | | 6. CBR (DCP) | | | |
|---|---|--------------------------|----------------|-----------|---------------------|--------------|------------|--------------|
| PROVINCIA | San José | LONGITUD (Km): | Tramo de 430 m | | MASA UTILIZADA (kg) | 8 | | |
| CANTON | Turrubares | ANCHO PROM SR (m): | 9 | | No. GOLPES | LECTURA (mm) | No. GOLPES | LECTURA (mm) |
| DISTRITO | Bijagual | ANCHO PROM DV (m): | 14 | | 0 | 25 | | |
| CODIGO DEL CAMINO | Camino Bijagual 1-016-013-00 | | | 3 | 97 | | | |
| DE: | (ENT.N.320)BIJAGUAL | | | 1 | 123 | | | |
| A: | (ENT.C.096)JACO-ACCESO LAJAS | | | 1 | 150 | | | |
| 3. SONDEOS | | | | | 1 | 180 | | |
| SONDEO No | Sondeo 1 (suelo-sondeo) | | | 1 | 212 | | | |
| ESTACIONAMIENTO | 0+110 | | | 1 | 243 | | | |
| COORDENADAS GPS | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | 1 | 271 | | | |
| N | 9 | 43 | 35.5 | 1 | 304 | | | |
| W | 84 | 35 | 8.5 | 1 | 335 | | | |
| 4. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO | | | | | 1 | 374 | | |
| CAPAS | DENOMINACION | ESPESOR (cm) | | 1 | 423 | | | |
| No. 1 | TSB | - | | 1 | 470 | | | |
| No. 2 | BE | 15.0 | | 1 | 515 | | | |
| No. 3 | BG | 10.0 | | 1 | 561 | | | |
| No. 4 | SBG | 15.0 | | 1 | 605 | | | |
| No. 5 | RE | 10.0 | | 1 | 645 | | | |
| No. 6 | SR | - | | 1 | 691 | | | |
| CAPAS | DESCRIPCIÓN | | | 1 | 730 | | | |
| No. 1 | Tratamiento Superficial Bituminoso. Muy antiguo y deteriorado. Casi totalmente destruido. Ha sido bacheado en centro y bordes. | | | 1 | 794 | | | |
| No. 2 | Toba cemento en mal estado. Presenta huecos y erosión de los bordes. Se encuentra expuesta en muchas secciones debido a deterioro del TSB | | | 1 | 805 | | | |
| No. 3 | Material granular tipo subbase contaminado por suelo | | | 1 | 845 | | | |
| No. 4 | Material granular de relleno combinado con suelo | | | 1 | 885 | | | |
| No. 5 | Material granular de relleno combinado con suelo | | | | | | | |
| No. 6 | Suelo arcilloso color café claro | | | | | | | |
| 5. LECTURAS DEL ANILLO DE CARGA | | | | | | | | |
| 1 | | 11 | | | | | | |
| 2 | | 12 | | | | | | |
| 3 | | 13 | | | | | | |
| 4 | | 14 | | | | | | |
| 5 | | 15 | | | | | | |
| 6 | | 16 | | | | | | |
| 7 | | 17 | | | | | | |
| 8 | | 18 | | | | | | |
| 9 | | 19 | | | | | | |
| 10 | | 20 | | | | | | |
| 7. CONDICIONES DEL SITIO Y OBSERVACIONES GENERALES | | | | | | | | |
| Se realiza sondeo a profundidad de 75cm desde la superficie | | | | | | | | |
| FECHA | 26/08/2016 | | | APUNTADOR | AUC | | | |

| 1. UBICACIÓN | | 2. DIMENSIONES GENERALES | | | 6. CBR (DCP) | | | |
|---|---|--------------------------|----------------|-----------|---------------------|--------------|------------|--------------|
| PROVINCIA | San José | LONGITUD (Km): | Tramo de 430 m | | MASA UTILIZADA (kg) | 8 | | |
| CANTON | Turrubares | ANCHO PROM SR (m): | 6.5 | | No. GOLPES | LECTURA (mm) | No. GOLPES | LECTURA (mm) |
| DISTRITO | Bijagual | ANCHO PROM DV (m): | 14 | | 0 | 21 | | |
| CODIGO DEL CAMINO | Camino Bijagual 1-016-013-00 | | | 5 | 76 | | | |
| DE: | (ENT. N.320)BIJAGUAL | | | 5 | 103 | | | |
| A: | (ENT. C.096)JACO-ACCESO LAJAS | | | 5 | 130 | | | |
| 3. SONDEOS | | | | | 5 | 132 | | |
| SONDEO No | Sondeo 2 (superficie) | | | 5 | 145 | | | |
| ESTACIONAMIENTO | 0+300 | | | 5 | 164 | | | |
| COORDENADAS GPS | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | 5 | 190 | | | |
| N | 9 | 43 | 34.2 | 5 | 212 | | | |
| W | 84 | 34 | 13.8 | 5 | 235 | | | |
| 4. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO | | | | | 5 | 255 | | |
| CAPAS | DENOMINACION | ESPESOR (cm) | | 5 | 276 | | | |
| No. 1 | TSB | - | | 5 | 296 | | | |
| No. 2 | BE | 20.0 | | 5 | 316 | | | |
| No. 3 | SBG | 10.0 | | 5 | 332 | | | |
| No. 4 | RE1 | 15.0 | | 5 | 342 | | | |
| No. 5 | RE2 | 10.0 | | 5 | 360 | | | |
| No. 6 | SR | - | | 5 | 375 | | | |
| CAPAS | DESCRIPCIÓN | | | 5 | 394 | | | |
| No. 1 | Tratamiento Superficial Bituminoso. Muy antiguo y deteriorado. Casi totalmente destruido. Ha sido bacheado en centro y bordes. | | | 5 | 426 | | | |
| No. 2 | Toba cemento en mal estado. Presenta huecos y erosión de los bordes. Se encuentra expuesta en muchas secciones debido a deterioro del TSB | | | 5 | 475 | | | |
| No. 3 | Material granular tipo subbase contaminado por suelo | | | 3 | 519 | | | |
| No. 4 | Material granular de relleno combinado con suelo | | | 3 | 560 | | | |
| No. 5 | Material granular de relleno combinado con suelo | | | 3 | 630 | | | |
| No. 6 | Suelo arcilloso color café claro | | | 1 | 660 | | | |
| 5. LECTURAS DEL ANILLO DE CARGA | | | | | 1 | 695 | | |
| 1 | | 11 | | 1 | 735 | | | |
| 2 | | 12 | | 1 | 775 | | | |
| 3 | | 13 | | 1 | 815 | | | |
| 4 | | 14 | | 1 | 855 | | | |
| 5 | | 15 | | | | | | |
| 6 | | 16 | | | | | | |
| 7 | | 17 | | | | | | |
| 8 | | 18 | | | | | | |
| 9 | | 19 | | | | | | |
| 10 | | 20 | | | | | | |
| 7. CONDICIONES DEL SITIO Y OBSERVACIONES GENERALES | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| FECHA | 26/08/2016 | | | APUNTADOR | AUC | | | |

| 1. UBICACIÓN | | 2. DIMENSIONES GENERALES | | | 6. CBR (DCP) | | | |
|---|---|--------------------------|----------------|-----------|---------------------|--------------|------------|--------------|
| PROVINCIA | San José | LONGITUD (Km): | Tramo de 430 m | | MASA UTILIZADA (kg) | 8 | | |
| CANTON | Turrubares | ANCHO PROM SR (m): | 6.5 | | No. GOLPES | LECTURA (mm) | No. GOLPES | LECTURA (mm) |
| DISTRITO | Bijagual | ANCHO PROM DV (m): | 14 | | 0 | 34 | | |
| CODIGO DEL CAMINO | Camino Bijagual 1-016-013-00 | | | 1 | 76 | | | |
| DE: | (ENT.N.320)BIJAGUAL | | | 1 | 120 | | | |
| A: | (ENT.C.096)JACO-ACCESO LAJAS | | | 1 | 150 | | | |
| 3. SONDEOS | | | | | 1 | 185 | | |
| SONDEO No | Sondeo 2 (suelo-sondeo) LI | | | 1 | 221 | | | |
| ESTACIONAMIENTO | 0+300 | | | 1 | 254 | | | |
| COORDENADAS GPS | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | 1 | 295 | | | |
| N | 9 | 43 | 34.2 | 1 | 343 | | | |
| W | 84 | 34 | 13.8 | 1 | 375 | | | |
| 4. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO | | | | | 1 | 405 | | |
| CAPAS | DENOMINACION | ESPESOR (cm) | | 1 | 442 | | | |
| No. 1 | TSB | - | | 1 | 476 | | | |
| No. 2 | BE | 20.0 | | 1 | 511 | | | |
| No. 3 | SBG | 10.0 | | 1 | 546 | | | |
| No. 4 | RE1 | 15.0 | | 1 | 585 | | | |
| No. 5 | RE2 | 10.0 | | 1 | 615 | | | |
| No. 6 | SR | - | | 1 | 650 | | | |
| CAPAS | DESCRIPCIÓN | | | 1 | 685 | | | |
| No. 1 | Tratamiento Superficial Bituminoso. Muy antiguo y deteriorado. Casi totalmente destruido. Ha sido bacheado en centro y bordes. | | | 1 | 720 | | | |
| No. 2 | Toba cemento en mal estado. Presenta huecos y erosión de los bordes. Se encuentra expuesta en muchas secciones debido a deterioro del TSB | | | 1 | 754 | | | |
| No. 3 | Material granular tipo subbase contaminado por suelo | | | 1 | 785 | | | |
| No. 4 | Material granular de relleno combinado con suelo | | | 1 | 820 | | | |
| No. 5 | Material granular de relleno combinado con suelo | | | 1 | 855 | | | |
| No. 6 | Suelo arcilloso color café claro | | | | | | | |
| 5. LECTURAS DEL ANILLO DE CARGA | | | | | | | | |
| 1 | | 11 | | | | | | |
| 2 | | 12 | | | | | | |
| 3 | | 13 | | | | | | |
| 4 | | 14 | | | | | | |
| 5 | | 15 | | | | | | |
| 6 | | 16 | | | | | | |
| 7 | | 17 | | | | | | |
| 8 | | 18 | | | | | | |
| 9 | | 19 | | | | | | |
| 10 | | 20 | | | | | | |
| 7. CONDICIONES DEL SITIO Y OBSERVACIONES GENERALES | | | | | | | | |
| Ensayo DCP se realizo a profundidad de 55 desde la superficie | | | | | | | | |
| FECHA | 26/08/2016 | | | APUNTADOR | AUC | | | |



| Anexo | Contenido |
|-------|----------------------------------|
| 2 | Informe de laboratorio I-1334-16 |



No. de informe: I-1334-16

Informe de Ensayo

RC-80 v.06 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

ST-1218-16

1. Información del cliente:

Nombre: Unidad de Gestión Municipal (Ing. Alonso Ulate).
Proyecto: Municipalidad de Turubares.
Domicilio: 400 metros norte de Muñoz y Nanne, San Pedro, Montes de Oca, San José.

