

**METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL
DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA
REUTILIZACIÓN DEL RAP**



ANEXO No 1

**FICHAS PROPUESTAS PARA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA
(Explicación detallada de los sub-procesos y modelo de fichas)**

Andrés Ricardo Ibarra Enríquez, Ing.

Orientador: Ferney Quiñones Sinisterra, Ph.D.

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
INSTITUTO DE POSTGRADO EN INGENIERÍA CIVIL
MAestrÍA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS**

TABLA DE CONTENIDO

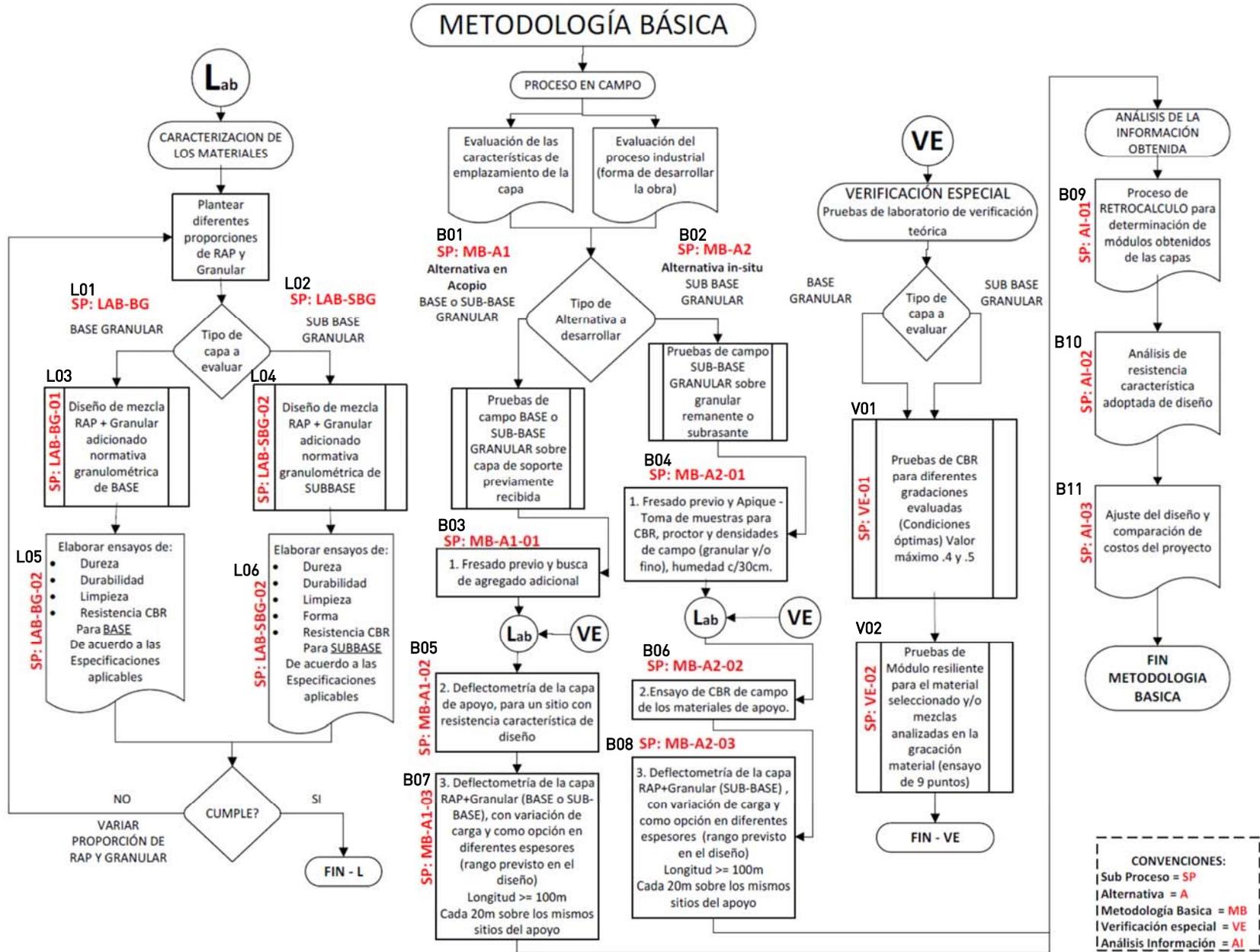
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA.....	3
1. B01, SP-MB-A1: Evaluación de emplazamiento de la capa y del proceso industrial – Proyectos de Mejoramiento y B02, SP-MB-A2, para proyectos de rehabilitación.....	5
2. B03, SP-MB-A1-01: Desarrollo Prueba piloto fresado y recomendación agregado adicional o B04, SP-MB-A1-02, para proyectos de rehabilitación.....	8
3. L01, SP: LAB-BG: Identificación y resultados de caracterización en laboratorio para base granular o L02, SP: LAB-SBG, para sub-base granular.....	11
4. L03, SP: LAB-BG-01: Diseño de mezcla para base granular o L04, SP: LAB-SBG-01, para sub-base granular.....	14
5. L05, SP: LAB-BG-02: Caracterización de los materiales para base granular o L06, SP: LAB-SBG-02, para sub-base granular.....	17
6. V01, SP: VE-01: Comparación de CBR para diferentes proporciones de RAP y material granular adicionado.....	20
7. V02, SP: VE-02: Evaluación de resistencia mediante el ensayo de Módulo Resiliente.....	22
8. B05, SP: MB-A1-02: Determinación de resistencia de capas de apoyo - Deflectometría – Alternativa de Acopio.....	28
9. B06, SP: MB-A2-02: Determinación de resistencia de capas de apoyo -CBR.....	32
10. B07, SP: MB-A1-03: Ensayos de deflectometría de la capa granular con RAP – Alternativa de acopio y B08, SP:MB-A2-03, para la alternativa In-situ.....	38
11 B09, SP: AI-01: Recopilación de datos de resistencia de las capas y análisis de Retrocalculo.....	42

ANEXO No 1

METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES
DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP

12. B10, SP: AI-02: Análisis de resistencia característica adoptada para el diseño.....	50
13. B11, SP: AI-03: Ajuste del diseño y comparación de costos.	56
BIBLIOGRAFÍA.....	60

METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP



Grafica Metodología básica para reutilizar el RAP como insumo de capas de Base y Sub-base granular.

Fuente: Elaboración propia.

1. B01, SP-MB-A1: Evaluación de emplazamiento de la capa y del proceso industrial – Proyectos de Mejoramiento y B02, SP-MB-A2, para proyectos de rehabilitación.

El objeto de estos reportes es la consignación de la evaluación de emplazamiento de la capa granular a ser candidata para ser reutilizada en ella el RAP como insumo para su elaboración en la alternativa de MEJORAMIENTO o REHABILITACIÓN; para lo cual se debe analizar lo siguiente:

- Las condiciones del proyecto geométrico del proyecto, tanto en planta como en perfil para determinar si es viable o no el acopio y su aprovechamiento posterior, determinándose si es factible fresar el material y si para hacerlo se tiene acceso a los sitios donde se desarrolle el fresado y acopio.
- La evaluación de condiciones del pavimento existente, para efecto de determinar si la cantidad y características del material a extraer serían apropiadas para el desarrollo de la actividad.
- Realizar una valoración de costos del aprovechamiento del material combinado Material RAP – Granular adicionado frente disponer únicamente material de fuentes de materiales para el proyecto.
- Y por último, evaluar la viabilidad desde el punto de vista administrativo – legal del contrato donde se desarrolle, determinándose el procedimiento a seguir.

	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ	Proyecto: Mejoramiento de de la carretera XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX, departamento de XXXXXX.	Alternativa: En acopio Fuentes: RAP: - PR XXXX al PR XXX (XXX) Base Granular: Fuente XXXX	Formato: SP: MB-A1 Descripción: Evaluación de emplazamiento de la capa y del proceso industrial
---	---	---	--	---

EVALUACIÓN DE EMPLAZAMIENTO DE LA CAPA Y DEL PROCESO INDUSTRIAL

Objeto: El presente reporte es la consignación de la evaluación de emplazamiento de la capa granular a ser candidata para ser reutilizada en ella el RAP como insumo para su elaboración.

Tipo de proyecto: Mejoramiento **Alcance del proyecto:** Rectificación del trazado en un 40%, afectación trazado horizontal y vertical.

ENTRADAS Y SALIDAS

1) Evaluación de condiciones del proyecto geométrico del proyecto :

Se evalúa geométricamente la posibilidad de aprovechar el RAP como material para aprovechamiento en función de su emplazamiento:

CARACTERÍSTICA DEL TRAZADO	% DESICIÓN	SE CONSERVA DISEÑO EXISTENTE?	EL TRAZADO NUEVO ESTA CERCA DEL EXISTENTE?	PROPORCIÓN DEL ANCHO DE CALZADA NUEVA VS ANTIGUA?	SE REQUIERE FRESAR LA CAPA ASFALTICA?	VIABLE UTILIZAR RAP EN ACOPIO?
Diseño en planta Vs Geometría existente	70	SOLO EL 60%	SI, se tiene acceso 100%	80%	SI	Económicamente es viable el acopio y su aprovechamiento posterior.
Diseño vertical Vs Geometría existente	30	NO, 100%	No se puede utilizar directo, 100%	N.A.		

2) Evaluación de condiciones del pavimento existente :

Se evalúa la posibilidad de aprovechar el RAP como material para aprovechamiento en función del estado del pavimento existente:

CARACTERÍSTICA DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE	% IMPORTANCIA	ESPESOR DISPONIBLE	GRADO DE DETERIORIO	HISTORIAL DE LA ÚLTIMA INTERVENCIÓN	CARACTERÍSTICA DE LOS AGREGADOS	VIABLE UTILIZAR RAP EN ACOPIO?
CARPETA ASFALTICA	80	20 cm	Fisuración PC, 40%.	Se construyó hace 10 años de forma continua.	De buena calidad	Técnicamente es apropiado, suficiente cantidad y adecuadas características.
GRANULARES	20	40 cm	Se prevé contaminación de los granulares	Se construyó hace 10 años de forma continua.	Deficiente, Partículas redondeadas.	

3) Evaluación económica respecto al costo de los materiales y fuentes de materiales :

Se compara los costos del RAP de la capa asfáltica antigua con el material granular en función de sus costos de disposición en la obra:

ORIGEN DE LOS MATERIALES	COSTO PRODUCCIÓN \$/(M3)	COSTO DE TRANSPORTE \$/(m3/Km)	CALIDAD ESPERADA	COSTO ADICIONAL POR MEZCLA \$/(m3)	DISPONIBILIDAD	VIABLE UTILIZAR RAP EN ACOPIO?
RAP	35,382	3,000	Insumo BG-40	Acopio y mezcla: 5.000	INMEDIATA	Económicamente es viable evaluarlo para la posterior utilización como insumo de la Base
DE LA FUENTE DE MATERIALES (A 41 Km del sitio de la obra)	48,760	61,500	BG-40	0	Depende del transporte y producción	

4) Proceso administrativo :

Se debe proponer los precios unitarios no previsto en el contrato, lo cual implica la gestión documental y proceso de caracterización y diseño. Ventajas para el ejecutor: Desarrollo inmediato y menores costos de operación; ventajas para el contratante: Disminución del costo de la obra e incremento de las metas físicas.

5) Proceso industrial previsto :

- Disponer de un lote acondicionado con suficiente espacio y adecuación de una ramada para la disposición del material.
- Peveer dispositivos de mezclado en el acopio como puede ser una planta de producción continua de de concreto que pueda utilizarse para ambas gestiones.
- Fresar previamente el material antes de las explanaciones hasta un espesor menor del total de la carpeta asfáltica existente.
- hacer fase de experimentación con el equipo de fresado, caracterización y diseño de mezcla.

Elaboró:

Nombre:

Revisó:

Nombre:

Aprobó:

Nombre:

	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ	Proyecto: Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto- Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño.	Alternativa: In situ Fuentes: RAP: - PR 94+0960 al PR 97 (2502) Base Granular: Galindez PR 11	Formato: SP: MB-A2 Descripción: Evaluación de emplazamiento de la capa y del proceso industrial
---	---	---	--	---

EVALUACIÓN DE EMPLAZAMIENTO DE LA CAPA Y DEL PROCESO INDUSTRIAL

Objeto: El presente reporte es la consignación de la evaluación de emplazamiento de la capa granular a ser candidata para ser reutilizada en ella el RAP como insumo para su elaboración.

Tipo de proyecto: Rehabilitación **Alcance del proyecto:** Reconstruir la estructura del pavimento y disponer de drenaje y subdrenaje.

ENTRADAS Y SALIDAS

1) Evaluación de condiciones del proyecto geométrico del proyecto :

Se evalúa geométricamente la posibilidad de aprovechar el RAP como material para aprovechamiento en función de su emplazamiento:

CARACTERÍSTICA DEL TRAZADO	% DECISIÓN	SE CONSERVA DISEÑO EXISTENTE?	EL TRAZADO NUEVO ESTA CERCA DEL EXISTENTE?	PROPORCIÓN DEL ANCHO DE CALZADA NUEVA VS ANTIGUA?	SE REQUIERE FRESAR LA CAPA ASFÁLTICA?	VIABLE UTILIZAR RAP EN ACOPIO O IN SITU?
Diseño en planta Vs Geometría existente	70	SI, 100%	SI, se tiene acceso 100%	100%	SI	Económicamente es viable en acopio o utilizar In situ.
Diseño vertical Vs Geometría existente	30	NO, 100%	Si se puede utilizar directo, 100%	N.A.		

2) Evaluación de condiciones del pavimento existente :

Se evalúa la posibilidad de aprovechar el RAP como material para aprovechamiento en función del estado del pavimento existente:

CARACTERÍSTICA DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE	% IMPORTANCIA	ESPESOR DISPONIBLE	GRADO DE DETERIORIO	HISTORIAL DE LA ÚLTIMA INTERVENCIÓN	CARACTERÍSTICA DE LOS AGREGADOS	VIABLE UTILIZAR RAP EN ACOPIO O IN SITU?
CARPETA ASFÁLTICA	80	15 cm	Fisuración PC y deformaciones, 70%.	Se construyó hace 13 años de forma continua.	De aceptable calidad	Por las deficiencias de pavimento existente se prevé variabilidad del material. Preferiblemente in situ, por menores costos y como Sub-base
GRANULARES	20	40 cm	Se prevé contaminación de los granulares	Se construyó hace 13 años de forma continua.	Deficiente, Partículas redondeadas.	

Nota: La condición superficial del pavimento por su alto deterioro y previsible variedad de espesor por sobre parcheos, hace prever que el fresado disponga deficiencias y considerable variabilidad que solo permita usarse en una capa menos exigente como es la sub-base granular.

3) Evaluación económica respecto al costo de los materiales y fuentes de materiales :

Se compara los costos del RAP de la capa asfáltica antigua con el material granular en función de sus costos de disposición en la obra:

ORIGEN DE LOS MATERIALES	COSTO PRODUCCIÓN \$/(M3)	COSTO DE TRANSPORTE \$/(m3/Km)	CALIDAD ESPERADA	COSTO ADICIONAL POR MEZCLA \$/(m3)	DISPONIBILIDAD	VIABLE UTILIZAR RAP EN ACOPIO?
RAP	35,382	0	Insumo SBG-50	Mezcla en vía \$3.500	INMEDIATA	Económicamente es viable evaluarlo para la posterior utilización como insumo de la Sub-Base
DE LA FUENTE DE MATERIALES (A 41 Km del sitio de la obra)	38,000	61,500	SBG-38	0	Depende del transporte y producción	

4) Proceso administrativo :

El precio unitario de la actividad está incluida en el contrato, pero se requiere el diseño e implementación del protocolo de implementación, lo cual implica el proceso de caracterización y diseño. Ventajas para el ejecutor: Desarrollo inmediato y menores costos de operación; ventajas para el contratante: Disminución del costo de la obra e incremento de las metas físicas.

5) Proceso industrial previsto :

- Fresar previamente el material posterior a la construcción de filtros para evitar que se contamine el material, hasta el espesor del total de la carpeta asfáltica existente y en ello se debe evaluar el tamaño del material esperado.
- Hacer fase de experimentación con el equipo de fresado, caracterización y diseño de mezcla.

Elaboró:

Nombre:

Revisó:

Nombre:

Aprobó:

Nombre:

2. B03, SP-MB-A1-01: Desarrollo Prueba piloto fresado y recomendación agregado adicional o B04, SP-MB-A1-02, para proyectos de rehabilitación.

Una vez definida la alternativa a desarrollar, en esta ficha se reporta el análisis requerido de la actividad del fresado en una prueba piloto, determinándose las características del RAP y las características del material para la adición; para lo cual se debe analizar lo siguiente:

- La evaluación del estado físico y características de la fresadora para verificar su idoneidad.
- Las condiciones del pavimento existente, para determinar según su estado y espesor la necesidad de realizar una o varias pasadas de la fresadora.
- La evaluación de las características de los materiales disponibles para adición del RAP y sus costos, para ello se debe observar la posibilidad de disponer de materiales finos o gruesos, el emplazamiento de las fuentes y el costo de disponer el material en el sitio de la obra, se debe tener en cuenta lo expuesto en la Gráfica No 6. “Alternativas de reutilización del RAP, toda vez que según la alternativa adoptada se debe evaluar si la actividad a desarrollar puede ser implementada para capas de base o sub-base granular.
- Finalmente, determinar si la prueba piloto del equipo disponible, garantiza el correcto desarrollo y con base a lo observado en campo para tomar muestras para analizar en laboratorio para su caracterización y diseño de mezcla.

	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ	Proyecto: Mejoramiento de de la carretera XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX, departamento de XXXXXX.	Alternativa: En acopio Fuentes: RAP: - PR XXX al PR XXX (XXXX) Base Granular: Fuente X	Formato: SP: MB-A1-01 Descripción : Desarrollo Prueba piloto fresado y recomendación agregado adicional
---	---	---	--	---

DESARROLLO PRUEBA PILOTO FRESADO Y RECOMENDACIÓN AGREGADO ADICIONAL

Objeto: El presente reporte corresponde al análisis requerido de la actividad del fresado y las características esperadas del RAP y la estimación del material requerido para la adición.

Tipo de proyecto: Mejoramiento **Alcance del proyecto:** Rectificación del trazado en un 40%, afectación trazado horizontal y vertical.

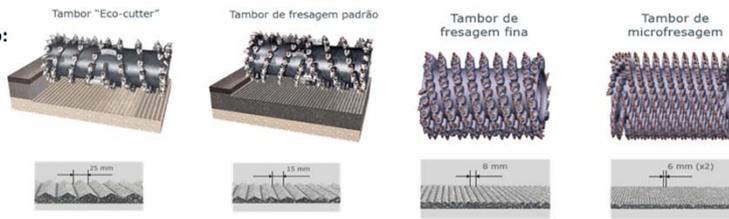
ENTRADAS Y SALIDAS

1) Evaluación del fresado en función del equipo disponible :

Con objeto de establecer las dimensiones del material fresado se hace el siguiente análisis:

1.1 Fresadora disponible: W100 WIRTGEN Ancho de fresado: 1000 mm Profundidad fresado : 0 - 300mm Picas: 100 Und

Tambor de fresado:



X - Diam. 930mm

Tipo de Pica y estado:

Concreto **X: Buena**
 Asfalto



1.2 Condiciones del pavimento existente :

Se evalúa las condiciones de la actividad del fresado según la máquina y las características del pavimento existente:

CONDICIONES DE FRESADO EN LA CARPETA	ESPESOR DISPONIBLE VS CAPACIDAD EQUIPO	GRADO DE DETERIORO	EFFECTO EN LOS COSTOS Y/O RENDIMIENTO	EFFECTO EN EL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DEL RAP	REPORTE DEL FRESADO OBTENIDO EN PRUEBAS	VENTAJAS (V:) Y DESVENTAJAS (D:)?
CARPETA ASFALTICA - UNA UNICA PASADA?	20 cm / Apto	Fisuración PC, 40%. Fisuración < 3 mm	En el costo No, el valor se paga por m3. Si se incrementa el rendimiento.	Teniendo en cuenta que el material está con fisuración de escaso espesor, la gradación no se afecta considerablemente. Pero se espera material grueso.	Gradación abierta, muy pocos conglomerados sin pulverizar	V: Mayor rendimiento. D: Por la gradación el material adicionado debe ser fino y ello induce a un mayor valor
CARPETA ASFALTICA - DOS PASADAS?	Cada 10 cm / Apto		En el costo No, el valor se disminuye el rendimiento y transporte.	Teniendo en cuenta que el material está con fisuración de escaso espesor, la gradación se afecta disminuyendose las partículas	Gradación cerrada, no se observan sobretamaños	V: El material para adicionar es de facil concocesión. D: Menor rendimiento

2) Evaluación de los materiales disponibles y sus costos :

Se evalúa las condiciones del material disponible para la adición al RAP:

ORIGEN DE LOS MATERIALES	COSTO \$(/M3)	COSTO DE TRANSPORTE \$(/m3/Obra)	ES POSIBLE QUE EN PLANTA SE ACONDICIONE GRADACIÓN	DISPONIBILIDAD	CARACTERISTICAS DE LA PLANTA EN CUANTO A OPERACIÓN ADECUADA Y CUMPLIMIENTO
BASE GRANULAR BG-40 - Fuente X	48,760	61,500	Si, puede volverse mas fina o mas gruesa	Suficiente disponibilidad	Aceptable
BASE GRANULAR BG-25 - Fuente X	55,000	61,500	No, el material pasa por una terciaria y dificilmente se acondiciona por producción	Proceso más dispendioso, de poca salida.	Aceptable

3) Conclusiones:

- Se acepta la prueba de fresado y las características del equipo ofrecido.
- Se acuerda realizar el fresado en dos (2) pasadas para evitar partículas conglomeradas.
- Dadas las características del fresado obtenido en las muestras de dos (2) pasadas, se observa la posibilidad de utilizar el material de la Fuente X tipo BG-40.
- Se envía materiales a laboratorio para diseño de gradación y caracterización.

Elaboró:

Revisó:

Aprobó:

Nombre:

Nombre:

Nombre:

	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ	Proyecto: Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto- Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño.	Alternativa: In situ Fuentes: RAP: - PR 94+0960 al PR 97 (2502) Base Granular: Galindez PR 11	Formato: SP: MB-A2-01 Descripción: Desarrollo Prueba piloto fresado, evaluación del material de adición y muestreo de capas de apoyo
---	---	---	--	--

DESARROLLO PRUEBA PILOTO FRESADO, EVALUACIÓN DEL MATERIAL DE ADICIÓN Y MUESTREO DE CAPAS DE APOYO

Objeto: El presente reporte corresponde al análisis requerido de la actividad del fresado y las características esperadas del RAP y la estimación del material requerido para la adición.

Tipo de proyecto: Rehabilitación **Alcance del proyecto:** Reconstruir la estructura del pavimento, construir el drenaje y subdrenaje.

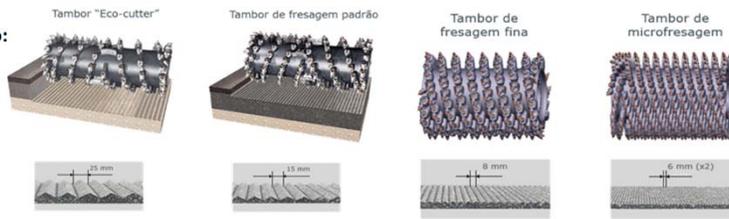
ENTRADAS Y SALIDAS

1) Evaluación del fresado en función del equipo disponible :

Con objeto de establecer las dimensiones del material fresado se hace el siguiente análisis:

1.1 Fresadora disponible: W100 WIRTGEN Ancho de fresado: 1000 mm Profundidad fresado : 0 - 300mm Picas: 100 Und

Tambor de fresado:



X - Diam. 930mm

Tipo de Pica y estado:

Concreto **X: Buena**
 Asfalto



1.2 Condiciones del pavimento existente :

Se evalúa las condiciones del fresado según la máquina y las características del pavimento existente:

CONDICIONES DE FRESADO EN LA CARPETA	ESPESOR DISPONIBLE Vs CAPACIDAD EQUIPO	GRADO DE DETERIORIO	EFFECTO EN LOS COSTOS Y/O RENDIMIENTO	EFFECTO EN EL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DEL RAP	REPORTE DEL FRESADO OBTENIDO EN PRUEBAS	VENTAJAS (V:) Y DESVENTAJAS (D:)?
CARPETA ASFALTICA - UNA UNICA PASADA?	15 cm / Apto	Fisuración PC y deformaciones, 70%. Fisuración > 3 mm, algunos desprendimientos.	En el costo No, el valor se paga por m3. Si se incrementa el rendimiento	Teniendo en cuenta que el material está con alta fisuración de considerable espesor, la gradación se afecta considerablemente. Se espera material grueso.	Gradación abierta, con considerable cantidad de partículas conglomerados sin pulverizar	V: Mayor rendimiento. D: La gradación obtenida se ve afectada por conglomerados
CARPETA ASFALTICA - DOS PASADAS?	Cada 7.5 cm / Apto		En el costo No, el valor se paga por m3. Si se disminuye el rendimiento y transporte	Teniendo en cuenta que el material está con alta fisuración de considerable espesor, la gradación se afecta disminuyendose las partículas	Gradación cerrada, no se observan sobretamaños	V: Se acondicionan las partículas a la gradación requerida. D: Menor rendimiento

2) Evaluación de los materiales disponibles y sus costos :

Se evalúa las condiciones del material disponible para la adición al RAP:

ORIGEN DE LOS MATERIALES	COSTO \$/(M3)	COSTO DE TRANSPORTE \$/(m3/Obra)	ES POSIBLE QUE EN PLANTA SE ACONDICIONE GRADACIÓN	DISPONIBILIDAD	CARACTERISTICAS DE LA PLANTA EN CUANTO A OPERACIÓN ADECUADA Y CUMPLIMIENTO
BASE GRANULAR SBG-50 - Fuente X	44,760	61,500	Si, puede volverse mas fina o mas gruesa	Suficiente disponibilidad	Aceptable
BASE GRANULAR SBG-38 - Fuente X	48,760	61,500	Si, puede volverse mas fina o mas gruesa	Con dificultad, material de poca salida.	Aceptable

3) Conclusiones:

1. Se acepta la prueba de fresado y las características del equipo ofrecido.
2. Se acuerda realizar el fresado en dos (2) pasadas para evitar partículas conglomeradas.
3. Dadas las características del fresado obtenido en las muestras de dos (2) pasadas, se observa la posibilidad de utilizar el material de la Fuente X tipo SBG-50.
4. Se envía materiales a laboratorio para diseño de gradación y caracterización.
5. Se toman muestras para clasificación, proctor y CBR de material de subrasante y granular remanente en dos (2) apiques sobre la zona de resistencia característica, se hacen ensayo de densidad.

Elaboró:

Revisó:

Aprobó:

Nombre:

Nombre:

Nombre:

3. L01, SP: LAB-BG: Identificación y resultados de caracterización en laboratorio para base granular o L02, SP: LAB-SBG, para sub-base granular.

En estos reportes se consignaría de la planificación y resultados de evaluación del proceso de laboratorio para identificar la gradación de la mezcla más adecuada, así como también la caracterización de los materiales que la conforman, previendo que para ello se debe haber realizado el diseño de mezcla mediante el sub-proceso L03, SP: LAB-BG-01 para base granular o L04, SP: LAB-BG-01, para Sub-Base Granular según el caso, y la consignación de resultados de caracterización de los materiales de RAP y granular a adicionar según la normativa aplicable mediante el reporte del proceso L05, SP: LAB-BG-02 para base granular o L06, SP: LAB-SBG-02, , para Sub-Base Granular según el caso, determinándose o no lo siguiente:

- El tipo de material a adicionar y su fuente.
- La proporción en volumen más adecuada de la mezcla de RAP y el material adicionado.
- El cumplimiento de las características de caracterización de los materiales evaluado, tanto de forma independiente o si fuese necesario de su mezcla.

 <p>Universidad del Cauca Facultad de Ingeniería Maestría en Ingeniería de Pavimentos</p>	<p>Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP</p> <p>Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ</p>	<p>Proyecto:</p> <p>XXX XXX XXX XXXXXXXXXX</p>	<p>Tipo de capa a evaluar: Base granular</p> <p>Fuentes: RAP: - XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX Sub-base Granular: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX</p>	<p>Formato: SP: LAB-BG</p> <p>Descripción: Identificación y resultados de caracterización en laboratorio</p>
--	--	---	--	---

IDENTIFICACIÓN Y RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN EN LABORATORIO

Objeto: El presente reporte es la consignación de la planificación y resultados de evaluación del proceso de laboratorio para identificar la gradación de la mezcla más adecuada así como también la caracterización de los materiales que la conforman.

Tipo de capa objeto: Base granular **Especificación:** INVIAS - 2013 - Artículo 330 - Base Granular

ENTRADAS

1) Materiales disponibles y sus características:

- 1.1. RAP** Material extraído de la carpeta asfáltica, fresado y dispuesto sobre patio para mezcla. Es de anotar que el estado del pavimento antes del fresado se encontraba entre regular y mal estado con alta fisuración. El material fresado se dispone de forma continuo totalmente fresado.
- 1.2. Base BG-38** Material proveniente de fuente aluvial, XXXXXXX, ubicado en XXXXX PR XX+0XXX Carretera XXXXXX. Procesado en una zona industrial apropiada con trituradora primaria de quijadas y trituradora secundaria de impacto. Con característica limpia y bien gradada.

SALIDAS

1) Proporciones evaluadas de gradación: Al respecto, se evalúan mezclas por medio del sub-proceso de diseño de gradación por peso y volumen; por peso con objeto de evaluar las condiciones de gradación de acuerdo a las especificaciones señadas y con volumen, considerándose que las proporciones se desarrollan por volumen en obra.

PROPORCION	FORMATO	CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	CUMPLE?
RAP 60% Y SB-38 40%	SP LAB-BG-01-01				
RAP 30% Y BG-38 70%	SP LAB-BG-01-02				

2) Caracterización de los materiales: Comparativo

Inicialmente se debe mencionar que el proyecto corresponde a un tráfico de diseño NT2, con lo cual el material requerido debe cumplir por lo menos las condiciones establecidas para CLASE X, en tal circunstancia se observa que:

CARACTERÍSTICA	REQUERIDO CLASE X	MATERIAL RAP	MATERIAL XXX	OBSERVACIONES
Dureza (O)				
Desgaste en la maquina de los Angeles (Gradacion A), maximo (%) - 500				
- 500 revoluciones				
- 100 revoluciones				
Degradacion por abrasion en el equipo Micro-Deval, maximo (%)				
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos				
- Valor en seco, mínimo (kN)				
- Relación húmedo/seco, mínimo (%)				
Durabilidad (O)				
Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos, maximo (%)				
- Sulfato de sodio				
- Sulfato de magnesio				
Limpieza (F)				
Límite líquido, maximo (%)				
Índice de plasticidad, maximo (%)				
Equivalente de arena, mínimo (%)				
Valor de azul de metileno, máximo				
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable, maximo (%)				
Geometría de las Partículas (F)				
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)				
Caras fracturadas, mínimo (%)				
- Una cara				
- Dos caras				
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)				
Resistencia del material (F)				
CBR (%):				

3. CONCLUSIONES:

Elaboró: _____
Nombre: _____

Revisó: _____
Nombre: _____

Aprobó: _____
Nombre: _____

	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ	Proyecto: Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto- Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño.	Tipo de capa a evaluar: Sub-base granular Fuentes: RAP: - PR 94+0960 al PR 95+0120 (2502) Sub-base Granular: Galindez PR 11	Formato: SP: LAB-SBG Descripción : Identificación y resultados de caracterización en laboratorio
---	---	---	---	--

IDENTIFICACIÓN Y RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN EN LABORATORIO

Objeto: El presente reporte es la consignación de la planificación y resultados de evaluación del proceso de laboratorio para identificar la gradación de la mezcla más adecuada así como también la caracterización de los materiales que la conforman.