2. Método de ensayo:

IT-CA-01 (ASTM C 702) (*)

Procedimiento para reducir muestras de agregado a tamaños de ensayo.

IT-CA-02 (ASTM C 136) (*)

Procedimiento para el análisis por mallas de agregado fino y grueso.

IT-CA-04 (ASTM C 127) (*)

Procedimiento para la determinación de la densidad, gravedad específica y absorción de agregado grueso.

IT-GC-01 (ASTM D 422) (**)

Método de ensayo para el análisis de tamaño de partículas de suelo (vía seca y húmeda).

IT-GC-04 (ASTM D 854) (*)

Procedimiento para determinar la gravedad específica del suelo mediante un picnómetro con agua.

IT-GC-05 (ASTM D 4318) (*)

Procedimiento para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo.

IT-GC-07 (AASHTO T 180) (*)

Método estándar de ensayo para la relación densidad-humedad de suelos usando un mazo de 4,54 kg y una caída de 457 mm

IT-GC-08 (AASHTO T 193) (*)

Método estándar de ensayo para determinar el índice de soporte de California (CBR).

(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr.

(**) Ensayo no acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr.

No. de informe: I-1334-16

3. Información de la(s) muestra(s) o espécimen(es) de ensayo:

| <u>No. de identificación:</u> | <u>Descripción:</u> |
|-------------------------------|--|
| 2253-16 | 2 Sacos de material granular de base. Identificados por el cliente como: S1. Agregado de tajo (cascajo), color café, mezclado con material de centro redondeado, color gris, medianamente meteorizado, no evidencia contaminación orgánica, tamaño máximo 38,1 mm de diámetro. |
| 2254-16 | 2 Bolsas con suelo. Identificadas por el cliente como: S1. Suelo limoso-arcilloso, color café rojizo oscuro, medianamente compacto, con alto grado de partícula de roca compacta. |
| 2255-16 | 2 Sacos de material granular de base. Identificados por el cliente como: S2. Agregado de tajo (cascajo), color café, mezclado con material de centro redondeado, color gris, medianamente meteorizado, no evidencia contaminación orgánica, tamaño máximo 38,1 mm de diámetro. |
| 2256-16 | 2 Bolsas con suelo. Identificadas por el cliente como: S2. Suelo limoso-arcilloso, color café claro amarillento, presenta partículas de roca compactas. |

Aportadas por: Ing. Alonso Ulate

Fecha de recepción : 2016/09/12

Fecha de realización del ensayo: 2016/09/30-2016/10/11

4. Información del muestreo:

Fecha de muestreo: 2016/08/26

Ubicación: Camino Bijagual 01-16-013.

Procedimiento de muestreo:

Muestreo de agregado realizado por la Unidad de Gestión Municipal de acuerdo a la norma ASTM D-75. Personal responsable de las muestras: Ing. Alonso Ulate.

Condiciones ambientales: No aplica pues en el laboratorio los especímenes se acondicionan.



No. de informe: I-1334-16

5. Resultados:

Tabla 1 . Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de un suelo.

| MUESTRA | LÍMITE LÍQUIDO | LÍMITE PLÁSTICO | ÍNDICE PLÁSTICIDAD |
|---------|----------------|-----------------|--------------------|
| 2253-16 | 29 | 23 | 6 |
| 2254-16 | 54 | 31 | 29 |
| 2255-16 | 27 | 19 | 8 |
| 2256-16 | 67 | 38 | 29 |

Nota:

- Las muestras fueron acondicionadas por el método de preparación seco.
- El límite líquido se determina según el método A (método multipunto) de la norma ASTM D-4318.

Tabla 2. Resultados del ensayo para determinar la densidad, gravedad específica y absorción de agregado grueso, muestras: 2253-16 y 2255-16.

| MUESTRA No. | GRAVEDAD ESPECÍFICA | | | DENSIDAD | | | ABSORCIÓN (%) |
|-------------|---------------------|------|------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------|
| | Gs | Gbs | Gbss | Ds (kg/m ³) | Dbs (kg/m ³) | Dbss (kg/m ³) | |
| 2253-16 | 2,83 | 1,94 | 2,25 | 2820 | 1930 | 2250 | 16,3 |
| 2255-16 | 2,74 | 1,66 | 2,05 | 2730 | 1650 | 2050 | 23,8 |

Tabla 3. Gravedad específica del suelo, muestras: 2254-16 y 2256-16.

| MUESTRA | MÉTODO | GT | GS |
|---------|--------|-------|-------|
| 2254-16 | A | 2,692 | 2,690 |
| 2256-19 | A | 2,815 | 2,813 |

No. de informe: I-1334-16

Tabla 4. Análisis granulométrico de suelos vía seca, muestra 2253-16.

| MALLA No. | ABERTURA (mm) | MASA RET. (g) | % RET. | %RET. AC. | %PAS. |
|--------------------|---------------|---------------|--------|-----------|-------|
| 2" | 50,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100 |
| 1 1/2" | 37,5 | 241 | 1,52 | 1,52 | 98,5 |
| 1" | 25,0 | 1034 | 6,51 | 8,03 | 92,0 |
| 3/4" | 19,0 | 683 | 4,30 | 12,3 | 87,7 |
| 3/8" | 9,50 | 2517 | 15,9 | 28,2 | 71,8 |
| Nº 4 | 4,75 | 2852 | 18,0 | 46,2 | 53,8 |
| Nº 10 | 2,00 | 2785 | 17,5 | 63,7 | 36,3 |
| Nº 40 | 0,43 | 2999 | 18,9 | 82,6 | 17,4 |
| Nº 50 | 0,30 | 389 | 2,45 | 85,1 | 14,9 |
| Nº 200 | 0,08 | 947 | 5,97 | 91,0 | 8,97 |
| LAVADO MALLA # 200 | | | | | 18,4 |

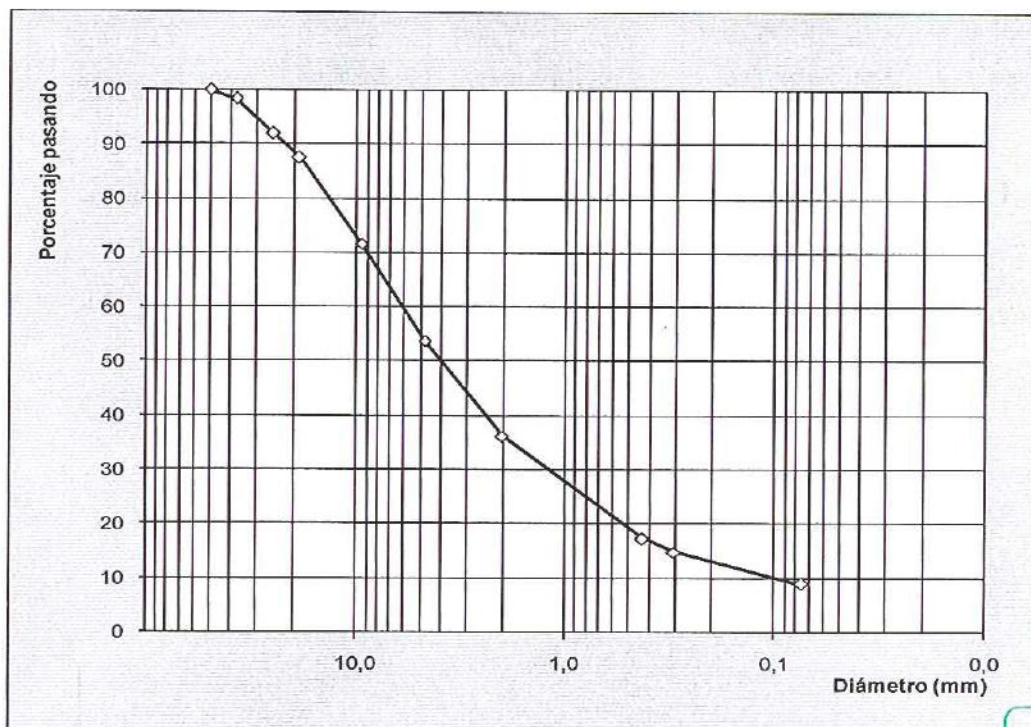


Gráfico 1. Curva granulométrica, muestra 2253-16.

No. de informe: I-1334-16

Tabla 5. Análisis granulométrico de suelos vía seca, muestra 2254-16.