Tipo de capa objeto: Sub- Base granular **Especificación:** INVIAS - 2013 - Artículo 320 - Sub-Base Granular

ENTRADAS

1) Materiales disponibles y sus características:

- 1.1. RAP** Material extraído de la carpeta asfáltica, fresado y dispuesto sobre el mismo sitio después del fresado realizado a profundidad máxima de 15 cm con equipo idóneo y en buen estado tipo Fresadora en frío WIRTGEN W100 con potencia de 208 HP, 0.5m de ancho, 100 picas, 3 velocidades de 0.6 a 1.8 Km/h y capacidad máxima de 30 cm.
Es de anotar que el estado del pavimento antes del fresado se encontraba en mal estado con deterioros piel de cocodrilo y sobre parcheos.
El material fresado no se dispone de forma continuo totalmente fresado, se presentan desprendimientos de trozos sin pulverización.
- 1.2. Sub-Base SBG-50** Material proveniente de fuente aluvial, Rio Dos rios, ubicado en Galindez PR 11+0100 Carretera Mojarras - Popayán. Proceso en una zona industrial apropiada con trituradora primaria de quijadas y trituradora secundaria de impacto.
Con característica limpia y bien gradada.

SALIDAS

- 1) Proporciones evaluadas de gradación:** Al respecto, se evalúan mezclas por medio del sub-proceso de diseño de gradación por peso y volumen; por peso con objeto de evaluar las condiciones de gradación de acuerdo a las especificaciones señadas y con volumen, considerándose que las proporciones se evalúan por espesor de capas.

PROPORCIÓN	FORMATO	CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	CUMPLE?
RAP 60% Y SBG-50 40%	SP LAB-SBG-01-01				
RAP 30% Y SBG-50 70%	SP LAB-SBG-01-02				
RAP 100%	SP LAB-SBG-01-03				

2) Caracterización de los materiales: Comparativo

Inicialmente se debe mencionar que el proyecto corresponde a un tráfico de diseño NT2, con lo cual el material requerido debe cumplir por lo menos las condiciones establecidas para CLASE B, en tal circunstancia se observa que:

CARACTERÍSTICA	REQUERIDO CLASE B	MATERIAL RAP	MATERIAL SBG-50	OBSERVACIONES
Dureza (O)				
Desgaste - maquina de los Angeles (Gradacion A), 500 rev.	< 50	49	49	
Degradacion por abrasion en el equipo Micro-Deval	< 35	40	40	
Durabilidad (O)				
Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos, maximo (%)				
- Sulfato de sodio	< 12	11	11	
- Sulfato de magnesio	< 18	15	15	
Limpieza (F)				
Limite liquido, maximo (%)	< 25	23	23	
Indice de plasticidad, maximo (%)	< 6	4	4	
Equivalente de arena, minimo (%)	> 25	26	26	
Contenido de terrones de arcilla y particulas deleznales, maximo (%)	< 2	1	1	
Resistencia del material (F)				
CBR (%):	> 30	35	35	

3. CONCLUSIONES:

Elaboró:

Revisó:

Aprobó:

Nombre:

Nombre:

Nombre:

4. L03, SP: LAB-BG-01: Diseño de mezcla para base granular o L04, SP: LAB-SBG-01, para sub-base granular.

Considerándose la normativa aplicable, se procede a realizar la evaluación de la gradación en diferentes mezclas por peso y por volumen, para ello se debe realizar los ensayos de gradación, densidad aparente seco, absorción y proctor modificado (para determinar la humedad óptima) con objeto de calcular para cada tamiz el porcentaje en peso y su cumplimiento frente a la norma, así como también la proporción global en volumen, considerándose que en los proyectos viales el despacho y recepción de materiales se podría realizar en volumen, controlándose la humedad y demás características.



Proyecto de grado:
METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP
Autor:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ

Proyecto:
Mantenimiento y rehabilitación de la carretera XXXXXXXXXX sector XXXXXXXXXX Ruta XX Tramo XXXX, departamento de XXXXX.

Tipo de capa a evaluar:
Base granular
Fuentes:
RAP: - PR XXXXXX al PR XXXXXX (XXXX)
Base Granular: Fuente X y RAP

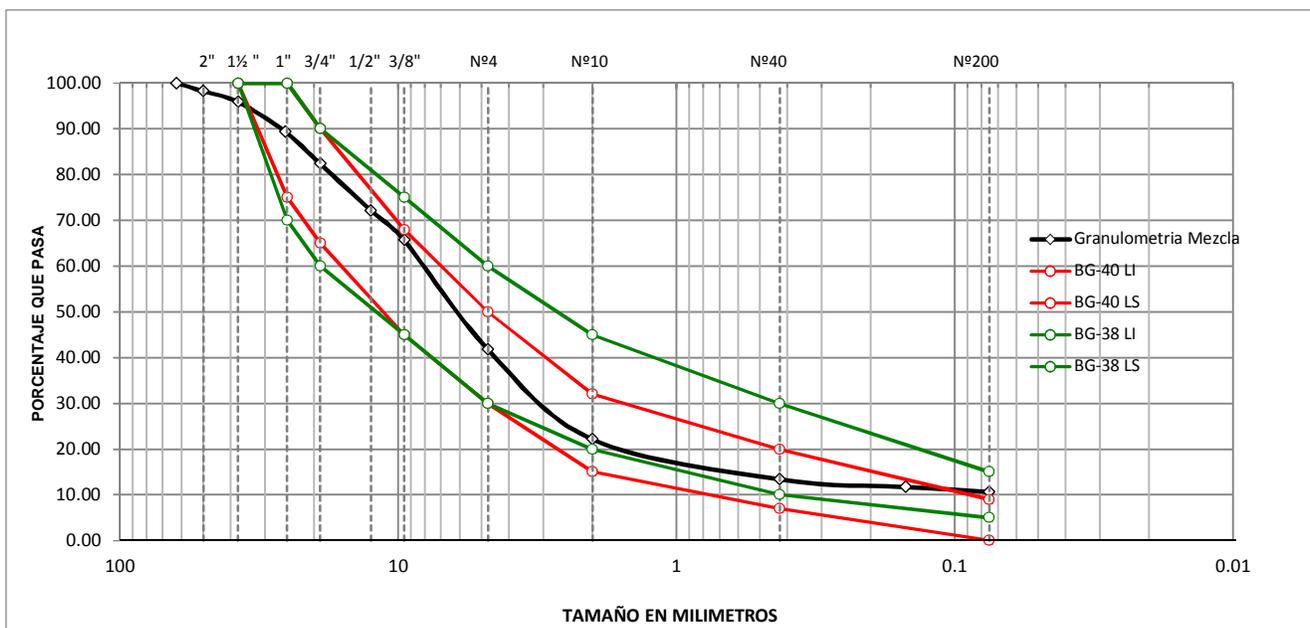
Formato:
SP: LAB-BG-01-01
Descripción:
DISEÑO DE MEZCLA

ESPECIFICACION: INVIAS 2013 - E.G: 330 - Base Granular

FECHA: 30/mar/2018

TAMIZ	ABERTURA (mm)	AGREGADO RAP	AGREGADO BG-38	AGREGADO AG No 2	% A. RAP 47.9	% BG-38 52.1	% AG No 2 0.0	% MEZCLA 100.0	MEZCLA 100% PASA
2½"	62.5	100.00	100.00		47.92	52.08	0.00	100.00	100.00
2"	50	96.32	100.00		46.15	52.08	0.00	98.24	98.24
1½"	37.5	91.42	100.00		43.80	52.08	0.00	95.89	95.89
1"	25.4	78.83	99.04		37.77	51.58	0.00	89.36	89.36
¾"	19	65.46	97.91		31.37	51.00	0.00	82.36	82.36
½"	12.5	47.98	94.29		22.99	49.11	0.00	72.10	72.10
3/8"	9.5	39.50	89.74		18.93	46.74	0.00	65.67	65.67
Nº4	4.75	26.59	55.77		12.74	29.05	0.00	41.79	41.79
Nº10	2	21.03	23.08		10.08	12.02	0.00	22.10	22.10
Nº40	0.425	17.63	9.41		8.45	4.90	0.00	13.35	13.35
Nº100	0.15	15.93	7.84		7.63	4.08	0.00	11.72	11.72
Nº200	0.075	14.37	7.19		6.88	3.75	0.00	10.63	10.63
Pasa No.200									

TAMICES



MEZCLA POR VOLUMEN:

Humedad de equilibrio u óptima (%):
2.5

CARACTERÍSTICA	Unidad	MATERIAL			Mezcla
		RAP	BG-38	AG No 2	
Proporción en peso	%	47.92	52.08		100.00
Densidad aparente seca	Kg/dm ³	2.3	2.5		2.40
Absorción	%	1.5	3.5		
Humedad natural	%	4	2		

En: 100.0 Kg...

Material	Prop. (%)	Masa seca (Kg.)	Masa Hum (Kg.)	Agua agre (Kg.)	Absorción (Kg.)	Agua libre (Kg.)	Aporte (Kg.)	Vol Abs. Mat. (dm ³)	% Vol. Seco
RAP	47.9	47.92	49.83	1.92	0.7	1.20	0.42	20.8	50.0
BG-38	52.1	52.08	53.12	1.04	1.8	-0.78		20.8	50.0
AG No 2	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00		0.0	0.0
Agua	2.5	2.50					2.08		100.0

OBSERVACIONES: _____

Ing. _____
Firma del responsable:



Proyecto de grado:
METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP
Autor:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ

Proyecto:
Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto- Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño.

Tipo de capa a evaluar:
Sub-Base granular
Fuentes:
RAP: - PR 94+0960 al PR 95+0120 (2502) departamento de Nariño.
Sub-base Granular: Galindez PR 11

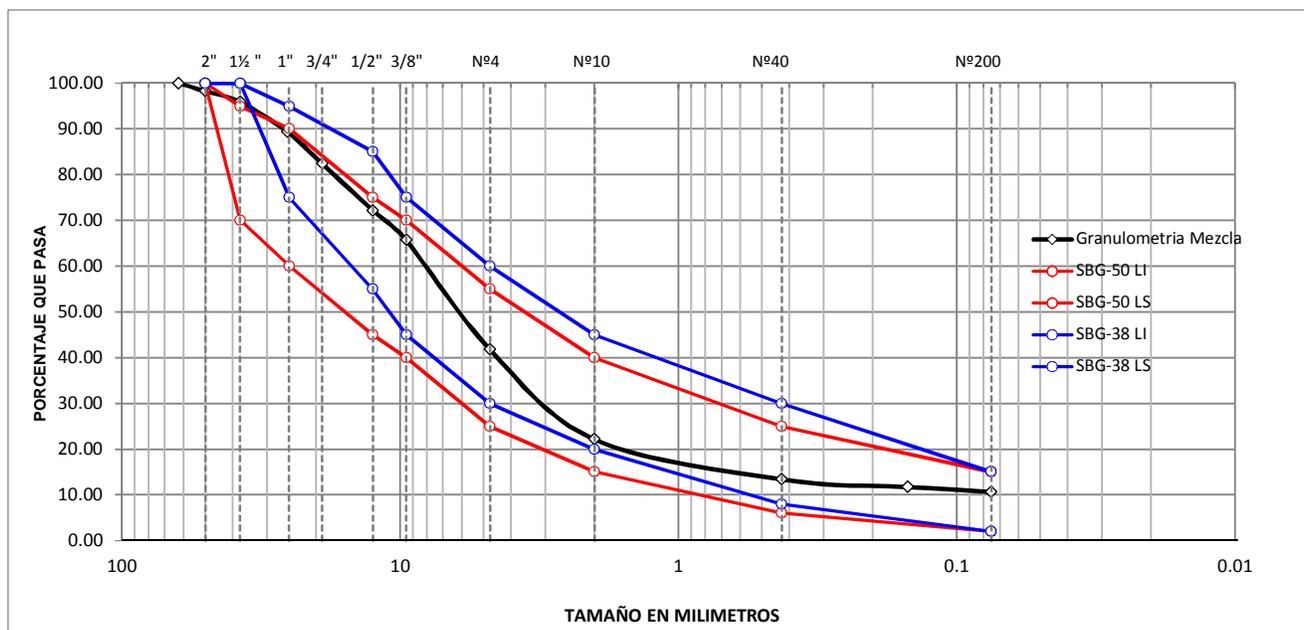
Formato:
SP: LAB-BG-01-01
Descripción:
DISEÑO DE MEZCLA

ESPECIFICACION: INVIAS 2013 - E.G: 320 - Sub-base granular

FECHA: 14/mar/2018

TAMIZ	ABERTURA (mm)	AGREGADO RAP	AGREGADO SBG-50	AGREGADO AG No 2	% A. RAP 47.9	% SBG-50 52.1	% AG No 2 0.0	% MEZCLA 100.0	MEZCLA 100% PASA
2½"	62.5	100.00	100.00		47.92	52.08	0.00	100.00	100.00
2"	50	96.32	100.00		46.15	52.08	0.00	98.24	98.24
1½"	37.5	91.42	100.00		43.80	52.08	0.00	95.89	95.89
1"	25.4	78.83	99.04		37.77	51.58	0.00	89.36	89.36
¾"	19	65.46	97.91		31.37	51.00	0.00	82.36	82.36
½"	12.5	47.98	94.29		22.99	49.11	0.00	72.10	72.10
3/8"	9.5	39.50	89.74		18.93	46.74	0.00	65.67	65.67
Nº4	4.75	26.59	55.77		12.74	29.05	0.00	41.79	41.79
Nº10	2	21.03	23.08		10.08	12.02	0.00	22.10	22.10
Nº40	0.425	17.63	9.41		8.45	4.90	0.00	13.35	13.35
Nº100	0.15	15.93	7.84		7.63	4.08	0.00	11.72	11.72
Nº200	0.075	14.37	7.19		6.88	3.75	0.00	10.63	10.63
Pasa No.200									

TAMICES



MEZCLA POR VOLUMEN:

Humedad de equilibrio u óptima (%):
2.5

CARACTERÍSTICA	Unidad	MATERIAL			Mezcla
		RAP	SBG-50	AG No 2	
Proporción en peso	%	47.92	52.08		100.00
Densidad aparente seca	Kg/dm ³	2.3	2.5		2.40
Absorción	%	1.5	3.5		
Humedad natural	%	4	2		

En: 100.0 Kg...

Material	Prop. (%)	Masa seca (Kg.)	Masa Hum (Kg.)	Agua agre (Kg.)	Absorción (Kg.)	Agua libre (Kg.)	Aporte (Kg.)	Vol Abs. Mat. (dm ³)	% Vol. Seco
RAP	47.9	47.92	49.83	1.92	0.7	1.20		20.8	50.0
SBG-50	52.1	52.08	53.12	1.04	1.8	-0.78		20.8	50.0
AG No 2	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.42	0.0	0.0
Agua	2.5	2.50					2.08		100.0

OBSERVACIONES: _____

Ing. _____
Firma del responsable:

5. L05, SP: LAB-BG-02: Caracterización de los materiales para base granular o L06, SP: LAB-SBG-02, para sub-base granular.

Considerándose la normativa aplicable, se procede a realizar el desarrollo de las pruebas exigidas de caracterización para cada tipo de actividad (según el caso, base granular o sub-base granular) y para cada insumo a evaluar: El RAP y los granulados adicionales postulados; para ello se deberá realizar ensayos de dureza, durabilidad, limpieza, geometría de las partículas y resistencia; esta última, en las condiciones de inmersión. En esta evaluación se deberá tener en cuenta las diferentes posibilidades de utilización, previéndose la clasificación según el tipo de carretera o tráfico esperado.

Se puede estimar que si uno de los materiales no cumple algún aspecto para el tipo de carretera y tráfico de diseño, se deberá evaluar su mezcla en la proporción más conveniente; de igual manera, se deberá considerar que una de las principales características que evidentemente el RAP no va a cumplir es la resistencia, porque ésta depende en gran parte de la gradación, la cual es objeto del proceso de adición y su implementación de un diseño de mezcla.