MASA INICIAL: 1801 g MASA FINAL: 1028 g

| MALLA No. | ABERTURA (mm) | MASA RET. | % RET. | % RET AC. | % PAS. |
|-----------|---------------|-----------|--------|-----------|--------|
| 1" | 25,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100 |
| 3/4" | 19,0 | 49,6 | 2,75 | 2,75 | 97 |
| 1/2" | 12,5 | 51,1 | 2,84 | 5,59 | 94 |
| 3/8" | 9,50 | 11,9 | 0,66 | 6,25 | 94 |
| Nº 4 | 4,75 | 134 | 7,43 | 13,7 | 86 |
| Nº 10 | 2,00 | 327 | 18,1 | 31,8 | 68 |
| Nº 20 | 0,85 | 229 | 12,7 | 44,5 | 55 |
| Nº 40 | 0,43 | 91,3 | 5,07 | 49,6 | 50 |
| Nº60 | 0,25 | 48,4 | 2,68 | 52,3 | 48 |
| Nº100 | 0,15 | 41,7 | 2,31 | 54,6 | 45 |
| Nº140 | 0,11 | 23,8 | 1,32 | 55,9 | 44 |
| Nº200 | 0,08 | 21,7 | 1,21 | 57,1 | 43 |

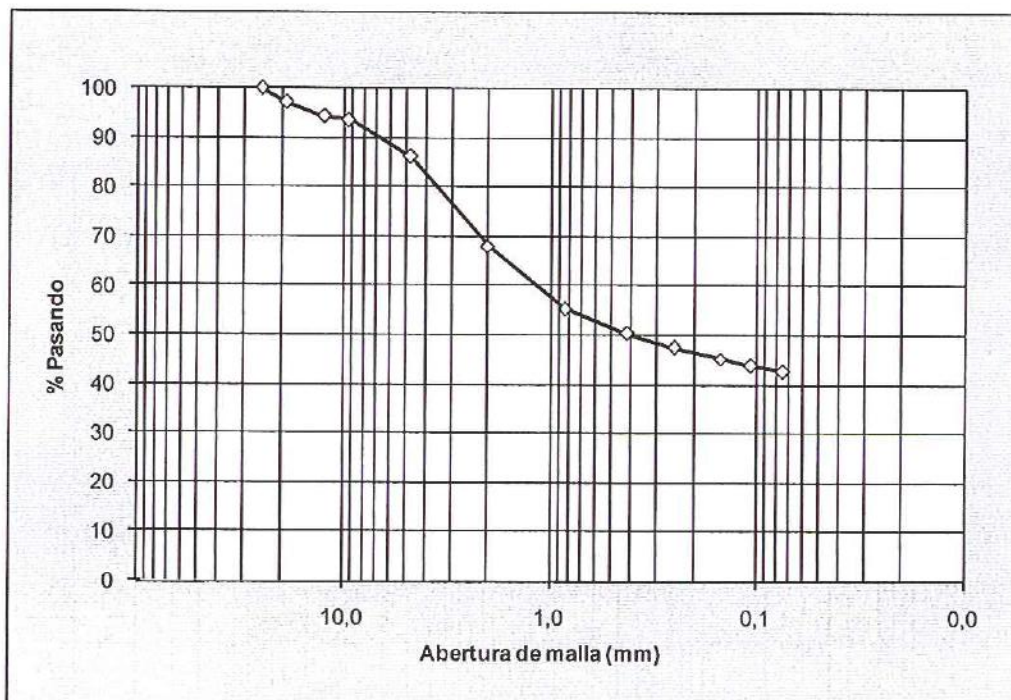


Gráfico 2. Curva granulométrica, muestra 2254-16.

No. de informe: I-1334-16

Tabla 6. Análisis granulométrico de suelos vía seca, muestra 2255-16.

| MALLA No. | ABERTURA (mm) | MASA RET. (g) | % RET. | %RET. AC. | %PAS. |
|--------------------|---------------|---------------|--------|-----------|-------|
| 2" | 50,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100 |
| 1 1/2" | 37,5 | 283 | 2,28 | 2,28 | 97,7 |
| 1" | 25,0 | 193 | 1,56 | 3,84 | 96,2 |
| 3/4" | 19,0 | 511 | 4,13 | 8,0 | 92,0 |
| 3/8" | 9,50 | 1606 | 13,0 | 20,9 | 79,1 |
| N° 4 | 4,75 | 2270 | 18,3 | 39,2 | 60,8 |
| N° 10 | 2,00 | 2242 | 18,1 | 57,3 | 42,7 |
| N° 40 | 0,43 | 2607 | 21,0 | 78,4 | 21,6 |
| N° 50 | 0,30 | 343 | 2,77 | 81,1 | 18,9 |
| N° 200 | 0,08 | 839 | 6,77 | 87,9 | 12,1 |
| LAVADO MALLA # 200 | | | | | 24,5 |

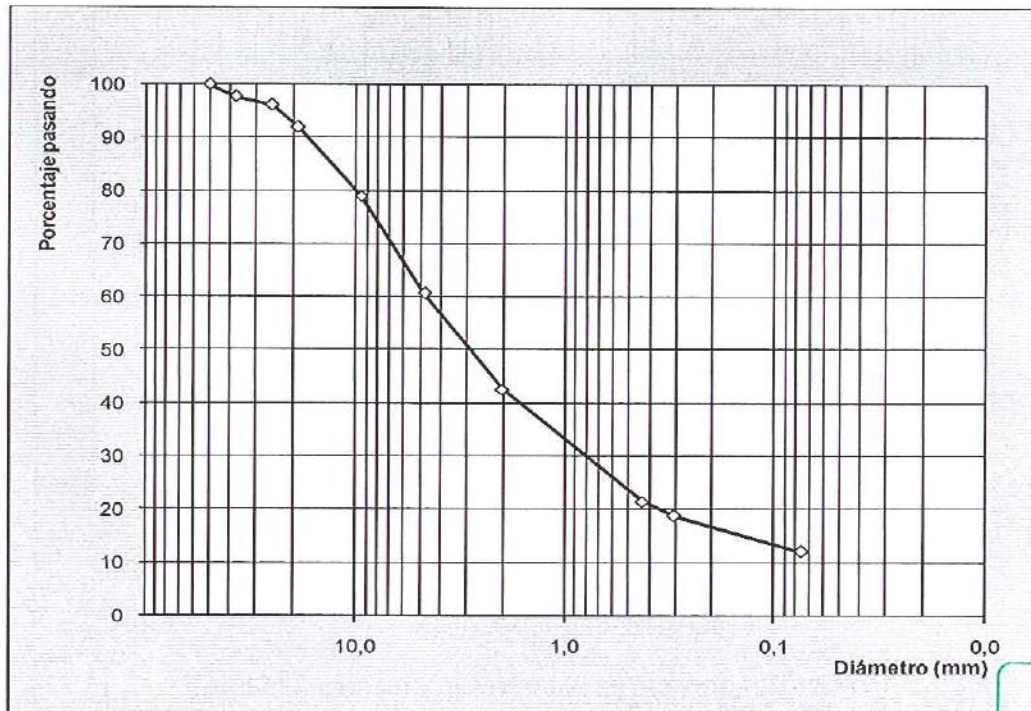


Gráfico 3. Curva granulométrica, muestra 2255-16.

No. de informe: I-1334-16

Tabla 7. Análisis granulométrico de suelos vía seca, muestra 2256-16.

MASA INICIAL: 729 g MASA FINAL: 114 g

| MALLA No. | ABERTURA (mm) | MASA RET. | % RET. | % RET AC. | % PAS. |
|-----------|---------------|-----------|--------|-----------|--------|
| 3/4" | 19,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100 |
| 1/2" | 12,5 | 4,48 | 0,61 | 0,61 | 99 |
| 3/8" | 9,50 | 15,23 | 2,09 | 2,71 | 97 |
| Nº 4 | 4,75 | 16,74 | 2,30 | 5,00 | 95 |
| Nº 10 | 2,00 | 30,06 | 4,13 | 9,13 | 91 |
| Nº 20 | 0,85 | 18,99 | 2,61 | 11,7 | 88 |
| Nº 40 | 0,43 | 9,82 | 1,35 | 13,1 | 87 |
| Nº60 | 0,25 | 7,12 | 0,98 | 14,1 | 86 |
| Nº100 | 0,15 | 7,03 | 0,96 | 15,0 | 85 |
| Nº140 | 0,11 | 4,03 | 0,55 | 15,6 | 84 |
| Nº200 | 0,08 | 0,29 | 0,04 | 15,6 | 84 |

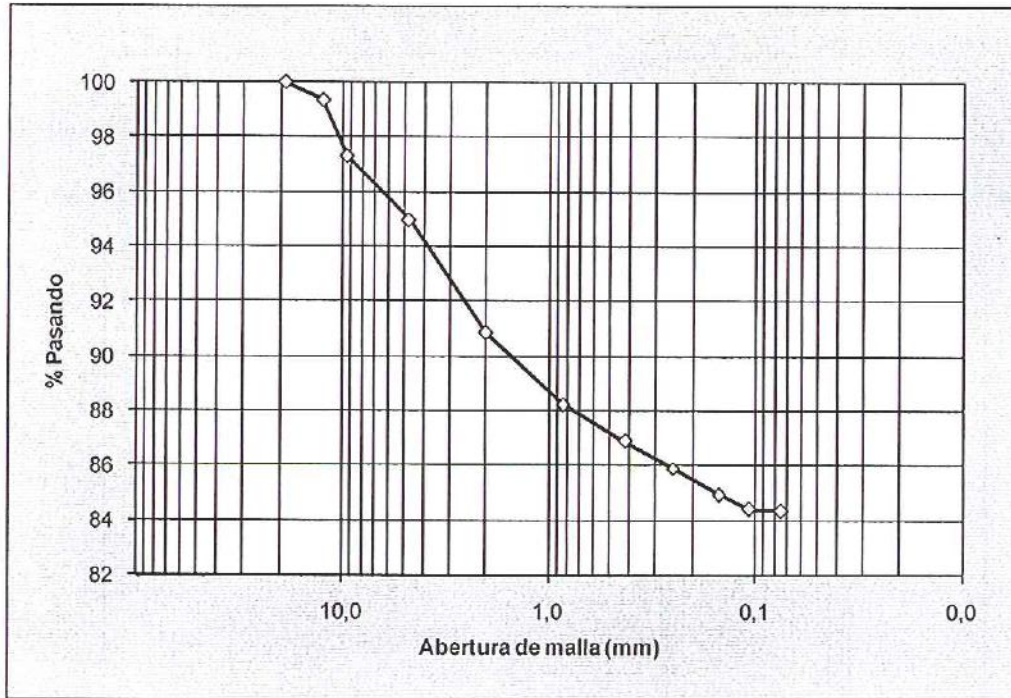
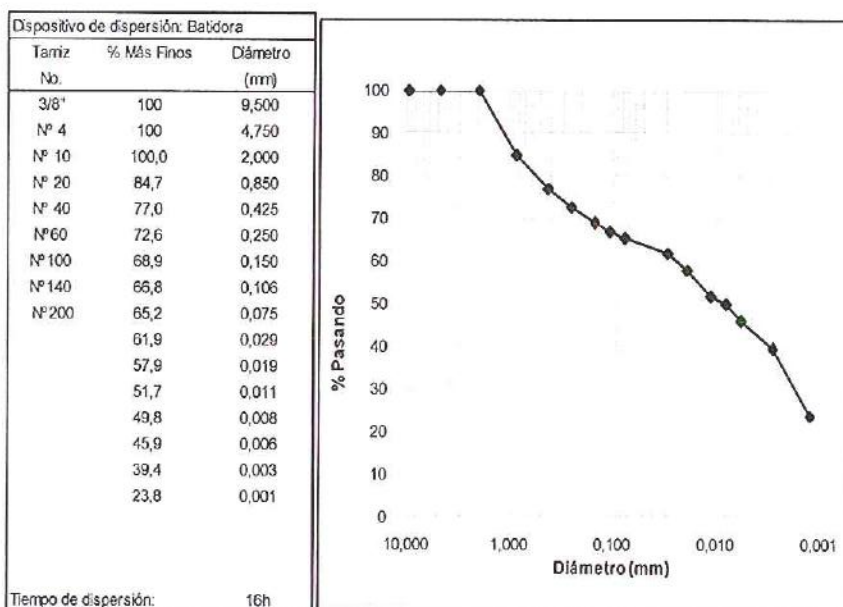


Gráfico 4. Curva granulométrica, muestra 2256-16.

No. de informe: I-1334-16

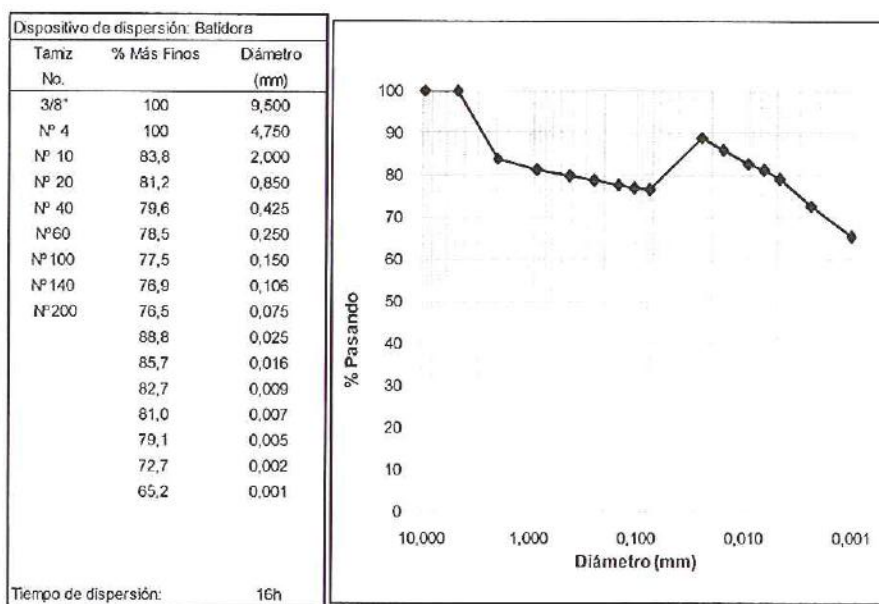
Tabla 8. Análisis granulométrico de suelos vía húmeda, muestra 2254-16.



Nota:

- El ensayo del hidrómetro es realizado para todas las muestras con material pasando el tamiz N° 10.

Tabla 9. Análisis granulométrico de suelos vía húmeda, muestra 2256-16.



Nota:

- El ensayo del hidrómetro es realizado para todas las muestras con material pasando el tamiz N° 10.

No. de informe: I-1334-16

Tabla 10. Resultados próctor modificado, muestra 2253-16.

| RESULTADOS | |
|-------------------------------|------------------------|
| Ensayo | Próctor Modificado |
| Método | C |
| Contenido de agua óptimo | 10,3% |
| Densidad seca máxima estándar | 2154 kg/m ³ |
| Forma de la superficie | Circular |
| Densidad máxima ajustada | 2217 kg/m ³ |
| Humedad óptima corregida | 9,11% |
| Corrección sobretamaño | 16,6% |
| Gravedad Específica | 2,600 |

Nota:

- Se toma como referencia para gravedad específica del agregado grueso 2,60 según la norma AASHTO T 180.

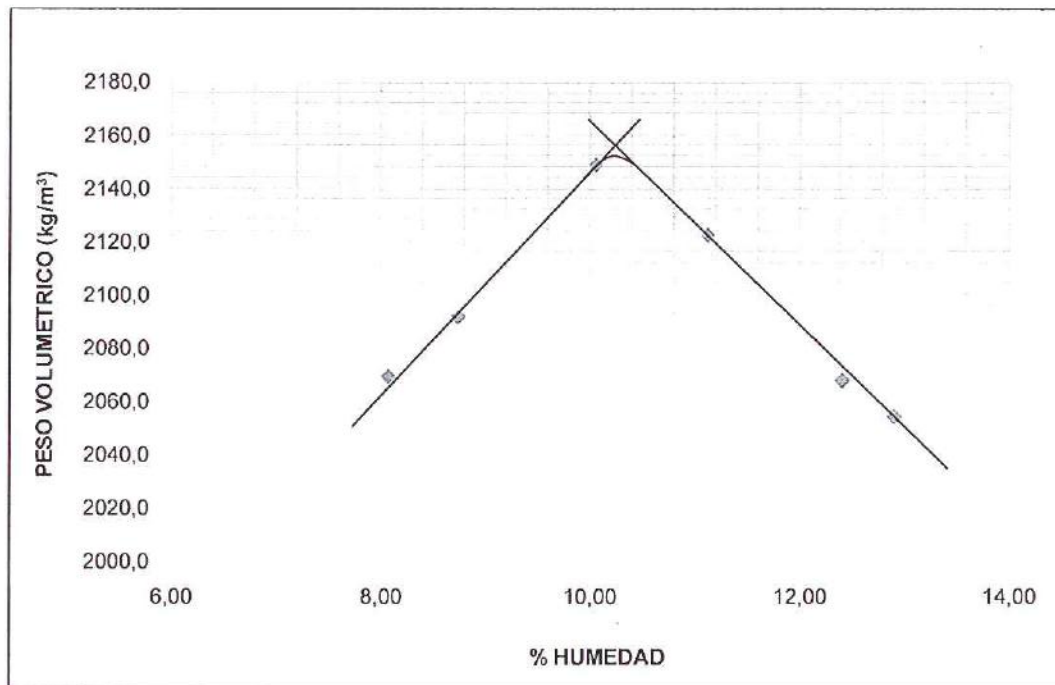


Gráfico 5. Peso volumétrico contra humedad, muestra 2253-16.

No. de informe: I-1334-16

Tabla 11. Resultados próctor modificado, muestra 2255-16.

| RESULTADOS | |
|-------------------------------|------------------------|
| Ensayo | Próctor Modificado |
| Método | C |
| Contenido de agua óptimo | 10,9% |
| Densidad seca máxima estándar | 2058 kg/m ³ |
| Forma de la superficie | Circular |
| Densidad máxima ajustada | 2134 kg/m ³ |
| Humedad óptima corregida | 9,96% |
| Corrección sobretamaño | 17,0% |
| Gravedad Específica | 2,600 |

Nota:

- Se toma como referencia para gravedad específica del agregado grueso 2,60 según la norma AASHTO T 180.

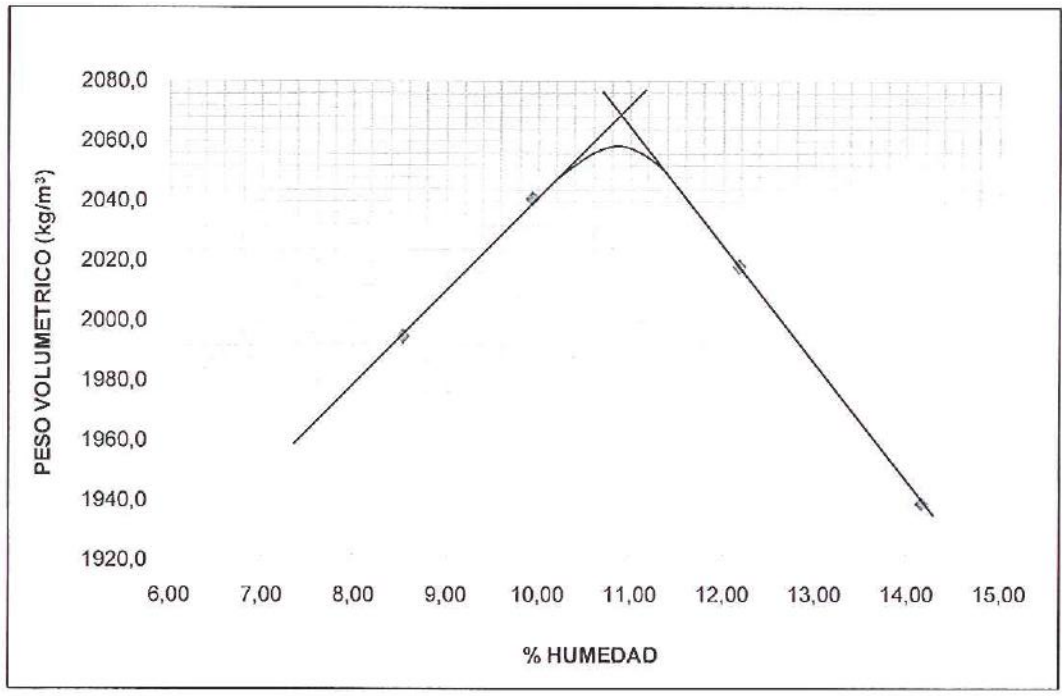


Gráfico 6. Peso volumétrico contra humedad, muestra 2255-16.