 <p>Universidad del Cauca Facultad de Ingeniería Maestría en Ingeniería de Pavimentos</p>	<p>Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP</p> <p>Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ</p>	<p>Proyecto: Mejoramiento de la Carretera XXXXXXXXXXXXXXXX sector XXXXXXXX Ruta XX Tramo XXXXX, departamento de XXXXX.</p>	<p>Tipo de capa a evaluar: Base granular</p> <p>Fuentes: RAP: - PR XXXXXXXX al PR XXXXXXXX (XXXX) base Granular: Fuente XXX</p>	<p>Formato: SP: LAB-BG-02-01</p> <p>Descripción: CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES</p>
--	--	---	--	---

MATERIAL EVALUADO: Base Granular de la Planta XXXX

FUENTE: XXXXXXXX

CARACTERÍSTICA	NORMA	VALOR OBTENIDO	BASE GRANULAR						OBSERVACION
			CLASE C		CLASE B		CLASE A		
Dureza (O)									
Desgaste en la maquina de los Angeles (Gradacion A), maximo (%)									
- 500 revoluciones	E-218	40	40	✓	40	✓	35	✗	
- 100 revoluciones		8	8	✓	8	✓	7	✗	
Degradacion por abrasion en el equipo Micro-Deval, maximo (%)	E-238	28	-	✓	30	✓	25	✗	
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10 % de finos									
- Valor en seco, mínimo (kN)	E-224	75	-	✓	70	✓	90	✗	
- Relación húmedo/seco, mínimo (%)		75	-	✓	75	✓	75	✓	
Durabilidad (O)									
Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos, maximo (%)									
- Sulfato de sodio	E-220	11	12	✓	12	✓	12	✓	
- Sulfato de magnesio		15	18	✓	18	✓	18	✓	
Limpieza (F)									
Limite liquido, maximo (%)	E-125	-	25	✓	-	✓	-	✓	
Indice de plasticidad, maximo (%)	E-126	4	6	✓	6	✓	6	✓	
Equivalente de arena, minimo (%)	E-133	26	25	✓	25	✓	25	✓	
Valor de azul de metileno, máximo	E-235	9	10	✓	10	✓	10	✓	
Contenido de terrones de arcilla y particulas deleznales, maximo (%)	E-211	1	2	✓	2	✓	2	✓	
Geometría de las Partículas (F)									
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	30	35	✓	35	✓	35	✓	
Caras fracturadas, mínimo (%)									
- Una cara	E-227	75	50	✓	70	✓	100	✗	
- Dos caras		55	-	✓	50	✓	70	✗	
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239	26	25	✓	25	✓	25	✓	
Resistencia del material (F)									
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 330.5.2.2.2); el CBR se medirá sobre muestras sometidas previamente a cuatro días de inmersión.	E-148	85	80	✓	80	✓	95	✗	

Observaciones: _____

Elaboró: _____

Revisó: _____

Aprobó: _____

Nombre: _____

Nombre: _____

Nombre: _____

 <p>Universidad del Cauca Facultad de Ingeniería Maestría en Ingeniería de Pavimentos</p>	<p>Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP</p> <p>Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ</p>	<p>Proyecto: Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto- Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño.</p>	<p>Tipo de capa a evaluar: Sub-base granular</p> <p>Fuentes: RAP: - PR 94+0960 al PR 95+0120 (2502) Sub-base Granular: Galindez PR 11</p>	<p>Formato: SP: LAB-SBG-02-01</p> <p>Descripción: CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES</p>
--	--	---	---	--

MATERIAL EVALUADO: Sub-Base Granular de la Planta XXXX

FUENTE: XXXXXXXX

CARACTERÍSTICA	NORMA	VALOR OBTENIDO	SUB-BASE GRANULAR						OBSERVACION
			CLASE C		CLASE B		CLASE A		
Dureza (O)									
Desgaste en la maquina de los Angeles (Gradacion A), maximo (%) - 500 revoluciones (%)	E-218	49	50	✓	50	✓	50	✓	
Degradacion por abrasion en el equipo Micro-Deval, maximo (%)	E-238	40	-	✓	35	✗	30	✗	
Durabilidad (O)									
Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos, maximo (%)									
- Sulfato de sodio	E-220	11	12	✓	12	✓	12	✓	
- Sulfato de magnesio		15	18	✓	18	✓	18	✓	
Limpieza (F)									
Limite liquido, maximo (%)	E-125	23	25	✓	25	✓	25	✓	
Indice de plasticidad, maximo (%)	E-126	4	6	✓	6	✓	6	✓	
Equivalente de arena, minimo (%)	E-133	26	25	✓	25	✓	25	✓	
Contenido de terrones de arcilla y particulas deleznales, maximo (%)	E-211	1	2	✓	2	✓	2	✓	
Resistencia del material (F)									
CBR (%): porcentaje asociado al valor minimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro dias de inmersion, minimo.	E-148	35	30	✓	30	✓	40	✗	

Observaciones: _____

Elaboró: _____

Revisó: _____

Aprobó: _____

Nombre: _____

Nombre: _____

Nombre: _____

6. V01, SP: VE-01: Comparación de CBR para diferentes proporciones de RAP y material granular adicionado.

Teniéndose en cuenta las diferentes proporciones que cumplan la gradación exigida de la normativa, es necesario evaluar el grado de resistencia mediante el ensayo de CBR de laboratorio en condiciones de humedad óptima y densidad máxima, para observar lo siguiente:

- Cuál de las proporciones ofrece la mayor resistencia?.
- Cómo es el comportamiento de cada proporción respecto a la resistencia de la muestra patrón que hace referencia a ensayo de CBR?.

Adicionalmente, con base a los resultados y conociéndose cuál de las proporciones se utilizará, los resultados de esta evaluación servirán para tomar la resistencia que será adoptada para determinar la resistencia de diseño, lo cual se logrará evaluándose el factor clima que dependerá del emplazamiento del proyecto.

 Universidad del Cauca Facultad de Ingeniería Maestría en Ingeniería de Pavimentos	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP	Proyecto: Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto- Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño	Alternativa: In situ Fuentes: RAP: - PR 94+0960 al PR 97 (2502) Sub-Base Granular: Galindez PR 11	Formato: SP: VE-01 Descripción: Comparación de CBR para diferentes proporciones de RAP y material granular adicionado.
	Autor: ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ			

COMPARACIÓN DE PRUEBAS DE CBR PARA DIFERENTES PROPORCIONES DE RAP Y MATERIAL GRANULAR ADICIONADO

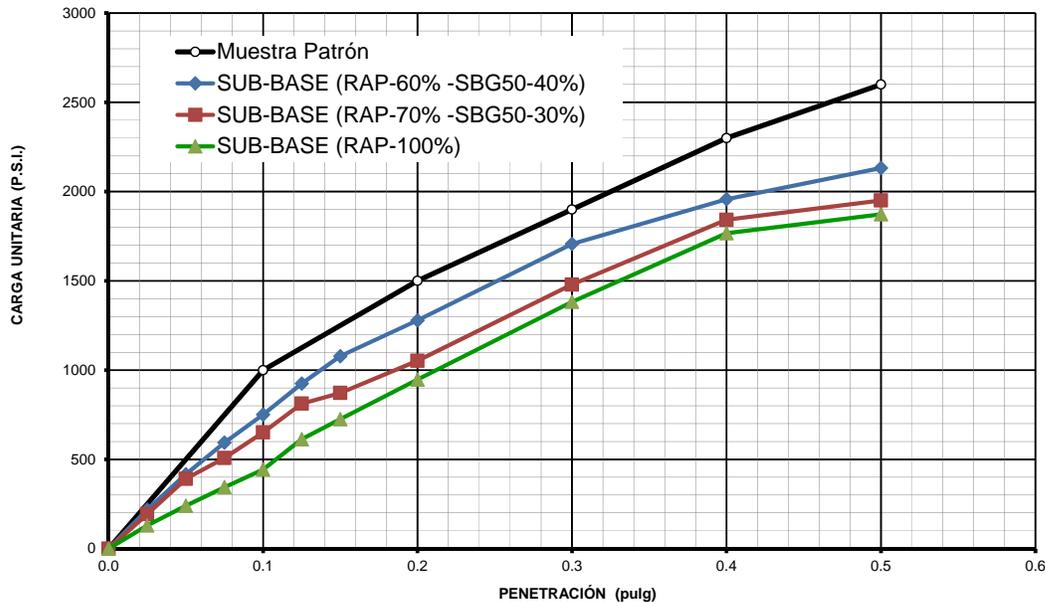
Objeto: El presente reporte corresponde a la evaluación de resistencia de CBR de material compuesto por el RAP y material granular adicionado en diferentes proporciones, según el análisis de gradación realizado.

Tipo de proyecto: Rehabilitación **Alcance del proyecto:** Reconstruir la estructura del pavimento y disponer de drenaje y subdrenaje.

COMPARACION DE RESISTENCIA CBR PARA DIFERENTES PROPORCIONES DE RAP Y GRANULAR

Los resultados expuestos a continuación corresponden a la recopilación de los ensayos de CBR para materiales granulares en las condiciones óptimas de humedad y densidad del 100%.

PENETRACION		MUESTRA PATRON		SUB-BASE (RAP-60% -SBG50-40%)				SUB-BASE (RAP-70% -SBG50-30%)				SUB-BASE (RAP-100%)			
		Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		CBR	Carga	Esfuerzo		CBR	Carga	Esfuerzo		CBR
pulg.	mm	Kg/cm2	PSI	Kgf	Kg/cm2	PSI	%	Kgf	Kg/cm2	PSI	%	Kgf	Kg/cm2	PSI	%
0.000	0.000		0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
0.025	0.064			298.3	15.4	219.0		263.5	13.6	193.4		176.6	9.1	129.4	
0.050	0.127			566.1	29.3	416.7		531.3	27.5	391.1		326.1	16.9	240.4	
0.075	0.191			809.6	41.8	594.5		691.3	35.7	507.8		468.7	24.2	344.2	
0.100	0.254	70.3	1000	1021.7	52.8	751.0	75.1	886.1	45.8	651.4	65.1	604.4	31.2	443.8	44.4
0.125	0.318			1258.2	65.0	924.5		1105.2	57.1	812.2		833.9	43.1	613.0	
0.150	0.381			1466.9	75.8	1078.1		1186.2	61.3	871.9		986.9	51.0	725.4	
0.200	0.508	105.5	1500	1739.5	89.9	1278.7	85.2	1431.9	74.0	1052.5	70.2	1289.5	66.6	947.3	63.2
0.300	0.762	133.6	1900	2321.8	120.0	1706.8	89.8	2012.3	104.0	1479.2	77.9	1880.7	97.2	1382.5	72.8
0.400	1.016	161.7	2300	2662.3	137.6	1957.1	85.1	2505.6	129.5	1841.9	80.1	2402.4	124.2	1766.5	76.8
0.500	1.270	182.8	2600	2900.3	149.9	2132.1	82.0	2652.7	137.1	1950.0	75.0	2548.5	131.7	1873.2	72.0
				Peso Unitario: 2.193 g/cm3				Peso Unitario: 2.084 g/cm3				Peso Unitario: 2.074 g/cm3			
				Humedad optima: 6.1%				Humedad optima: 6.2%				Humedad optima: 6.1%			



3) Conclusiones:

En general, en las condiciones óptimas de humedad y densidad máxima de las diferentes muestras con variación de proporciones de RAP y granular adicionado se observa un comportamiento satisfactorio en relación al exigido en la norma con valor CBR del 30%.

A diferencia de la muestra patrón las muestras evaluadas presentan menores resultados, aunque la muestra de SUB-BASE (RAP-60% -SBG50-40%) presentó mejor comportamiento, pero se observa declinar en esfuerzos importantes, no obstante la resistencia entre rangos medios incrementa su respuesta pero decae en esfuerzos superiores a 1700 PSI.

El material RAP 100% se comporta con deficiencia al inicio, pero a la medida que la carga se trasmite a través de las partículas mas grandes (reacomodo), mantiene estable su resistencia y obtiene valores mayores de relación de resistencia, esto es claro que se debe al origen de sus partículas de una antigua MDC de buena calidad.

Elaboró:

Revisó:

Aprobó:

Nombre:

Nombre:

Nombre:

7. V02, SP: VE-02: Evaluación de resistencia mediante el ensayo de Módulo Resiliente.

Como se ha mencionado anteriormente, las pruebas de módulo resiliente son difíciles de desarrollar y solamente se realizan en laboratorios especializados, el objeto de implementarse dentro de la metodología sería con objeto de calibrar con uno o dos ensayos (de la proporción adoptada) el resultado de la metodología propuesta en campo, principalmente para proyectos de gran envergadura, toda vez que las pruebas previstas en la metodología de campo se pueden proporcionar resultados independientemente de este ensayo con una aproximación suficiente para valorar el módulo del material a adoptarse en el ajuste del diseño; entonces, los ensayos de Modulo Resiliente que se realicen servirán para una verificación o contraste del estudio aplicado para el material específico evaluado.

Ya en materia, es de conocimiento general que el ensayo de módulo resiliente proporciona una ecuación¹ y no un único resultado, la cual se define con base en diferentes variaciones de esfuerzos desviadores y presión de confinamiento, entregándose los coeficientes de dicha ecuación, de estos dos (2) coeficientes, K1 y K2. (Véase Numeral 4.2.1); donde K2, corresponde a la pendiente de la recta que determina el comportamiento entre el módulo resiliente y la invariante de esfuerzos en el sistema $\text{Log}(M_r)$ vs $\text{Log}(\Theta)$ y K1 el valor del M_r cuando el $\text{Log}(\Theta) = 0$.

Para referencia del procedimiento, actualmente el ensayo del Módulo Resiliente para materiales granulares se lleva a cabo mediante diferentes protocolos establecidos por entidades gubernamentales de diferentes países, como es el caso: El protocolo EN 13286-7 (2004) del Comité Europeo de Normalización, el protocolo AASHTO T307-99 (2005), el protocolo NCHRP I-28A (2004), de la National Cooperative Highway Research Program, el protocolo CSIR Transportek (2002), de la Consejo para la Investigación Científica e Industrial en África, el protocolo AG:PT/053

¹ Modelo del esfuerzo bulk o modelo K- Θ , el cual fue propuesto por Seed y otros en 1967.

ANEXO No 1
METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES
DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP

(2007) de Australia entre otros. (Anochie-Boateng, J., Paige-Green, P., & Mgangira, M., 2009, pág. 251).

De éstos, Colombia ha adaptado el ensayo de Modulo Resiliente establecido con la Norma INV E-156-13, con base en el protocolo AASHTO T307-99 (2005) y aunque las diferencias no son en todos significativas, es necesario que al ejecutar el ensayo se tenga en cuenta las características de su protocolo, considerando el origen y/o configuración de la máquina triaxial con que se realice el ensayo o las características específicas a evaluar, para lo cual, a continuación se presenta un comparativo de tres (3) de importantes protocolos de seguimiento en América.

Tabla 1. Tabla comparativa de protocolo de ensayo de Módulo Resiliente de diferentes estamentos internacionales.

ROTOCOLO / REQUERIMIENTOS	EN 13286-7 (2004)	AASHTO T307-99 (2005)	NCHRP I-28A (2004)
Tipos de materiales	Max tamaño de los agregados < 0.2 diámetro de la muestra	1. (tamaño Max < 70% < 2,0 mm < 20% < 0.075, IP < 10%). 2. Todos los demás.	1. (Tamaño máximo > 9.5; > 25.4 enrasado. 2. (tamaño Max < 9,5; < 10% < 0,075). 3. (Tamaño máximo < 9.5; < 0.075). 4. Pared delgada inalterado
Preparación de la muestra	Vibro-compresión (1 capa), martillo vibratorio (6 – 7 niveles)	1. Martillo vibratorio (6 niveles). 2. Estático (5 Niveles) o masado neumático (5 Niveles).	Tipo 1: Impacto (Proctor) / martillo vibratorio (o giratorio). Tipo 2: Vibratorio. Tipo 3: Impacto/Amasado.
Estado de compactación de la muestra	Contenido de humedad y densidad de las condiciones de campo. 6 muestras (OMC – 4, 2, 1% y 100, 97, 95% de densidad)	En condiciones in-situ de densidad y humedad o proctor estándar o modificado.	En la densidad y humedad deseada.
Altura: Diámetro	2.0 ± 2% Diam. > a 5 veces el tamaño máximo de la partícula. (160 x 320 mm)	2.0 70mm de diam. (Subbase). Mín. diam. = 5 veces el tamaño máximo (Base/sub-base)	2.0 70mm de diam. (De grano fino). 100 a 150 mm (De grano grueso).
Respuesta de medición	3 celdas de carga LVDT axiales internos de medición centro de 100 mm de la muestra a 120 °, unida a membrana.	2 celdas de carga LVDT axiales externos.	2 celdas de carga LVDT axiales externos.
Presión de confinamiento	Variable y Constante (opción de vacío) hasta 600 kPa	Constante hasta 140 kPa	Constante hasta 140 kPa
Separación en la cámara con	Agua, aire o aceite de silicona	Aire	Aire

ANEXO No 1
METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES
DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP

Tabla 1. Tabla comparativa de protocolo de ensayo de Módulo Resiliente de diferentes estamentos internacionales.

ROTOCOLO / REQUERIMIENTOS	EN 13286-7 (2004)	AASHTO T307-99 (2005)	NCHRP I-28A (2004)
Acondicionamiento de la muestra	Presión de confinamiento 70 kPa, y esfuerzo desviador axial de 200 a 340 kPa; 20 000 repeticiones	Presión de confinamiento 103.4 kPa, y esfuerzo desviador axial de 103.4 kPa; 500 - 1000 repeticiones	Presión de confinamiento para sub-base - base 27,6 -103,5 kPa, a 1000 repeticiones; esfuerzo desviador axial de 50.8 – 227.7 kPa.
Tipo de carga	Frecuencia de la carga axial (0,2 -10Hz)	Haversine, 0.1s carga y 0,9 segundos de reposo (hidráulico); 0,9 a 3s resto (neumático)	Haversine, 0.1s de carga, 0,9 segundos período de descanso (base / subbase); 0.2s carga, 0.8s (subrasante)
Secuencia de prueba	100 repeticiones en 29 estados de esfuerzo de confinamiento sobre 20 - 150 kPa y esfuerzo desviador axial de cualquiera de 30 a 475 kPa ó 20 - 300 kPa	100 repeticiones en 15, los estados de estrés de confinamiento de 20.7- 138 kPa y máx. esfuerzo desviador axial de 20,7 a 276 kPa	100 repeticiones en 30 estados de esfuerzo (Tipo 1); 20 estados de esfuerzo (tipo 2) y 16 estados de esfuerzo (Tipo 3); confinamiento del 20,7 a 138 kPa y desviador de 20,7 a 993 kPa cíclico
Resultados	Promedio de los últimos 10 ciclos determinado el cálculo del M_R	Promedio de los últimos 5 ciclos determinado el cálculo del M_R	Promedio de los últimos 5 ciclos determinado el cálculo del M_R

Fuente: (Anochie-Boateng,J., Paige-Green, P., & Mgangira, M., 2009, págs. 252-3)

Además de identificar y desarrollar fielmente el protocolo establecido es necesario hacer un seguimiento de los ensayos, toda vez que debido a las imperfecciones de los equipos de muestras y ensayo, se produce algún error. Por lo tanto, es importante controlar la calidad de los datos a través de varios criterios entre estos tenemos:

- Rotación: Se refiere a el grado de no uniformidad debido a la rotación que se cuantifica, y la relación entre el grado de falta de uniformidad y la deformación de la muestra que se analiza para evaluar la influencia de la rotación en los desplazamientos medidos.
- No uniformidad de Desplazamiento: Los datos M_r suelen mostrar secuencias de desplazamiento no uniformes entre tres lecturas LVDT durante las secuencias de carga.
- Angulo de Rotación: Para estimar el ángulo de rotación, se debe tener en cuenta que θ es el ángulo entre los vectores normales del vector principal antes de la carga (el plano horizontal) y el plano girado, definido por el (mínimo) tres valores de desplazamiento.

- Relación de uniformidad: Existe una relación de uniformidad Y que debe ser menor 1.1 entre los desplazamientos máximos y mínimos medidos por LVDT.
- Relación señal a ruido (SNR): Debido a la rigidez de muestra y la aplicación del esfuerzo desviador que requieren los LVDT para medir muy pequeña cantidad de desplazamiento, el ruido que actúa durante una prueba de M_r puede afectar seriamente los resultados.

(Kim & Labuz, 2007, págs. 32-38)

Por lo expuesto, la realización de ensayos de Modulo Resiliente hace referencia a un proceso exigente que debe calibrarse para las condiciones específicas de los materiales y equipos a utilizar y debe tenerse en cuenta resultados fiables cuando éstos reflejan comportamiento similar a experimentaciones internacionales, tal es el caso que en el tramo de prueba AASHO se determinó que los coeficientes K_1 se encuentran en un rango de 3200 a 8000 PSI y el K_2 se encuentra entre 0.5 y 0.7 para materiales granulares de base y sub-base granular. (Garnica Anguas, Péres García, & Gómez López, 2001, pág. 39)

Para efecto del registro de los ensayos realizados se identificó un modelo de presentación y cálculo que se reporta en el Anexo No 1, donde se pueden consignar los datos obtenidos de esfuerzos principales y desviadores, con éstos, construir la ecuación lineal, mediante su regresión en el modelo $\text{Log}(M_r)$ versus $\text{Log}(\Theta)$, obteniéndose con ello los coeficientes K_1 y K_2 , determinándose con ello la ecuación del M_r y con ésta verificar el resultado con base en el dato determinado del modelo del diseño de donde se extraería la sumatoria de esfuerzos principales, obtener la invariante de esfuerzos y remplazar en la ecuación para la adopción de la resistencia definitiva en el diseño.



Proyecto de grado:
METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP

Autor:
ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ

Proyecto:
Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto- Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño

Alternativa: In situ

Fuentes:
RAP - PR 94+0960 al PR 97 (2502)
Sub-Base Granular: Galindez PR 11

Formato:
SP: VE-02

Descripción:
Evaluación de resistencia mediante el ensayo de Módulo Resiliente.

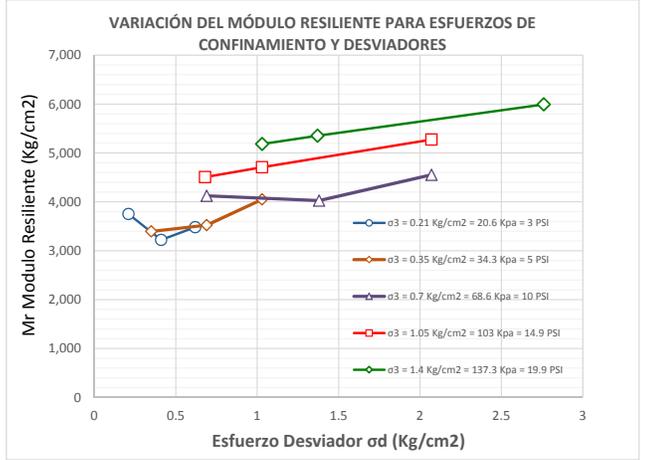
EVALUACIÓN DE RESISTENCIA MEDIANTE EL ENSAYO DE MÓDULO RESILIENTE

Objeto: El presente reporte corresponde a la evaluación de resistencia mediante el ensayo de Módulo Resiliente de material compuesto por el RAP y material granular adicionado, implementándose en el resultado del ensayo los esfuerzos principales obtenidos tanto en la deflectometría como en las condiciones de implementación en el diseño.

Tipo de capa: Sub-base granular **Características del material:** Granular RAP 60% + adición de Sub-base granular SBG 50 en 40%

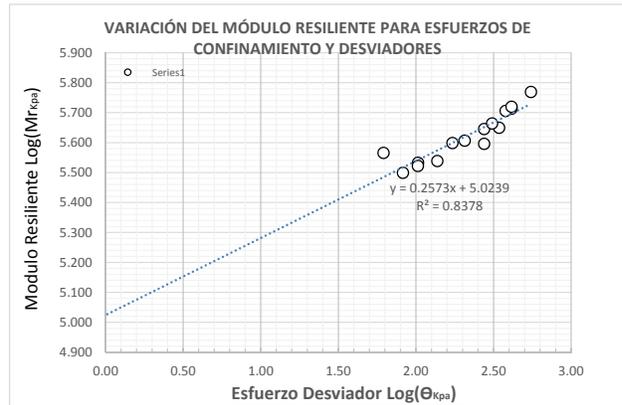
1) PROCESAMIENTO DE DATOS PARA DETERMINAR LA VARIACION DEL Mr PARA ESFUERZOS DE CONFINAMIENTO Y DESVIADORES

Presión de confinamiento			Esfuerzo Desviador Teórico			Esfuerzo Desviador Registrado			Deformación unitaria promedio	Modulo Resiliente		
σ ₃			σ _d			σ _d			δ	Mr		
Kg/cm ²	Kpa	PSI	Kg/cm ²	Kpa	PSI	Kg/cm ²	Kpa	PSI	mm/mm	Kg/cm ²	Kpa	PSI
0.21	20.6	3.0	0.21	20.6	3.0	0.21	20.6	3.0	5.530E-05	3,751	367,847	53,352
			0.42	41.2	6.0	0.41	40.2	5.8	1.280E-04	3,221	315,872	45,813
			0.63	61.8	9.0	0.62	60.8	8.8	1.780E-04	3,479	341,173	49,483
0.35	34.3	5.0	0.35	34.3	5.0	0.35	34.3	5.0	1.020E-04	3,395	332,936	48,288
			0.7	68.6	10.0	0.69	67.7	9.8	1.940E-04	3,524	345,586	50,123
			1.05	103.0	14.9	1.03	101.0	14.7	2.550E-04	4,049	397,071	57,590
0.70	68.6	10.0	0.7	68.6	10.0	0.69	67.7	9.8	1.660E-04	4,122	404,230	58,629
			1.4	137.3	19.9	1.38	135.3	19.6	3.420E-04	4,025	394,718	57,249
			2.1	205.9	29.9	2.07	203.0	29.4	4.550E-04	4,552	446,399	64,745
1.05	103.0	14.9	0.7	68.6	10.0	0.68	66.7	9.7	1.520E-04	4,505	441,790	64,076
			1.05	103.0	14.9	1.03	101.0	14.7	2.190E-04	4,706	461,501	66,935
			2.1	205.9	29.9	2.07	203.0	29.4	3.930E-04	5,274	517,203	75,014
1.40	137.3	19.9	1.05	103.0	14.9	1.03	101.0	14.7	1.990E-04	5,183	508,279	73,720
			1.4	137.3	19.9	1.37	134.4	19.5	2.570E-04	5,351	524,754	76,109
			2.81	275.6	40.0	2.76	270.7	39.3	4.610E-04	5,992	587,614	85,226



2) DETERMINACION DE LA ECUACION DE MODULO RESILIENTE

σ ₃	σ _d	θ	Log(θ)	Mr	Log(Mr)
Kpa	Kpa	Kpa		Kpa	
20.6	20.6	61.8	1.79	367,847	5.566
20.6	41.2	82.4	1.92	315,872	5.500
20.6	61.8	103.0	2.01	341,173	5.533
34.3	34.3	102.9	2.01	332,936	5.522
34.3	68.6	137.2	2.14	345,586	5.539
34.3	103.0	171.6	2.23	397,071	5.599
68.6	68.6	205.8	2.31	404,230	5.607
68.6	137.3	274.5	2.44	394,718	5.596
68.6	205.9	343.1	2.54	446,399	5.650
103.0	68.6	274.6	2.44	441,790	5.645
103.0	103.0	309.0	2.49	461,501	5.664
103.0	205.9	411.9	2.61	517,203	5.714
137.3	103.0	377.6	2.58	508,279	5.706
137.3	137.3	411.9	2.61	524,754	5.720
137.3	275.6	550.2	2.74	587,614	5.769



K1 => => 10^a 5.0239 = 105,665 Kpa 15,325 PSI 1,077 Kg/cm2

K2 => = 0.2573

3) CALCULO MÓDULO RESILIENTE EN LAS CONDICIONES DE ESFUERZO ACTUANTE:

MR = 105,665 x (θ) ^ 0.2573

Datos de entrada:

σ₁ = 1.83E+02 Kpa => 182.7 Kpa
 σ₂ = 1.91E+01 Kpa => 19.1 Kpa
 σ₃ = 1.06E+01 Kpa => 10.6 Kpa

θ = σ_x + σ_y + σ_z => 212.4 Kpa

MR = 105665 x (212.41) ^ 0.257 =

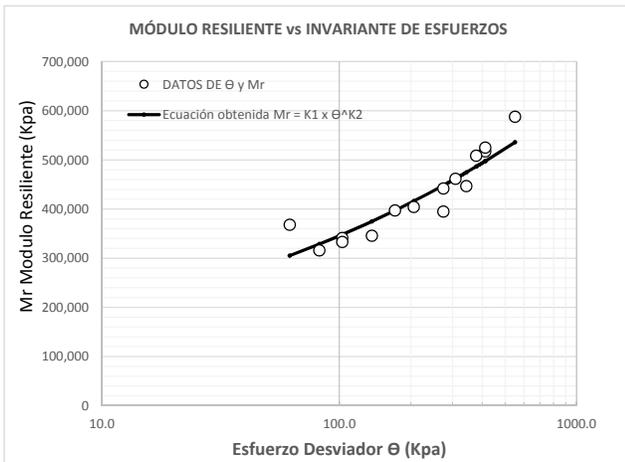
MR = 419,379 Kpa

MR = 419 Mpa

MR = 60,826 PSI

MR = 4,276 Kg/cm2

θ	Mr*
Kpa	Kpa
61.8	305,253
82.4	328,697
103.0	348,115
102.9	348,064
137.2	374,812
171.6	396,964
205.8	416,007
274.5	447,976
343.1	474,452
274.6	448,040
309.0	461,821
411.9	497,289
377.6	486,268
411.9	497,275
550.2	535,717



 <p>Universidad del Cauca Facultad de Ingeniería Maestría en Ingeniería de Pavimentos</p>	<p>Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP</p> <p>Autor: ANDRES RICARDO IBARRA ENRIQUEZ</p>	<p>Proyecto: Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto- Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño</p>	<p>Alternativa: In situ</p> <p>Fuentes: RAP: - PR 94+0960 al PR 97 (2502) Sub-Base Granular: Galindez PR 11</p>	<p>Formato: SP: VE-02</p> <p>Descripción : Evaluación de resistencia mediante el ensayo de Módulo Resiliente.</p>
--	--	--	---	--

EVALUACIÓN DE RESISTENCIA MEDIANTE EL ENSAYO DE MÓDULO RESILENTE

Objeto: El presente reporte corresponde a la evaluación de resistencia mediante el ensayo de Módulo Resiliente de material compuesto por el RAP y material granular adicionado, implemetandose en el resultado del ensayo los esfuerzos principales obtenidos tanto en la deflectometría como en las condiones de implementación en el diseño.

Tipo de capa: Sub-base granular **Características del material:** Granular RAP 60% + adición de Sub-base granular SBG 50 en 40%

3) Conclusiones:

Elaboró:

Nombre:

Revisó:

Nombre:

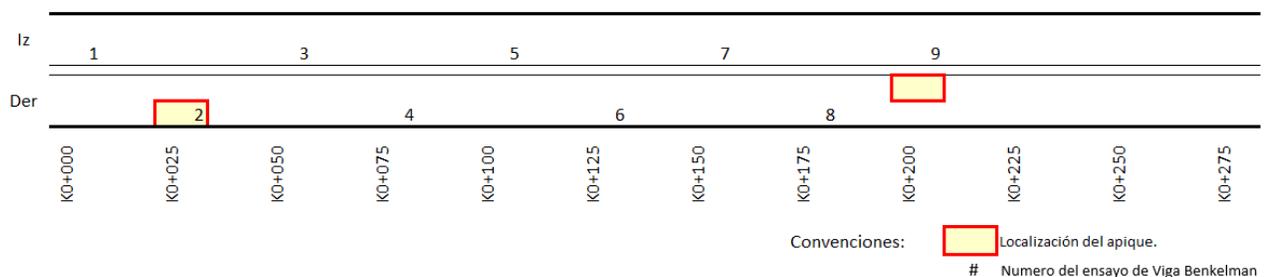
Aprobó:

Nombre:

8. B05, SP: MB-A1-02: Determinación de resistencia de capas de apoyo - Deflectometría – Alternativa de Acopio.

Este reporte corresponde al planeamiento y desarrollo de la evaluación estructural de la(s) capa(s) de apoyo sobre la cual se instalará la capa de material granular cuyo insumo incluye el RAP; esto es, la subrasante o afirmado existente (o sub-base granular, si es el caso) conformado y previo a la instalación del material con RAP que en esta etapa se encontraría en acopio.

Para identificación del sitio o segmento donde se realizarían las pruebas, el proyectista deberá analizar el estudio geotécnico de diseño del pavimento y determinar cuál es la resistencia característica del estudio y con base a los datos que pueda disponer, localizar un segmento suficientemente representativo para el tramo homogéneo; para el caso, se propone en la metodología que su longitud sea cercana o superior a los 100 metros, donde se crearía una pista donde se tomaran lecturas cada 20m de viga benkelman en ambos carriles y como mínimo se realicen dos (2) apiques para realizar el ensayo de CBR de campo o toma de muestras inalteradas para su desarrollo. Estas pruebas de CBR servirán para contrastar la información que se cuente de resistencia del proyecto, determinar la humedad que en el momento de los ensayos de viga benkelman. Entonces se entraría a planificar los apiques y lecturas como se indica en la Gráfica No 1 del presente anexo.