No. de informe: I-1334-16

Tabla 12. Resultados de CBR, muestra 2253-16.

| SIMBOLOGÍA | |
|------------|---|
| δs | Densidad seca |
| C | Porcentaje de compactación |
| W | Porcentaje de humedad en cada espécimen |
| * | No se tomaron lecturas de deformación |

| GOLPES | MOLDE | δs (kg/m ³) | C (%) | W (%) |
|--------|-------|------------------------------------|----------|----------|
| 56 | 51 | 2140 | 99,3 | 9,8 |
| 25 | 54 | 2046 | 95,0 | 9,4 |
| 10 | 59 | 1914 | 88,9 | 9,6 |

| MOLDE | % EXPANSIÓN | | | |
|-------|-------------|----------|----------|----------|
| | 24 horas | 48 horas | 72 horas | 96 horas |
| 51 | 0,00 | * | * | 0,01 |
| 54 | -0,01 | * | * | 0,01 |
| 59 | 0,01 | * | * | 0,01 |

| PENETRACIÓN (mm) | ESFUERZO UNITARIO DE COMPACTACIÓN MOLDES | | |
|---------------------|---|-------------|-------------|
| | 51 (kPa) | 54 (kPa) | 59 (kPa) |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,64 | 365 | 872 | 336 |
| 1,27 | 919 | 1717 | 744 |
| 1,91 | 1661 | 2607 | 1160 |
| 2,54 | 2635 | 3501 | 1549 |
| 3,18 | 3755 | 4368 | 1873 |
| 3,81 | 4910 | 5190 | 2151 |
| 5,08 | 7216 | 6786 | 2687 |
| 7,62 | 11776 | 9243 | 3559 |
| 10,2 | 15828 | 11550 | 4254 |
| 12,7 | 19202 | 13460 | 4892 |

| No. GOLPES | C (%) | % CBR CALCULADO | | % CBR CORREGIDO | |
|------------|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | 0,1 pulg 2,54 mm | 0,2 pulg 5,08 mm | 0,1 pulg 2,54 mm | 0,2 pulg 5,08 mm |
| 56 | 99,3 | 38,2 | 70,1 | 63,6 | 90,2 |
| 25 | 95,0 | 50,7 | 65,9 | 50,7 | 65,9 |
| 10 | 88,9 | 22,4 | 26,1 | 22,4 | 26,1 |

Notas:

- (*) No se registran valores pues son lecturas de fin de semana.
- Los valores de CBR para la curva de 56 golpes fueron corregidos por curvatura según norma.

No. de informe: I-1334-16

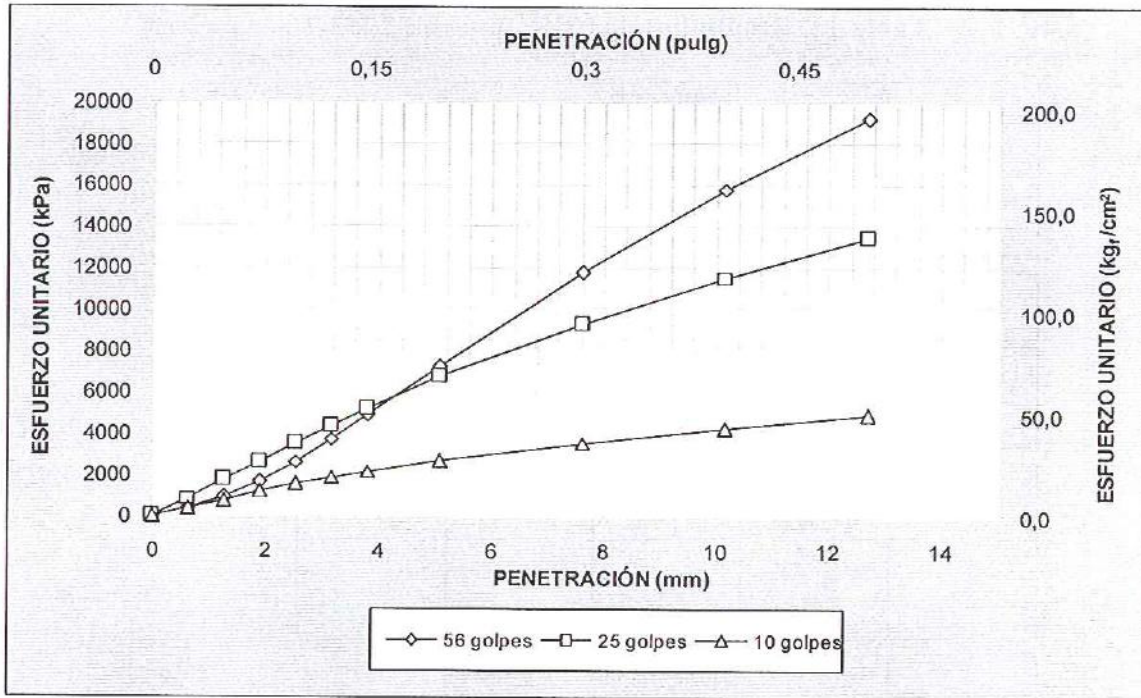


Gráfico 7. Esfuerzo unitario contra penetración, muestra 2253-16.

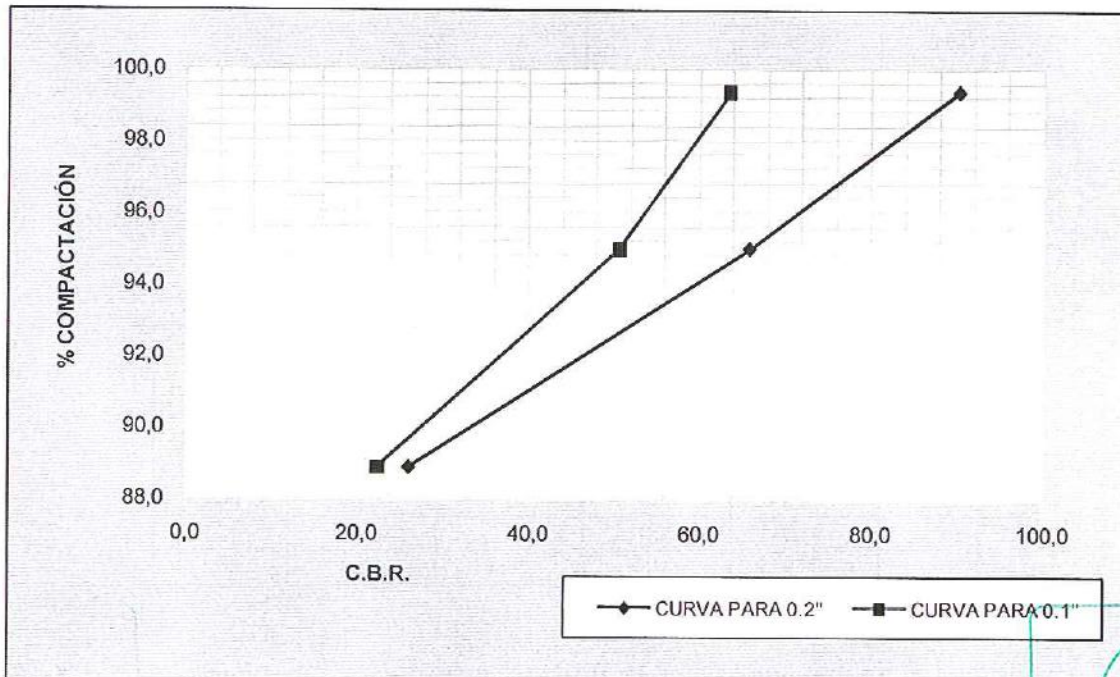


Gráfico 8. Porcentaje de compactación contra CBR, muestra 2253-16.

No. de informe: I-1334-16

Tabla 13. Resultados de CBR, muestra 2253-16 (repetición).

| SIMBOLOGÍA | | | | |
|------------|---|--|--|--|
| δs | Densidad seca | | | |
| C | Porcentaje de compactación | | | |
| W | Porcentaje de humedad en cada espécimen | | | |
| * | No se tomaron lecturas de deformación | | | |

| GOLPES | MOLDE | δs (kg/m ³) | C (%) | W (%) |
|--------|-------|------------------------------------|----------|----------|
| 56 | 53 | 2126 | 98,7 | 9,6 |
| 25 | 62 | 2054 | 95,4 | 9,0 |
| 10 | 63 | 1913 | 88,8 | 9,5 |

| MOLDE | % EXPANSIÓN | | | |
|-------|-------------|----------|----------|----------|
| | 24 horas | 48 horas | 72 horas | 96 horas |
| 53 | -0,08 | * | * | -0,04 |
| 62 | -0,04 | * | * | -0,05 |
| 63 | -0,02 | * | * | -0,03 |

| PENETRACIÓN (mm) | ESFUERZO UNITARIO DE COMPACTACIÓN MOLDES | | |
|---------------------|---|-------------|-------------|
| | 53 (kPa) | 62 (kPa) | 63 (kPa) |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,64 | 196 | 823 | 434 |
| 1,27 | 599 | 1910 | 863 |
| 1,91 | 1297 | 2906 | 1288 |
| 2,54 | 2138 | 3780 | 1666 |
| 3,18 | 3262 | 4577 | 2004 |
| 3,81 | 4394 | 5358 | 2309 |
| 5,08 | 6652 | 6678 | 2865 |
| 7,62 | 10745 | 8815 | 3768 |
| 10,2 | 14503 | 10599 | 4458 |
| 12,7 | 17934 | 12260 | 5142 |

| No. GOLPES | C (%) | % CBR CALCULADO | | % CBR CORREGIDO | |
|------------|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | 0,1 pulg 2,54 mm | 0,2 pulg 5,08 mm | 0,1 pulg 2,54 mm | 0,2 pulg 5,08 mm |
| 56 | 98,7 | 31,0 | 64,6 | 63,6 | 83,8 |
| 25 | 95,4 | 54,7 | 64,9 | 54,7 | 64,9 |
| 10 | 88,8 | 24,1 | 27,8 | 24,1 | 27,8 |

Notas:

- (*) No se registran valores pues son lecturas de fin de semana.
- Los valores de CBR para la curva de 56 golpes fueron corregidos por curvatura según norma.