Gráfica No 1. Planificación de ensayos de viga benkelman y apique para CBR de la subrasante.

Fuente: Elaboración propia.

Para efecto del registro de los datos, es necesario disponer de toda la información disponible del sitio, tanto de los estudios y diseños del proyecto, como de las pruebas de campo, para lo cual se

ANEXO No 1
METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP

propone en la metodología generar registros de cada punto evaluado como se describe en la Gráfica No 2, donde se registra en el orden planificado datos relacionados de los ensayos.

No	Abscisa	I o D	Plataforma evaluada		Compactación (% Proctor)	Humedad %	Clasificación			Subrasante		Deflexión Plataforma	
			Tipo de Material	Espesor (cm)			USC/AASHTO	LL	LP	CBR (%)	Referencia del dato	Do	D25
1	K0+000	I	Afirmado	20	N.Dispone	N.D	SM (S/. Próximo)	NL	NP	N.D.	En campo	1604	1130
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	N.D	CL (S/. Próximo)	25	12	N.D.	Según No 2		
2	K0+025	D	Afirmado	20	N.Dispone	7	SM	NL	NP	20	En campo	1980	779
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	8	CL	25	12	6	En campo		
3	K0+050	I	Afirmado	20	N.Dispone	N.D	SM (S/. Anterior)	NL	NP	N.D.	En campo	1195	662
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	N.D	CL (S/. Anterior)	25	12	N.D.	Según No 2		

Grafica No 2. Registro de datos de evaluación de resistencia de la capa de apoyo – Alternativa de acopio.

Fuente: Elaboración propia.

 Universidad del Cauca Facultad de Ingeniería Maestría en Ingeniería de Pavimentos	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP	Proyecto: Mejoramiento de de la carretera XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX, departamento de XXXXXX.	Alternativa: En acopio Fuentes: RAP: - K0+000 - K0+250 (XXXX) Base Granular: YYYYYYYYYY	Formato: SP: MB-A1-02 Descripción: Determinación de resistencia de capas de apoyo - Deflectometría
	Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ			

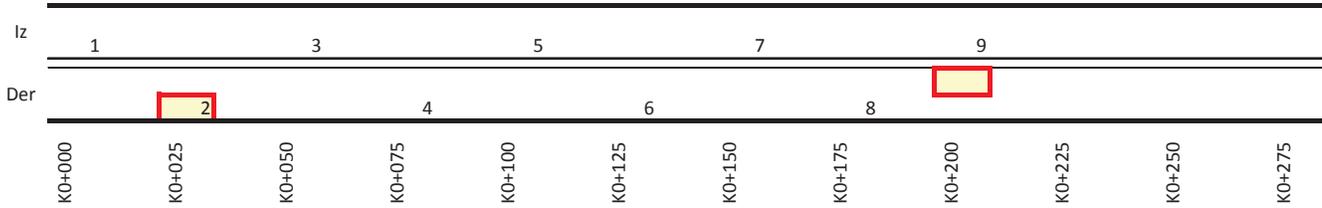
DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA DE CAPA (S) DE APOYO - DEFLECTOMETRIA

Objeto: El presente reporte corresponde al planeamiento y desarrollo de la evaluación estructural de la(s) capa(s) de apoyo sobre la cual se instalará la capa de material granular cuyo insumo incluye el RAP.

Tipo de proyecto: Mejoramiento **Alcance del proyecto:** Rectificación del trazado en un 40%, afectación trazado horizontal y vertical.

ENTRADAS Y SALIDAS

1. Esquema en Planta de la zona de evaluación y localización de los sitios de ensayo con Viga Beankelman (mínimo 100m)



Convenciones: Localización del apique.

2. Registro de Resultados de evaluación estructural capa de apoyo:

Numero del ensayo de Viga Benkelman

No	Abscisa	I o D	Plataforma evaluada		Compactación (% Proctor)	Humedad %	Clasificación			Subrasante		Deflexión Plataforma	
			Tipo de Material	Espesor (cm)			USC/AASHTO	LL	LP	CBR (%)	Referencia del dato	Do	D25
1	K0+000	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP		No dispone		
			Afirmado	20	N.Dispone	N.D	SM (Asumido)	NL	NP	N.D.	E y D.	N.A.	N.A.
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	N.D	CL (Asumido)	25	12	N.D.	E y D.	N.A.	N.A.
2	K0+025	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP		No dispone		
			Afirmado	20	N.Dispone	7	SM	NL	NP	20	E y D.	N.A.	N.A.
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	8	CL	25	12	6	E y D.	N.A.	N.A.
3	K0+050	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP		No dispone		
			Afirmado	20	N.Dispone	N.D	SM (Asumido)	NL	NP	N.D.	E y D.	N.A.	N.A.
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	N.D	CL (Asumido)	25	12	N.D.	E y D.	N.A.	N.A.
4	K0+080	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP		No dispone		
			Afirmado	20	N.Dispone	N.D	SM (Asumido)	NL	NP	N.D.	E y D.	N.A.	N.A.
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	N.D	CL (Asumido)	25	12	N.D.	E y D.	N.A.	N.A.
5	K0+125	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP		No dispone		
			Afirmado	20	N.Dispone	N.D	SM (Asumido)	NL	NP	N.D.	E y D.	N.A.	N.A.
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	N.D	CL (Asumido)	25	12	N.D.	E y D.	N.A.	N.A.
6	K0+150	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP		No dispone		
			Afirmado	20	N.Dispone	N.D	SM (Asumido)	NL	NP	N.D.	E y D.	N.A.	N.A.
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	N.D	CL (Asumido)	25	12	N.D.	E y D.	N.A.	N.A.
7	K0+175	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP		No dispone		
			Afirmado	20	N.Dispone	N.D	SM (Asumido)	NL	NP	N.D.	E y D.	N.A.	N.A.
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	N.D	CL (Asumido)	25	12	N.D.	E y D.	N.A.	N.A.
8	K0+200	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP		No dispone		
			Afirmado	20	N.Dispone	N.D	SM (Asumido)	NL	NP	N.D.	E y D.	N.A.	N.A.
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	N.D	CL (Asumido)	25	12	N.D.	E y D.	N.A.	N.A.
9	K0+225	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP		No dispone		
			Afirmado	20	N.Dispone	9	SM	NL	NP	15	E y D.	N.A.	N.A.
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	13	CL	24	13	5	E y D.	N.A.	N.A.

Nota: Los registros de deflexiones se procesan en formato auxiliar de campo SP: MB-A1-02-VB

3) Conclusiones:

Procede el traslado de esta información al análisis de retrocálculo.

Elaboró:

Revisó:

Aprobó:

Nombre:

Nombre:

Nombre:

	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ	Proyecto: Mejoramiento de de la carretera XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX, departamento de XXXXXX.	Alternativa: En acopio Fuentes: RAP: - K0+000 - K0+250 (XXXX) Base Granular: YYYYYYYYYY	Formato: SP: MB-A2-02-VB Descripción: Determinación de resistencia de capas de apoyo - Viga beankelman
---	---	---	--	--

ENSAYO DE VIGA BENKELMAN

PROYECTO : Mejoramiento de de la carretera xxxxxxxxxxxxxxxx
SECTOR : K xx+xxx al K yy+yyy

Página : 1 de 1
Fecha : _____

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
1	PUNTO 1 (Arriba)	Der	Ste + Afir.		60	13	2048	507

Condiciones del ensayo: Humedad y densidad de equilibrio. Carga estándar 8.2 ton
A 2.2m de la margen derecha

RC (m)
20.3

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
2	PUNTO 1 (Arriba)	Der	Ste+Af+(Mej3"+RAP)	15	42	18	1433	701

Condiciones del ensayo: Humedad y densidad de equilibrio. Carga estándar 8.2 ton
A 2.2m de la margen derecha

RC (m)
42.7

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
3	PUNTO 1 (Arriba)	Izq	Ste + Afir.	15	50	20	1707	779

Condiciones del ensayo: Humedad y densidad de equilibrio. Carga estándar 8.2 ton
A 2.2m de la margen derecha

RC (m)
33.7

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
4	PUNTO 1 (Arriba)	Izq	Ste+Af+(Mej3"+RAP)	15	33	18	1126	701

Condiciones del ensayo: Humedad y densidad de equilibrio. Carga estándar 8.2 ton
A 2.2m de la margen derecha

RC (m)
73.6

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)

Condiciones del ensayo: Humedad y densidad de equilibrio. Carga estándar 8.2 ton
A 2.2m de la margen derecha

RC (m)

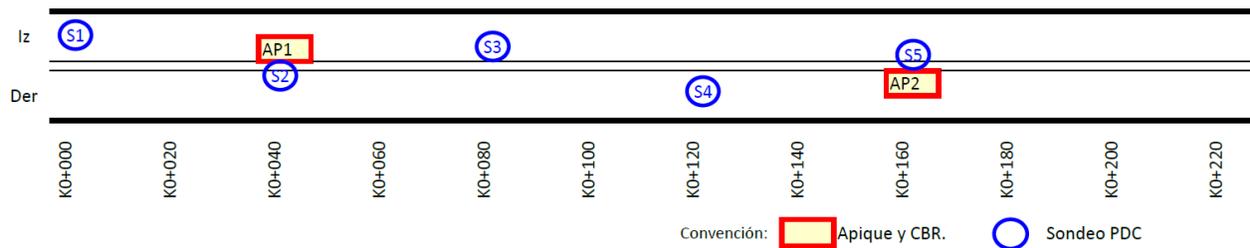
OBSERVACIONES:

Condiciones de humedad natural tiempo seco, geometría 2% de pendiente en descenso.

Elaboró	Revisó	Aprobó
Nombre: _____	Nombre: _____	Nombre: _____

9. B06, SP: MB-A2-02: Determinación de resistencia de capas de apoyo -CBR.

Al igual que el anterior este reporte corresponde al planeamiento y desarrollo de la evaluación estructural de la(s) capa(s) de apoyo sobre la cual se instalará la capa de material granular cuyo insumo incluye el RAP, donde a diferencia del anterior en la condición de Rehabilitación y en proceso previo se haya realizado el fresado de la carpeta existente, sin poder evaluar las capas de apoyo con evaluación de deflectometría (con viga benkelman), toda vez que el material ya fresado impediría hacerlo directamente. Por lo tanto, en este sub-proceso procede a registrar datos y ensayos de campo relacionados con CBR de campo en mínimo dos (2) apiques y sondeos para la toma de ensayos de Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), para disponer en cada sitio donde se vaya a realizar posteriormente los ensayos de viga benkelman de la capa Granular con RAP, teniéndose que planificar los ensayos con las misma dependencia del diseño del pavimento del proyecto, para determinarse un sitio o segmento donde la resistencia de la subrasante corresponda a la característica, procediendo a ubicar las pruebas en una longitud cercana o superior a 100m, como se indica en la Gráfica No 3 y se registran los resultados como se indica en la Gráfica No 4 del presente anexo.



Gráfica No 3. Planificación de sondeos para PDC y apique para CBR de la subrasante.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO No 1

METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP

No	Abscisa	I o D	Plataforma evaluada		Compactación (% Proctor)	Humedad %	Clasificación			Subrasante		Capa de apoyo	
			Tipo de Material	Espesor (cm)			USC/AASHTO	LL	LP	CBR (%)	Referencia del dato	CBR (%)	Referencia del dato
S1	K0+000	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP			25	PDC
			Sub-base existente	20	N.Dispone	7	SM	NL	NP			20	PDC
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	8	CL	25	12	7	PDC		
S2 AP1	K0+040	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP			30	CBR Campo
			Sub-base existente	20	N.Dispone	7	SM	NL	NP			23	CBR Campo
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	8	CL	25	12	6	CBR Campo		
S3	K0+080	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP			25	PDC
			Sub-base existente	20	N.Dispone	7	SM	NL	NP			18	PDC
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	8	CL	25	12	7	PDC		

Grafica No 4. Registro de datos de evaluación de resistencia de la capa de apoyo – Alternativa In-situ

Fuente: Elaboración propia.

	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP	Proyecto: Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto- Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño	Alternativa: In situ Fuentes: RAP: - PR 94+0960 al PR 97 (2502) Sub-Base Granular: Galindez PR 11	Formato: SP: MB-A2-02 Descripción: Determinación de resistencia de capas de apoyo - CBR
	Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ			

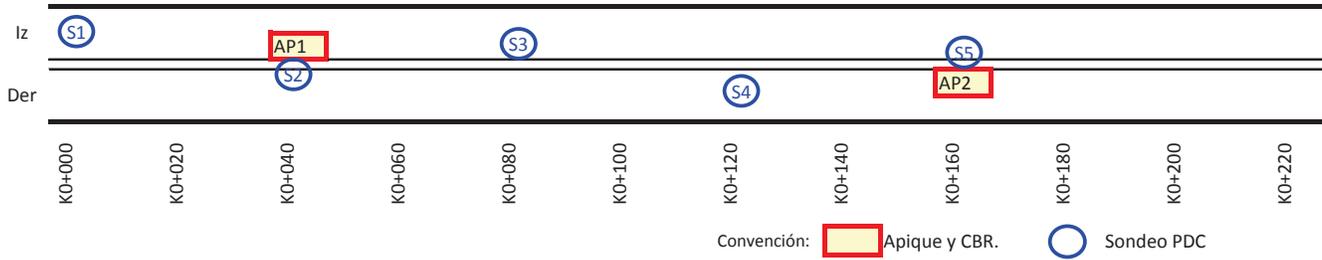
DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA DE CAPA (S) DE APOYO - ENSAYOS DE RESISTENCIA EN CAMPO

Objeto: El presente reporte corresponde al planeamiento y desarrollo de la evaluación estructural de la(s) capa(s) de apoyo sobre la cual se instalará la capa de material granular cuyo insumo incluye el RAP.

Tipo de proyecto: Rehabilitación **Alcance del proyecto:** Reconstruir la estructura del pavimento y disponer de drenaje y subdrenaje.

ENTRADAS Y SALIDAS

1. Esquema en Planta de la zona de evaluación y localización de los sitios de ensayo con CBR de campo y opcional PDC. (mínimo 100m)



Procedimiento:

Teniendo en cuenta que las capas de apoyo se encuentran por debajo de la capa granular con RAP, se debe determinar la resistencia de soporte debajo de ésta; para ello, se debe determinar a través de muestras inalteradas de CBR o CBR de campo, en las condiciones de humedad que se requiera de la siguiente manera:

- a) **(Opcional):** Realizar cada 50m sondeos para toma de muestras para humedad y clasificación, posteriormente realizar ensayos de PDC hasta sobrepasar la subrasante, con objeto de determinar en que sitios se harán los apiques requeridos determinándose mínimo un sitio con resistencia característica y otro en condición crítica.
- a) **(Obligatorio):** Realizar cada 100m apiques como mínimo dos (2), uno en el sitio con resistencia característica en humedad de equilibrio y otro en el sondeo que ofreciera una relación de resistencia deficiente comparado con los otros, haciéndose el ensayo en las capas de apoyo.

2. Registro de Resultados de evaluación estructural capa de apoyo:

No	Abscisa	I o D	Plataforma evaluada		Compactación (% Proctor)	Humedad %	Clasificación			Subrasante		Capa de apoyo	
			Tipo de Material	Espesor (cm)			USC/AASHTO	LL	LP	CBR (%)	Referencia del dato	CBR (%)	Referencia del dato
S1	K0+000	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP			25	PDC
			Sub-base existente	20	N.Dispone	7	SM	NL	NP			20	PDC
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	8	CL	25	12	7	PDC		
S2 AP1	K0+040	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP			30	CBR Campo
			Sub-base existente	20	N.Dispone	7	SM	NL	NP			23	CBR Campo
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	8	CL	25	12	6	CBR Campo		
S3	K0+080	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP			25	PDC
			Sub-base existente	20	N.Dispone	7	SM	NL	NP			18	PDC
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	8	CL	25	12	7	PDC		
S4	K0+120	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP			24	PDC
			Sub-base existente	20	N.Dispone	7	SM	NL	NP			16	PDC
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	8	CL	25	12	7	PDC		
S5 AP2	K0+160	I	Base existente	20	95	4	SM	NL	NP			30	CBR Campo
			Sub-base existente	20	N.Dispone	9	SM	NL	NP			20	CBR Campo
			Subrasante	N.A.	N.Dispone	10	CL	25	12	6	CBR Campo		

Nota: Los registros de CBR se procesan en formato auxiliar de campo SP: MB-A2-02-CBR y MB-A2-02-PDC

3) Conclusiones:

Procede el traslado de esta información al análisis de retrocálculo.