No. de informe: I-1334-16

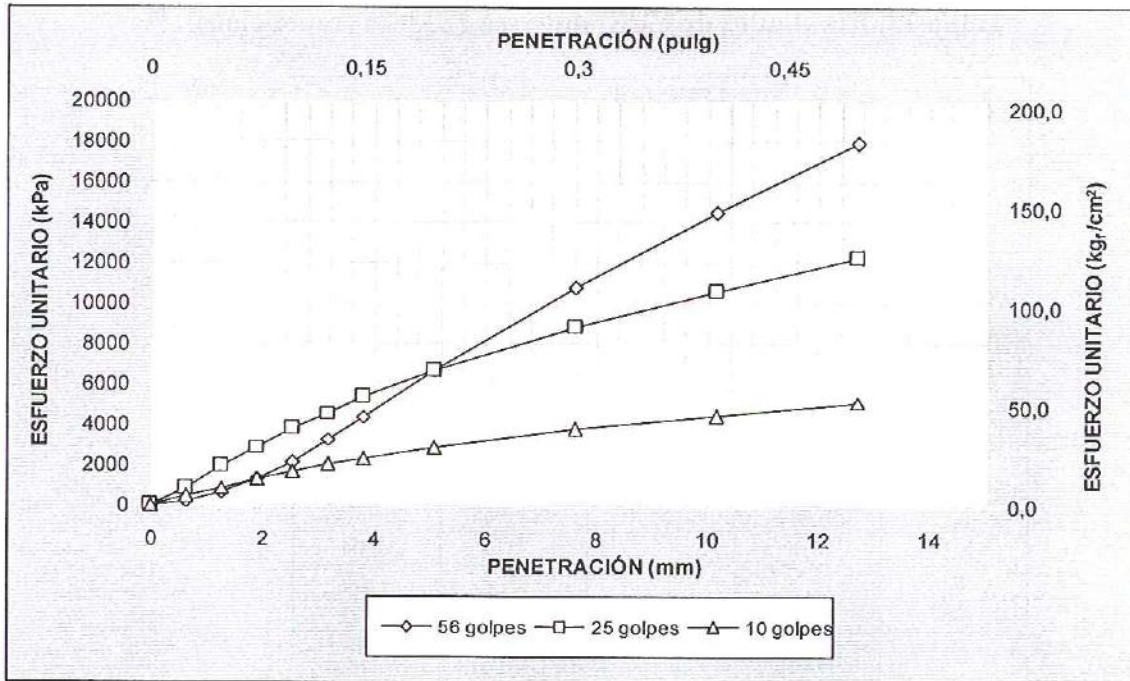


Gráfico 9. Esfuerzo unitario contra penetración, muestra 2253-16 (repetición).

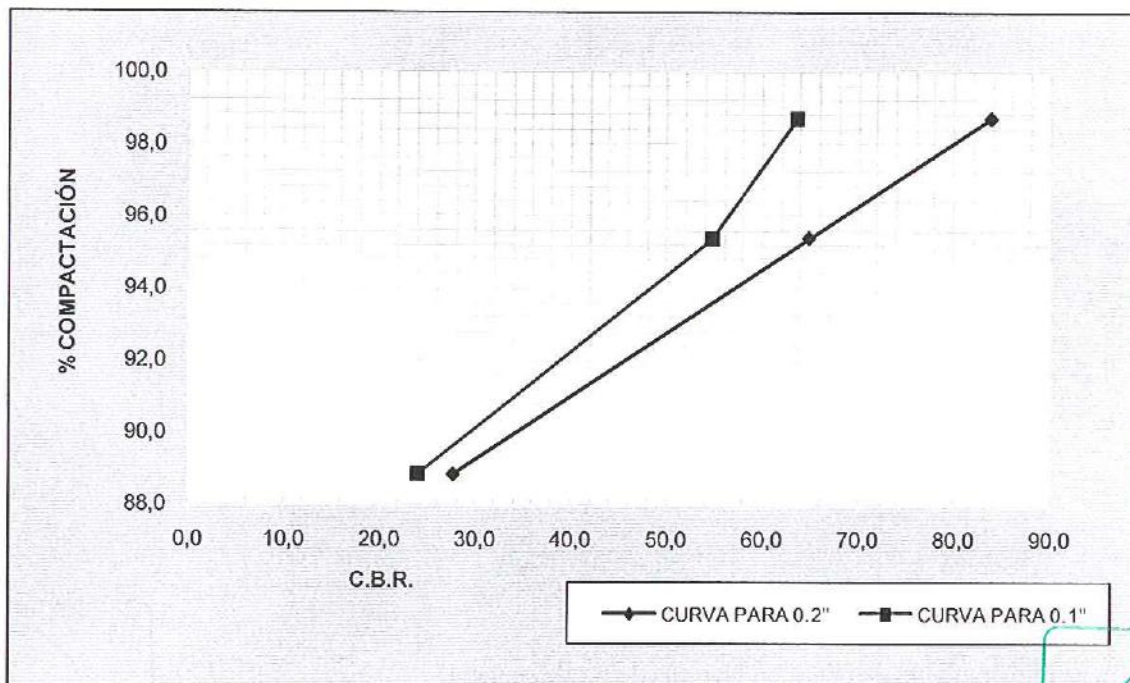


Gráfico 10. Porcentaje de compactación contra CBR, muestra 2253-16 (repetición).

No. de informe: I-1334-16

Tabla 14. Resultados de CBR, muestra 2255-16.

| SIMBOLOGÍA | | | | |
|------------|---|--|--|--|
| δs | Densidad seca | | | |
| C | Porcentaje de compactación | | | |
| W | Porcentaje de humedad en cada espécimen | | | |
| * | No se tomaron lecturas de deformación | | | |

| GOLPES | MOLDE | δs (kg/m ³) | C (%) | W (%) |
|--------|-------|------------------------------------|----------|----------|
| 56 | 55 | 2030 | 98,7 | 10,7 |
| 25 | 56 | 1943 | 94,4 | 10,4 |
| 10 | 58 | 1824 | 88,6 | 10,3 |

| MOLDE | % EXPANSIÓN | | | |
|-------|-------------|----------|----------|----------|
| | 24 horas | 48 horas | 72 horas | 96 horas |
| 55 | * | * | 0,07 | 0,07 |
| 56 | * | * | 0,05 | 0,06 |
| 58 | * | * | 0,03 | 0,04 |

| PENETRACIÓN (mm) | ESFUERZO UNITARIO DE COMPACTACIÓN MOLDES | | |
|---------------------|---|-------------|-------------|
| | 55 (kPa) | 56 (kPa) | 58 (kPa) |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,64 | 319 | 1233 | 558 |
| 1,27 | 982 | 2096 | 921 |
| 1,91 | 1882 | 2805 | 1160 |
| 2,54 | 2715 | 3397 | 1339 |
| 3,18 | 3542 | 3961 | 1510 |
| 3,81 | 4433 | 4450 | 1665 |
| 5,08 | 6167 | 5400 | 1925 |
| 7,62 | 9174 | 6949 | 2376 |
| 10,2 | 11856 | 8319 | 2828 |
| 12,7 | 14448 | 9570 | 3301 |

| No. GOLPES | C (%) | % CBR CALCULADO | | % CBR CORREGIDO | |
|------------|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | 0,1 pulg 2,54 mm | 0,2 pulg 5,08 mm | 0,1 pulg 2,54 mm | 0,2 pulg 5,08 mm |
| 56 | 98,7 | 39,3 | 59,9 | 48,5 | 55,6 |
| 25 | 94,4 | 49,2 | 52,4 | 49,2 | 52,4 |
| 10 | 88,6 | 19,4 | 18,7 | 19,4 | 18,7 |

Notas:

- (*) No se registran valores pues son lecturas de fin de semana.
- Los valores de CBR para la curva de 56 golpes fueron corregidos por curvatura según norma.

No. de informe: I-1334-16

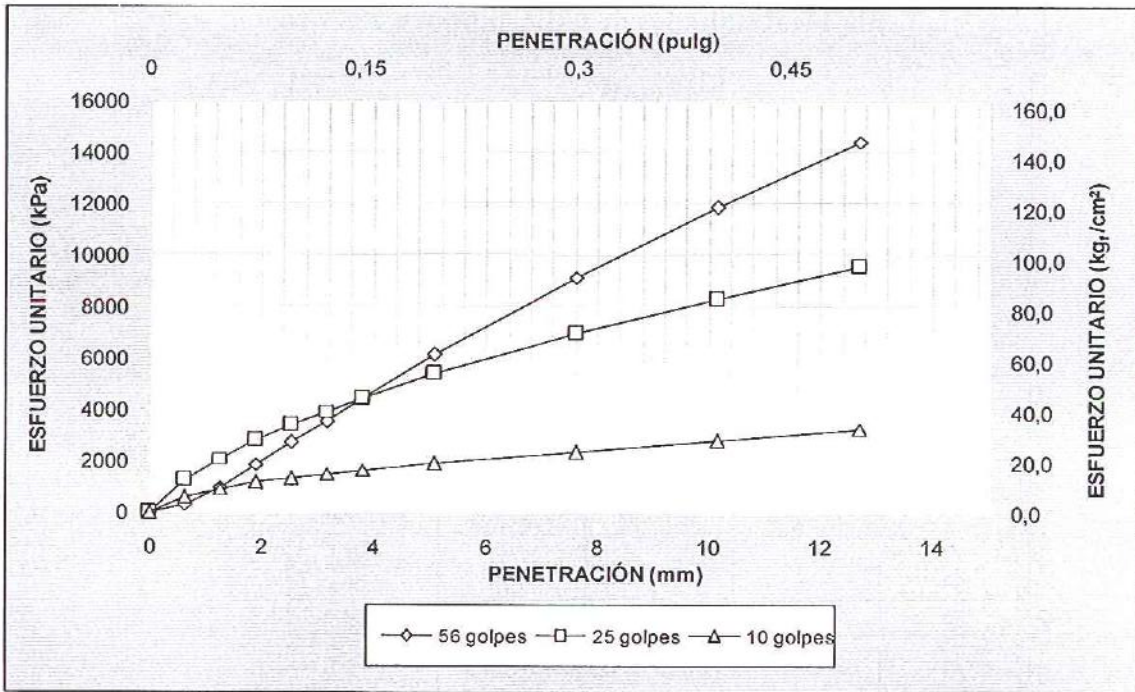


Gráfico 11. Esfuerzo unitario contra penetración, muestra 2255-16.

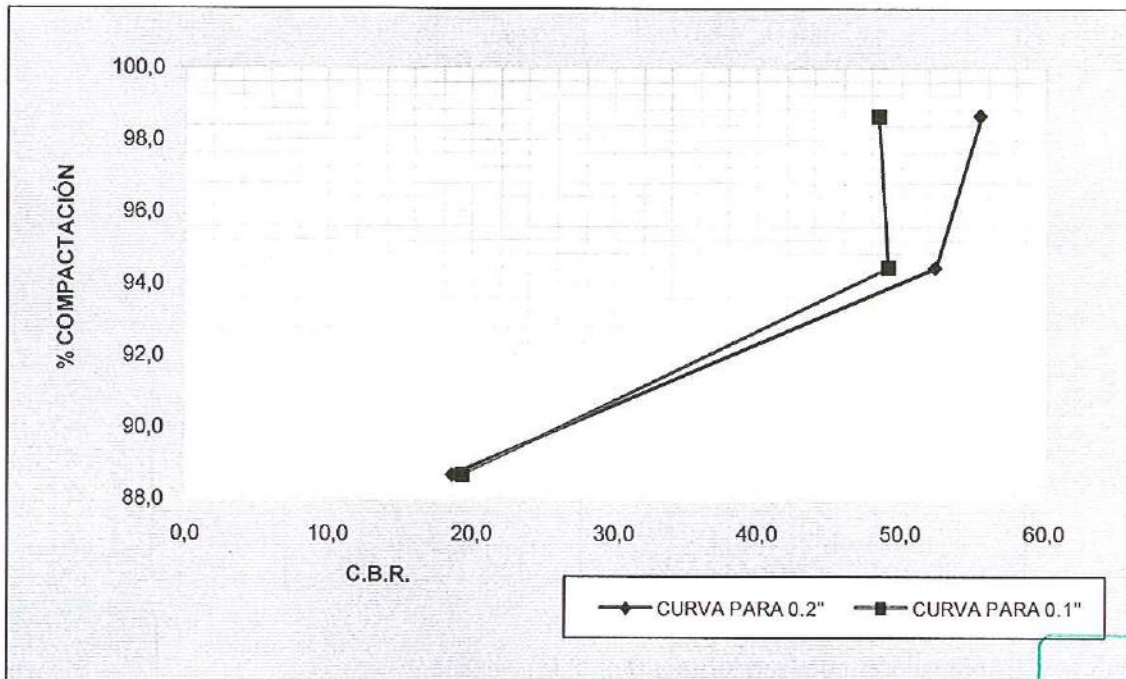


Gráfico 12. Porcentaje de compactación contra CBR, muestra 2255-16.

No. de informe: I-1334-16

Tabla 15. Resultados de CBR, muestra 2255-16 (repetición).

| SIMBOLOGÍA | | | | |
|------------|---|--|--|--|
| δs | Densidad seca | | | |
| C | Porcentaje de compactación | | | |
| W | Porcentaje de humedad en cada espécimen | | | |
| * | No se tomaron lecturas de deformación | | | |

| GOLPES | MOLDE | δs (kg/m ³) | C (%) | W (%) |
|--------|-------|------------------------------------|----------|----------|
| 56 | 50 | 2034 | 98,8 | 10,8 |
| 25 | 52 | 1945 | 94,5 | 10,2 |
| 10 | 57 | 1790 | 87,0 | 10,7 |

| MOLDE | % EXPANSIÓN | | | |
|-------|-------------|----------|----------|----------|
| | 24 horas | 48 horas | 72 horas | 96 horas |
| 50 | * | * | 0,11 | 0,10 |
| 52 | * | * | 0,04 | 2,62 |
| 57 | * | * | 0,04 | 0,03 |

| PENETRACIÓN (mm) | ESFUERZO UNITARIO DE COMPACTACIÓN MOLDES | | |
|---------------------|---|-------------|-------------|
| | 50 (kPa) | 52 (kPa) | 57 (kPa) |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,64 | 325 | 1247 | 242 |
| 1,27 | 976 | 2249 | 442 |
| 1,91 | 1970 | 3210 | 646 |
| 2,54 | 3006 | 4066 | 818 |
| 3,18 | 4034 | 4814 | 994 |
| 3,81 | 5050 | 5459 | 1136 |
| 5,08 | 6921 | 6589 | 1397 |
| 7,62 | 10219 | 8331 | 1839 |
| 10,2 | 13039 | 9790 | 2224 |
| 12,7 | 15805 | 11181 | 2606 |

| No. GOLPES | C (%) | % CBR CALCULADO | | % CBR CORREGIDO | |
|------------|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | 0,1 pulg 2,54 mm | 0,2 pulg 5,08 mm | 0,1 pulg 2,54 mm | 0,2 pulg 5,08 mm |
| 56 | 98,8 | 43,5 | 67,2 | 58,4 | 76,2 |
| 25 | 94,5 | 58,9 | 64,0 | 58,9 | 64,0 |
| 10 | 87,0 | 11,9 | 13,6 | 11,9 | 13,6 |

Notas:

- (*) No se registran valores pues son lecturas de fin de semana.
- Los valores de CBR para la curva de 56 golpes fueron corregidos por curvatura según norma.

No. de informe: I-1334-16

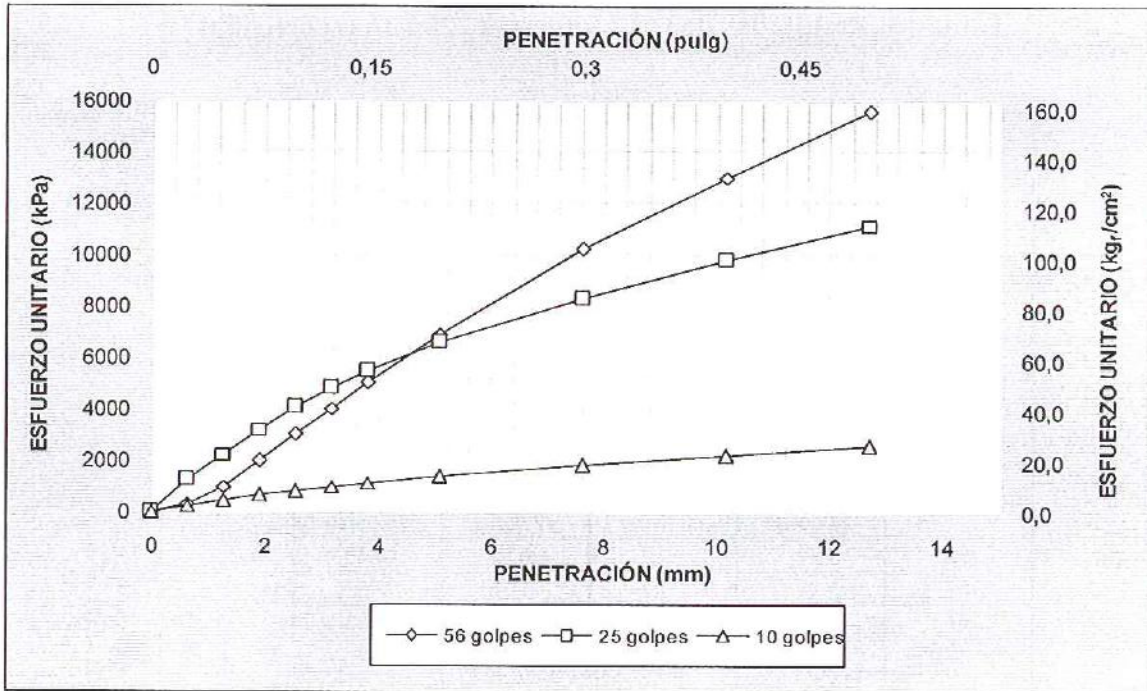


Gráfico 13. Esfuerzo unitario contra penetración, muestra 2255-16 (repetición).