Elaboró: _____

Revisó: _____

Aprobó: _____

Nombre: _____

Nombre: _____

Nombre: _____



Proyecto de grado:
 METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP
Autor:
 ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ

Proyecto:
 Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto- Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño

Alternativa: In situ
Fuentes:
 RAP: - PR 94+0960 al PR 97 (2502)
 Sub-Base Granular: Galindez PR 11

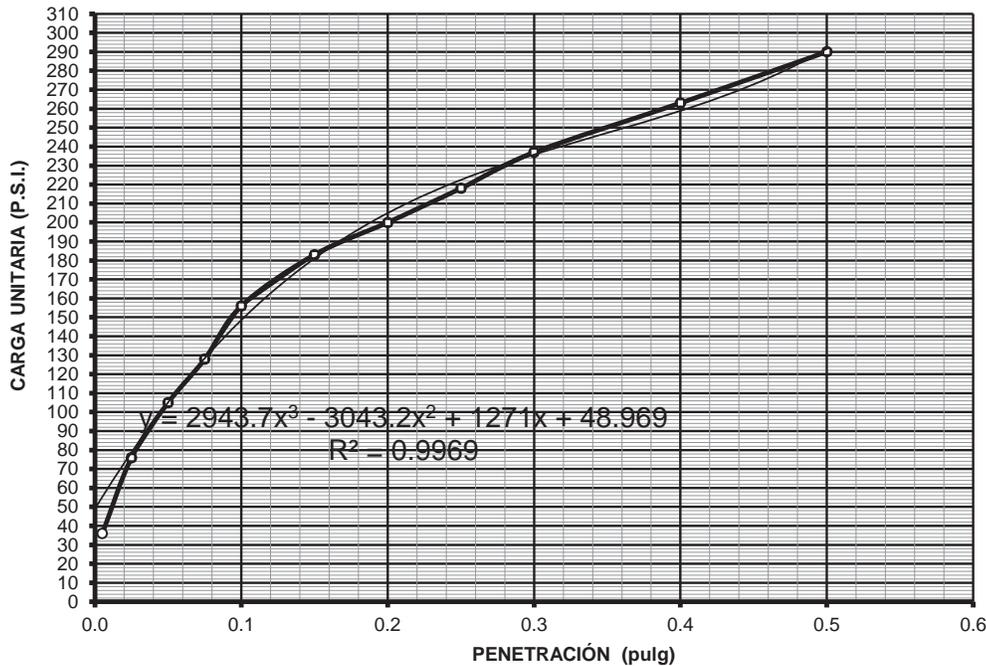
Formato:
SP: MB-A2-02-CBR
Descripción:
 Determinación de resistencia de capas de apoyo - CBR

ENSAYO DE CBR DE CAMPO

PROYECTO : Mantenimiento y rehabilitación de la carretera Cano-Mojarras. **FECHA :** 01-feb-08
UBICACIÓN : _____ **MARGEN :** Derecha **CODIGO :** CBR009
CAPA EVALUADA: Apoyo a nivel de Base existente **PROFUNDIDAD :** 0.51 m **DIST. EJE :** 1.2 m

PENETRACIÓN	LECT.	PRESIÓN	
		kg/cm ²	p.s.i.
0.005 pulg.	36	2.53	36.00
0.025 pulg.	76	5.34	76.00
0.050 pulg.	105	7.38	105.00
0.075 pulg.	128	9.00	128.00
0.100 pulg.	156	10.97	156.00
0.150 pulg.	183	12.87	183.00
0.200 pulg.	200	14.06	200.00
0.250 pulg.	218	15.33	218.00
0.300 pulg.	237	16.66	237.00
0.400 pulg.	263	18.49	263.00
0.500 pulg.	290	20.39	290.00

MATERIAL SOBRE EL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción / Espesor:			
Material de mejoramiento, e=51 cm			
MATERIAL DEBAJO DEL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción:			
Consistencia: Media; Peso Unitario 0.93 gr/cm ³			
Humedad:			
P1	Muestra + recipiente húmedo	131.20	gr
P2	Muestra + recipiente seca	92.75	gr
P3	Recipiente	38.06	gr
W	Humedad de penetración	70.31	%



VALOR DE CBR a 0.1" = 14.86 %

$$\text{CBR a } 0.1'' = \frac{\text{Carga Unitaria Corregida a } 0,1''}{1000}$$

VALOR DE CBR a 0.2" = 13.67 %

$$\text{CBR a } 0.2'' = \frac{\text{Carga Unitaria corregida a } 0,2''}{1500}$$

Observaciones: La muestra se la tomó después de realizar la extensión y compactación de la capa.
La corrección se la realiza debido a la deformación inicial sin lectura del dial.

Elaboró: _____
 Nombre: _____

Revisó: _____
 Nombre: _____

Aprobó: _____
 Nombre: _____



Proyecto de grado:
METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP

Autor:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ

Proyecto:
Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto- Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño

Alternativa: In situ

Fuentes:
RAP: - PR 94+0960 al PR 97 (2502)
Sub-Base Granular: Galindez PR 11

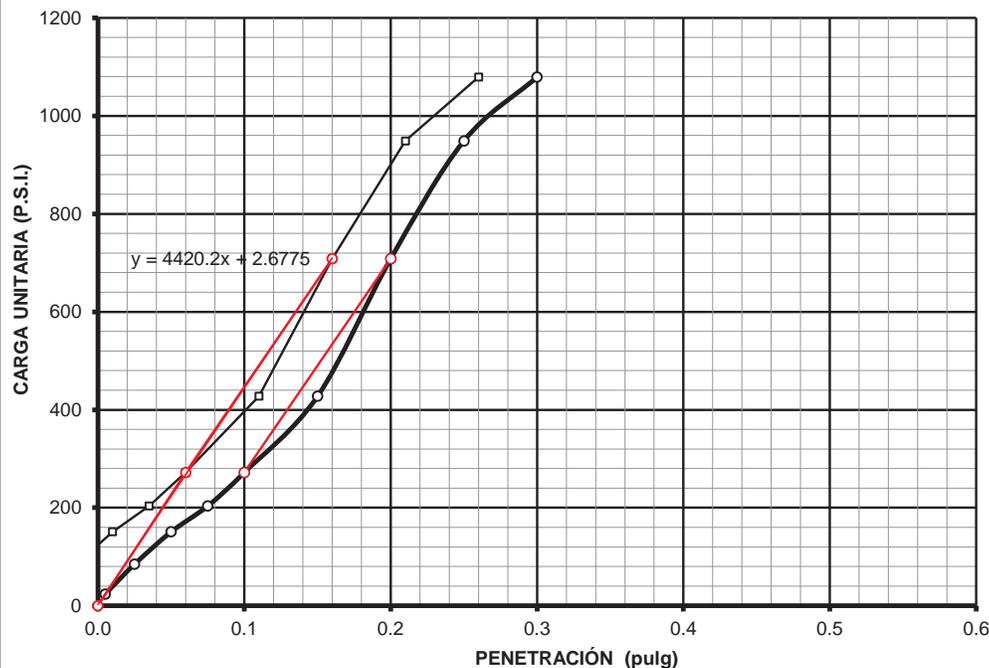
Formato:
SP: MB-A2-02-CBR
Descripción:
Determinación de resistencia de capas de apoyo - CBR

ENSAYO DE CBR DE CAMPO

PROYECTO : Mantenimiento y rehabilitación de la carretera Cano-Mojarras. **FECHA :** 12-feb-18
UBICACIÓN : PR 94+0970 **MARGEN :** Derecha **CODIGO :** CBR002
CAPA EVALUADA: Base granular existente **PROFUNDIDAD :** 0.25 m **DIST. EJE :** 1.5 m

PENETRACIÓN		LECT.	PRESIÓN	
			kg/cm ²	p.s.i.
0.005	pulg.	8	1.69	24.04
0.025	pulg.	31	5.96	84.83
0.050	pulg.	56	10.61	150.85
0.075	pulg.	76	14.32	203.63
0.100	pulg.	102	19.14	272.17
0.150	pulg.	161	30.06	427.49
0.200	pulg.	268	49.80	708.31
0.250	pulg.	360	66.71	948.88
0.300	pulg.	410	75.88	1079.29
0.400	pulg.	0	0.20	2.88
0.500	pulg.	0	0.20	2.88

MATERIAL SOBRE EL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción / Espesor:			
RAP60%-SBG50-40%			
e=25 cm			
MATERIAL DEBAJO DEL LUGAR DEL ENSAYO:			
Descripción:			
Material de base color amarillo			
Consistencia: Media			
Humedad:			
P1	Muestra + recipiente húmedo	999.70	gr
P2	Muestra + recipiente seca	956.90	gr
P3	Recipiente	190.70	gr
W	Humedad de penetración	5.59	%



VALOR DE CBR a 0.1" = 44.47 %

$$\text{CBR a 0.1" = } \frac{\text{Carga Unitaria Corregida a 0,1"}}{1000}$$

VALOR DE CBR a 0.2" = 59.11 %

$$\text{CBR a 0.2" = } \frac{\text{Carga Unitaria corregida a 0,2"}}{1500}$$

Observaciones: La muestra se la tomó después de realizar la extensión y compactación de la capa.
La corrección se la realiza debido a la deformación inicial sin lectura del dial.

Elaboró: _____
Nombre: _____

Revisó: _____
Nombre: _____

Aprobó: _____
Nombre: _____



Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería de
Pavimentos

Proyecto de grado:
METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL
APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE
BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA
REUTILIZACIÓN DEL RAP

Autor:
ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ

Proyecto:
Mantenimiento y rehabilitación de la
carretera San Juan de Pasto-
Mojarras sector Cano Mojarras Ruta
25 Tramo 2502, departamento de
Nariño

Alternativa: In situ

Fuentes:
RAP: - PR 94+0960 al PR 97 (2502)
Sub-Base Granular: Galindez PR 11

Formato:
SP: MB-A2-02-PDC
Descripción:
Determinación de resistencia de
capas de apoyo - PDC

ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA (PDC)

CARRETERA : Mantenimiento y rehabilitación de la carretera Cano-Mojarras.

UBICACIÓN : _____

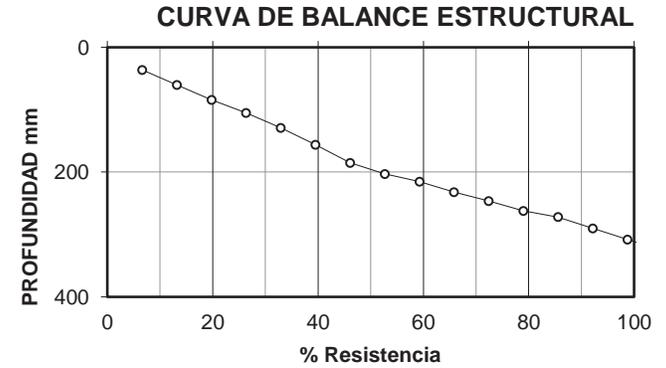
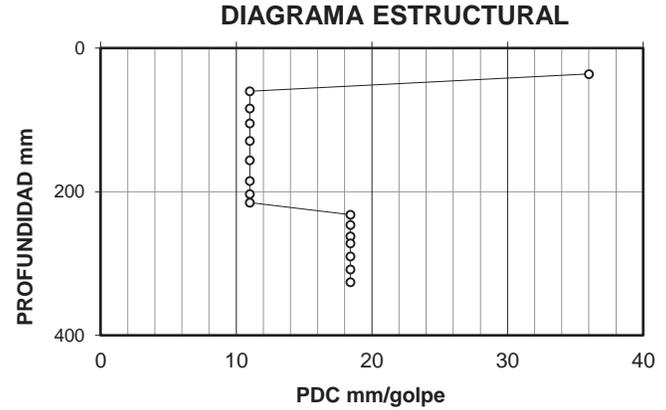
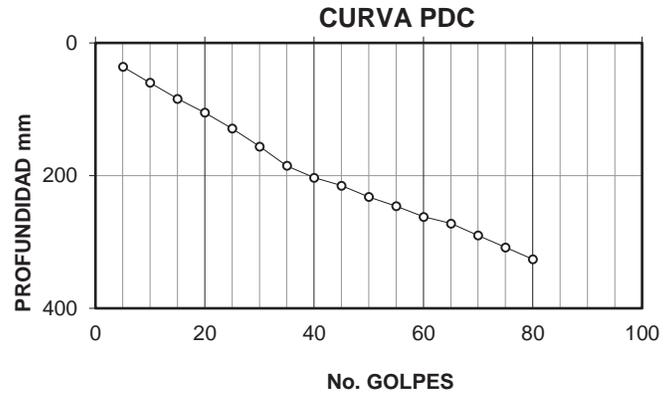
FECHA : 17-ago-18

SONDEO No : _____

PROFUNDIDAD : 326mm.

ALTURA INICIAL : 15 cm

No. Golpes	Golpes Acum.	% Resistencia	Prof. mm	PDC mm/Golpe	CBR
1	5	6.6	36	36.0	8.1
5	10	13.2	60	11.0	22.8
5	15	19.7	84	11.0	
5	20	26.3	105	11.0	
5	25	32.9	129	11.0	
5	30	39.5	156	11.0	
5	35	46.1	185	11.0	
5	40	52.6	203	11.0	14.6
5	45	59.2	215	11.0	
5	50	65.8	232	18.4	
5	55	72.4	246	18.4	
5	60	78.9	262	18.4	
5	65	85.5	272	18.4	
5	70	92.1	290	18.4	
5	75	98.7	308	18.4	
5	80	105.3	326	18.4	



OBSERVACIONES:

Elaboró
Nombre: _____

Revisó
Nombre: _____

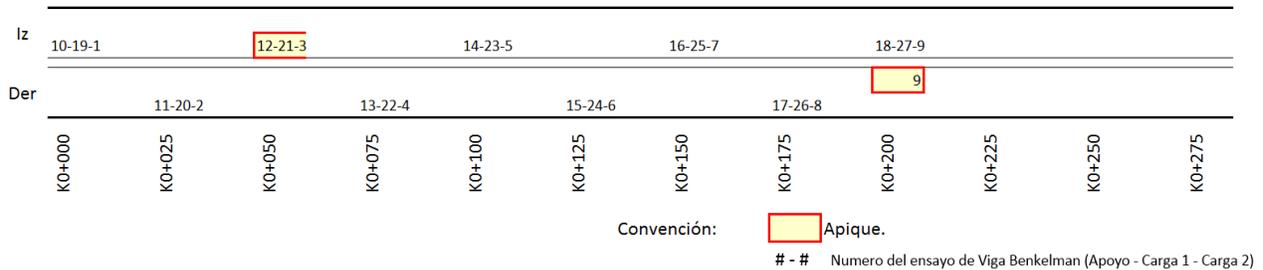
Aprobó
Nombre: _____

10. B07, SP: MB-A1-03: Ensayos de deflectometría de la capa granular con RAP – Alternativa de acopio y B08, SP:MB-A2-03, para la alternativa In-situ.

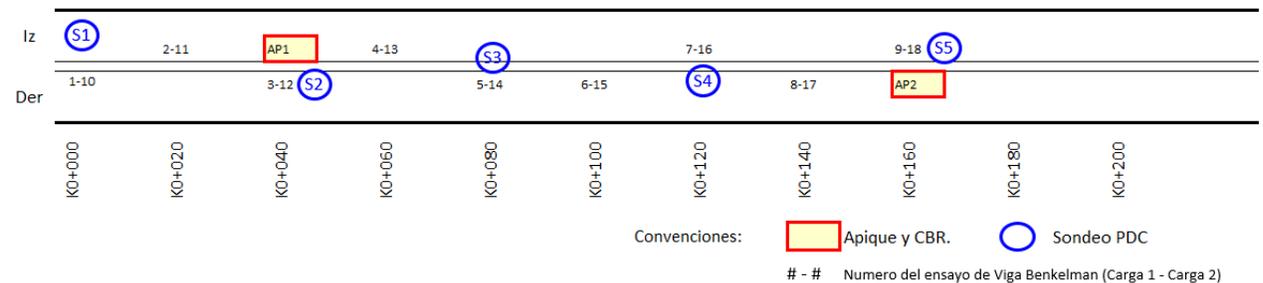
Este reporte corresponde al planeamiento y desarrollo de la evaluación estructural de la capa de capa de material granular cuyo insumo incluye el RAP mediante ensayos de deflectometría.