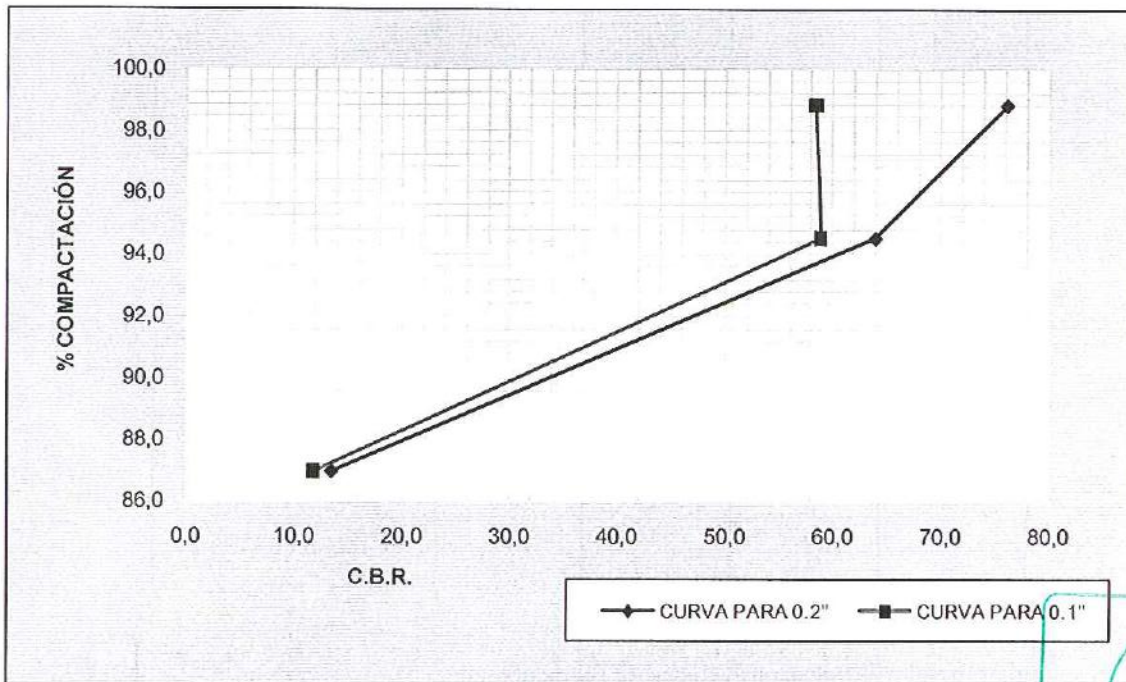


Gráfico 14. Porcentaje de compactación contra CBR, muestra 2255-16 (repetición).

No. de informe: I-1334-16

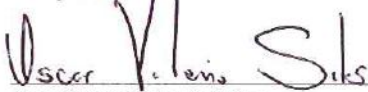
Notas:

- Se presenta la repetición del ensayo de CBR, para las muestras M-2253-16 y M-2255-16, según lo establece la norma debido a que los valores de CBR para la curva de 0,2" (5,08 mm) son mayores que los valores para la curva de 0,1" (2,54 mm) de penetración.

Aclaraciones:

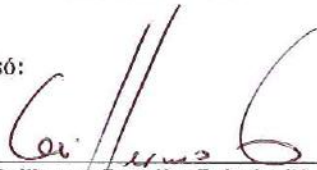
- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para las muestras indicadas en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Preparó:



Ing. Oscar Valerio Salas
Jefe Laboratorio de Geotecnia

Revisó:



Ing. Guillermo González Beltrán, Ph.D.
Coordinador General de Laboratorios

Aprobó:

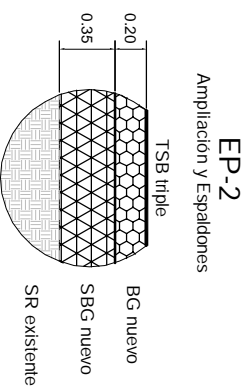
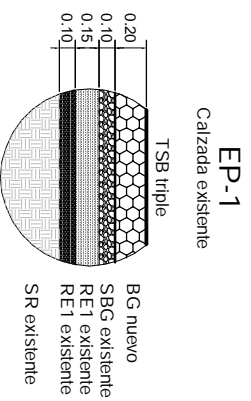
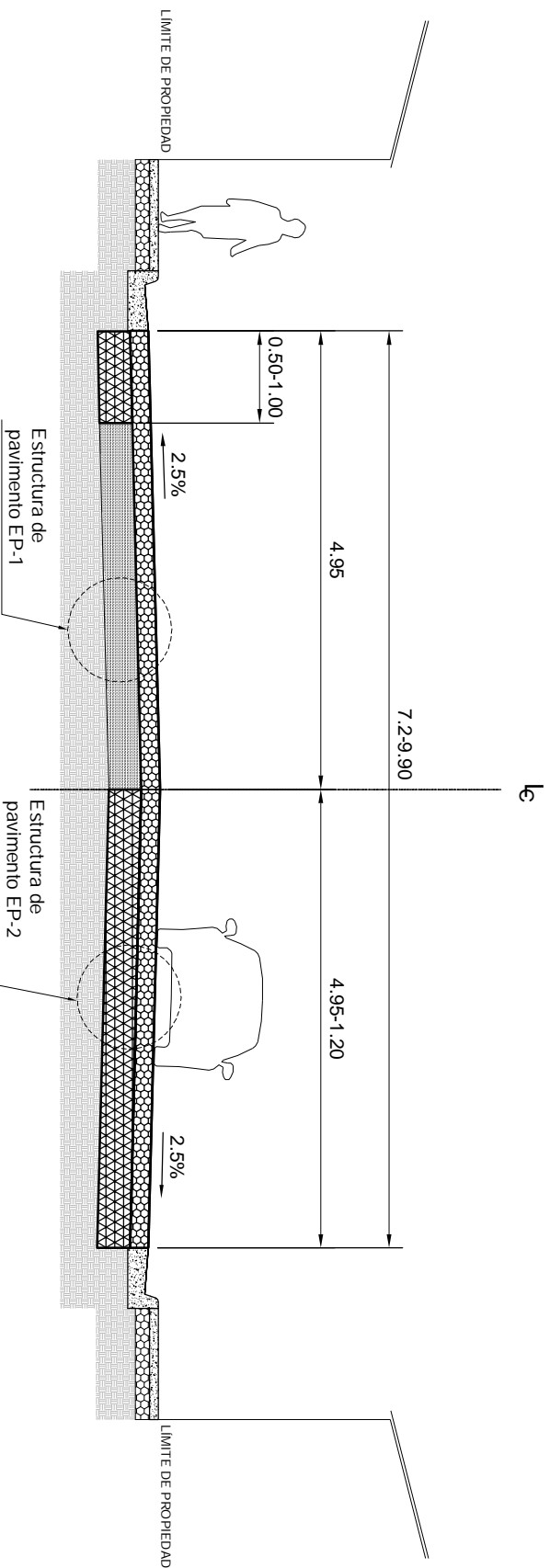


Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR

| Anexo | Contenido |
|-------|--|
| 3 | Secciones Transversales y estructuras de pavimento |

Sección Transversal

Tramo 1 Est 0+000-0+090



Camino C1-016-013-00

De: ENT.N.320 Bijagual

A: ENT.C.096 Jaco-Acceso Lajas

Distrito: Bijagual

Cantón: Upala

Provincia: San José



Universidad de Costa Rica

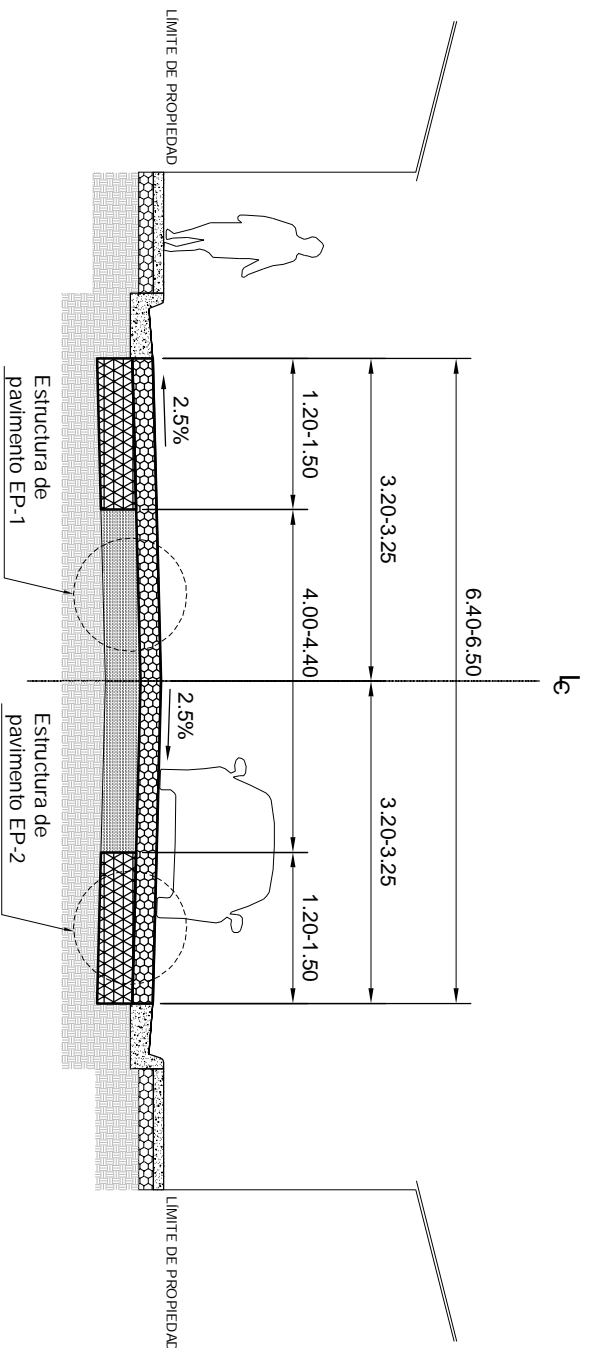
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Programa de Infraestructura del Transporte (PIIRA)
Unidad de Gestión Municipal (UGM)

Escala: 1:75

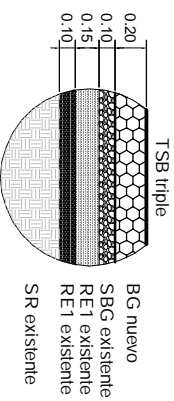
Octubre 2016

Sección Transversal

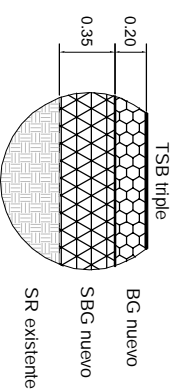
Tramo 2 Est 0+090-0+430



EP-1
Calzada existente



EP-2
Ampliación y Espaldones



Camino C1-016-013-00

De: ENT.N.320 Bijagual

A: ENT.C.096 Jaco-Acceso Lajas

Distrito: Bijagual

Cantón: Upala

Provincia: San José



Universidad de Costa Rica

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte (PIIRA)

Unidad de Gestión Municipal (UGM)

Escala: 1:75

Octubre 2016