Para su planificación se debe considerar la posibilidad de realizar los ensayos de viga benkelman en diferentes condiciones de carga o la posibilidad de evaluar diferentes espesores, según sea la necesidad de variación del mismo en el proyecto para otros segmentos que dispongan diferentes condiciones de diseño del pavimento. Para tal efecto, se hace la planificación de los ensayos sobre los mismos sitios donde se hayan hecho los sondeos en caso de la alternativa de acopio o en los mismos sitios donde se haya realizado la deflectometría para determinar la resistencia de la capa de apoyo – alternativa In-situ, véase a en la Gráfica No 5 los esquemas de cada caso.

B07, SP: MB-A1-03 – Alternativa En Acopio.



B08, SP: MB-A2-03 – Alternativa In-situ.



Grafica No 5. Planificación de ensayos de viga benkelman para la capa granular con RAP en alternativa de Acopio e In-situ.

Fuente: Elaboración propia.

 Universidad del Cauca Facultad de Ingeniería Maestría en Ingeniería de Pavimentos	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP	Proyecto: Mejoramiento de de la carretera XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX, departamento de XXXXXX.	Alternativa: En acopio Fuentes: RAP: - K0+000 - K0+250 (XXXX) Base Granular: YYYYYYYYYY	Formato: SP: MB-A1-03 Descripción: Ensayos de defletometría de la capa granular con RAP.
	Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ			

ENSAYOS DE DEFLETOMETRIA DE LA CAPA GRANULAR CON RAP

Objeto: El presente reporte corresponde al planeamiento y desarrollo de la evaluación estructural de la capa de material granular cuyo insumo incluye el RAP, a evaluar su deflexión bajo diferentes condiciones de esfuerzo y si se requiere bajo diferentes espesores (opcional), una vez se haya instalado la capa en la pista prueba.

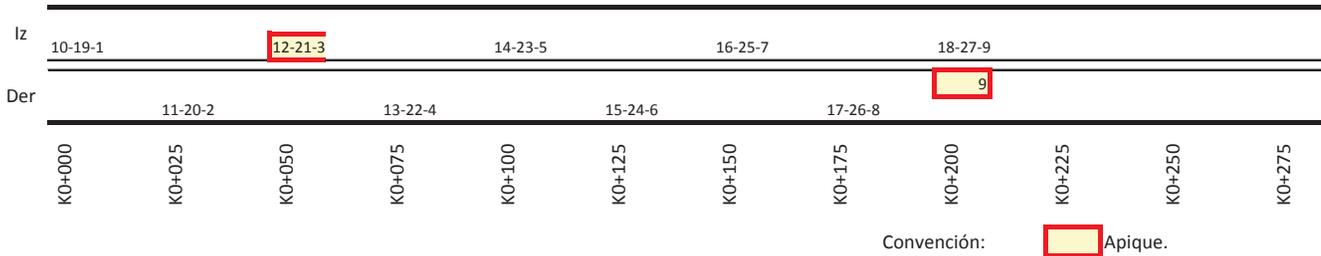
Tipo de proyecto: Mejoramiento **Alcance del proyecto:** Rectificación del trazado en un 40%, afectación trazado horizontal y vertical.

ENTRADAS Y SALIDAS

1. Planeamiento:

- a) Se considera que para efecto de aplicación en el diseño, el espesor previsto de la capa granular está identificado y no se requiere analizar este aspecto. Si así se quisiera, la evaluación procede de la misma forma como se va adelantar evaluandose los modulos obtenidos en función del espesor.
- b) Conforme a las condiciones de esfuerzo real a las cuales se someterá la capa granular con RAP, se realiza pruebas de deflectometría con variación de la carga estándar de 8.2 ton de la volqueta calibrada y otra prueba adicional con carga de volqueta descargada. Por lo expuesto procede a realizarse pruebas en los mismos sitios donde se evaluaron las capas de apoyo para disponer idoneidad en los resultados.

2. Esquema en Planta de la zona de evaluación y localización de los sitios de ensayo con Viga Beankelman (mínimo 100m)



3. Registro de Resultados de deflectometría de la capa de apoyo:

No	Abscisa	I o D	Capa superficial de la Plataforma evaluada		Compactación (% Proctor)	Humedad %	Condiciones de carga			Lectura Viga		Deflexión obtenida		
			Tipo de Material	Espesor (cm)			Carga (Ton.)	Presión Inflado (PSI)	Radio (m)	Lo	L25	Do	D25	RC (m)
10	K0+000	I	RAP60%+BG40%	25	98	4	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
19			RAP60%+BG40%	25	98	4				6	1	204.8	38.97	188.5
11	K0+050	D	RAP60%+BG40%	25	98	4	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
20			RAP60%+BG40%	25	98	4				6	1	204.8	38.97	188.5
12	K0+075	I	RAP60%+BG40%	25	98	4	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
21			RAP60%+BG40%	25	98	4				6	1	204.8	38.97	188.5
13	K0+100	D	RAP60%+BG40%	25	98	4	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
22			RAP60%+BG40%	25	98	4				6	1	204.8	38.97	188.5
14	K0+125	I	RAP60%+BG40%	25	98	4	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
23			RAP60%+BG40%	25	98	4				6	1	204.8	38.97	188.5
15	K0+150	D	RAP60%+BG40%	25	98	4	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
24			RAP60%+BG40%	25	98	4				6	1	204.8	38.97	188.5
16	K0+175	I	RAP60%+BG40%	25	98	4	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
25			RAP60%+BG40%	25	98	4				6	1	204.8	38.97	188.5
17	K0+200	D	RAP60%+BG40%	25	98	4	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
26			RAP60%+BG40%	25	98	4				6	1	204.8	38.97	188.5
18	K0+225	I	RAP60%+BG40%	25	98	4	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
27			RAP60%+BG40%	25	98	4				6	1	204.8	38.97	188.5

Nota: La variación en la condición de esfuerzos se evalúa en el proceso previo al retrocálculo, para lo cual se debe verificar la proyección en el modelo estructural y realizar el análisis.

4. Conclusiones:

Procede el traslado de esta información al análisis de retrocálculo.

Elaboró: _____ Revisó: _____ Aprobó: _____
 Nombre: _____ Nombre: _____ Nombre: _____

 Universidad del Cauca Facultad de Ingeniería Maestría en Ingeniería de Pavimentos	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ	Proyecto: Mejoramiento de de la carretera XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX, departamento de XXXXXX.	Alternativa: En acopio Fuentes: RAP: - K0+000 - K0+250 (XXXX) Base Granular: YYYYYYYYYY	Formato: SP: MB-A2-03-VB Descripción: Ensayos de defletometría de la capa granular con RAP.
--	---	---	--	---

ENSAYO DE VIGA BENKELMAN

PROYECTO : Mejoramiento de de la carretera xxxxxxxxxxxxxxxx
SECTOR : K xx+xxx al K yy+yyy

Página : 1 de 1
Fecha : _____

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
1	PUNTO 1 (Arriba)	Der	Ste + Afir.		60	13	2048	507

Condiciones del ensayo: <u>Humedad y densidad de equilibrio. Carga estándar 8.2 ton</u>	RC (m)
<u>A 2.2m de la margen derecha</u>	20.3

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
2	PUNTO 1 (Arriba)	Der	Ste+Af+(Mej3"+RAP)	15	42	18	1433	701

Condiciones del ensayo: <u>Humedad y densidad de equilibrio. Carga estándar 8.2 ton</u>	RC (m)
<u>A 2.2m de la margen derecha</u>	42.7

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
3	PUNTO 1 (Arriba)	Izq	Ste + Afir.	15	50	20	1707	779

Condiciones del ensayo: <u>Humedad y densidad de equilibrio. Carga estándar 8.2 ton</u>	RC (m)
<u>A 2.2m de la margen derecha</u>	33.7

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)
4	PUNTO 1 (Arriba)	Izq	Ste+Af+(Mej3"+RAP)	15	33	18	1126	701

Condiciones del ensayo: <u>Humedad y densidad de equilibrio. Carga estándar 8.2 ton</u>	RC (m)
<u>A 2.2m de la margen derecha</u>	73.6

No	ABSCISA	MARGEN	TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	LECTURA		DEFLEXION	
					Lo	L25	Do (µm)	D25(µm)

Condiciones del ensayo: <u>Humedad y densidad de equilibrio. Carga estándar 8.2 ton</u>	RC (m)
<u>A 2.2m de la margen derecha</u>	

OBSERVACIONES:

Condiciones de humedad natural tiempo seco, geometría 2% de pendiente en descenso.

Elaboró _____	Revisó _____	Aprobó _____
Nombre: _____	Nombre: _____	Nombre: _____

	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ	Proyecto: Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto- Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño	Alternativa: In situ Fuentes: RAP: - PR 94+0960 al PR 97 (2502) Sub-Base Granular: Galindez PR 11	Formato: SP: MB-A2-03 Descripción: Ensayos de defletometría de la capa granular con RAP.
---	---	--	--	--

ENSAYOS DE DEFLETOMETRIA DE LA CAPA GRANULAR CON RAP

Objeto: El presente reporte corresponde al planeamiento y desarrollo de la evaluación estructural de la(s) capa(s) de apoyo sobre la cual se instalará la capa de material granular cuyo insumo incluye el RAP.

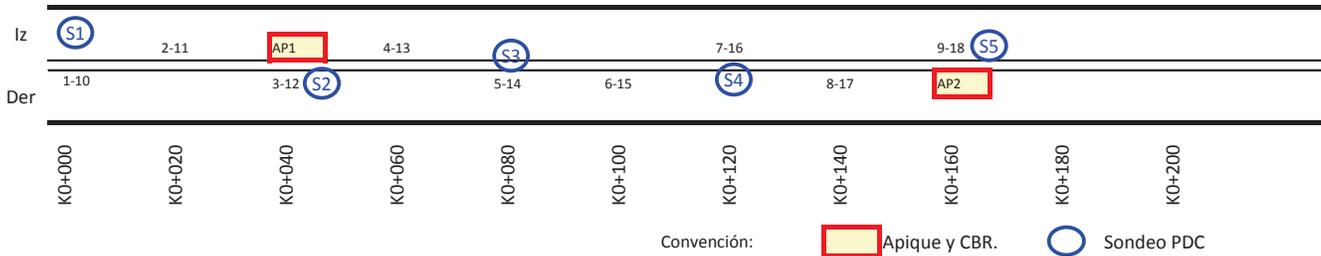
Tipo de proyecto: Rehabilitación **Alcance del proyecto:** Reconstruir la estructura del pavimento y disponer de drenaje y subdrenaje.

ENTRADAS Y SALIDAS

1. Planeamiento:

- Se considera que para efecto de aplicación en el diseño, el espesor previsto de la capa granular está identificado y no se requiere analizar este aspecto. Si así se quisiera, la evaluación procede de la misma forma como se va adelantar evaluandose los módulos obtenidos en función del espesor.
- Conforme a las condiciones de esfuerzo real a las cuales se someterá la capa granular con RAP, se realiza pruebas de defletometría con variación de la carga estándar de 8.2 ton de la volqueta calibrada y otra prueba adicional con carga de volqueta descargada.
Por lo expuesto procede a realizarse pruebas en los mismos sitios donde se evaluaron las capas de apoyo para disponer idoneidad en los resultados.

2. Esquema en Planta de la zona de evaluación y localización de los sitios de ensayo con CBR de campo y opcional PDC. (mínimo 100m)



3. Registro de Resultados de defletometría de la capa de apoyo:

No	Abscisa	I o D	Capa superficial de la Plataforma evaluada		Compactación (% Proctor)	Humedad %	Condiciones de carga			Lectura Viga		Deflexión obtenida		
			Tipo de Material	Espesor (cm)			Carga (Ton.)	Presión Inflado (PSI)	Radio (m)	Lo	L25	Do	D25	RC (m)
1	K0+000	I	RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
10			RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	3.6	80		6	1	204.8	38.97	188.5
2	K0+020	D	RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
11			RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	3.6	80		6	1	204.8	38.97	188.5
3	K0+040	I	RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
12			RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	3.6	80		6	1	204.8	38.97	188.5
4	K0+060	D	RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
13			RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	3.6	80		6	1	204.8	38.97	188.5
5	K0+080	I	RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
14			RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	3.6	80		6	1	204.8	38.97	188.5
6	K0+100	D	RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
15			RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	3.6	80		6	1	204.8	38.97	188.5
7	K0+120	I	RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
16			RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	3.6	80		6	1	204.8	38.97	188.5
8	K0+140	D	RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
17			RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	3.6	80		6	1	204.8	38.97	188.5
9	K0+160	I	RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	8.2	80		20	7	682.6	272.8	76.25
18			RAP60%+SBG40%	25	95	3.5	3.6	80		6	1	204.8	38.97	188.5

Nota: La variación en la condición de esfuerzos se evalúa en el proceso previo al retrocálculo, para lo cual se debe verificar la proyección en el modelo estructural realizar el análisis.

4. Conclusiones:

Procede el traslado de esta información al análisis de retrocálculo.

Elaboró:

Revisó:

Aprobó:

Nombre:

Nombre:

Nombre:

11 B09, SP: AI-01: Recopilación de datos de resistencia de las capas y análisis de Retrocálculo.

Este reporte corresponde a la recopilación de los datos calculados de resistencia de las capas de apoyo y la capa de material granular cuyo insumo incluye el RAP, mediante el proceso de retrocálculo con base a las condiciones desarrolladas en los ensayos de campo y laboratorio, teniendo las siguientes premisas conceptuales (Huang, 2004, pág. 59):

1. Cada capa es homogénea, isotrópica y linealmente elástica con un módulo elástico E y una relación de Poisson μ .
2. El material es ingrávido e infinito en extensión de área.
3. Cada capa tiene un espesor finito h , excepto que la capa más baja tiene un grosor infinito.
4. Una presión uniforme q se aplica sobre la superficie sobre un área circular de radio a .
5. Las condiciones de continuidad se satisfacen en las interfaces de capa, como se indica por la misma tensión vertical, esfuerzo cortante, desplazamiento vertical y desplazamiento radial.

Conforme a estas premisas, se destaca la No 4 donde en el ensayo de viga Benkelman, se ha asumido que la carga dual de la volqueta en el eje simple rueda doble, dispone una presión de contacto donde: (1) la presión de contacto se distribuye de manera uniforme en toda el área de contacto, y (2) la presión de contacto es igual a la presión de los neumáticos, así:

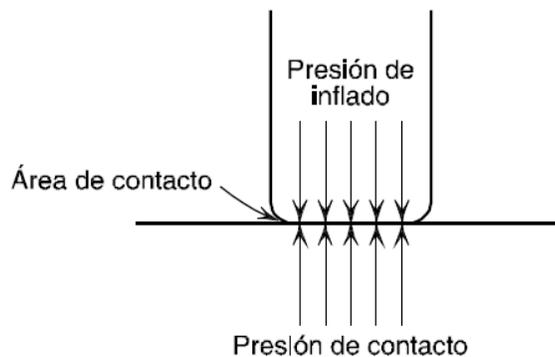
$$q = Pi ; \quad a = \frac{P}{q}$$

P : Carga aplicada.

a : Radio de carga.

q : Presión de contacto.

Pi : Presión de inflado del neumático.



Grafica No 6. Supuesto asumido de igualdad entre área de contacto y presión de inflado.

Fuente: (Higuera Sandoval, 2011).

El objeto de este sub-proceso es analizar los cálculos de la resistencia determinada con diferentes formas así:

- **TEORÍA BICAPA – BURMISTER:** Para su análisis se tiene en cuenta las siguientes premisas:
- Los esfuerzos y deflexiones dependen de la relación modular de las capas (E_1/E_2) y de la relación de espesor (h_1/a).
 - El esfuerzo vertical decrece con el incremento de la relación modular.
 - Para una determinada presión de contacto, el esfuerzo vertical aumenta con el radio de contacto y con la disminución del espesor de la capa superior.

(Huang, 2004, págs. 57-60)

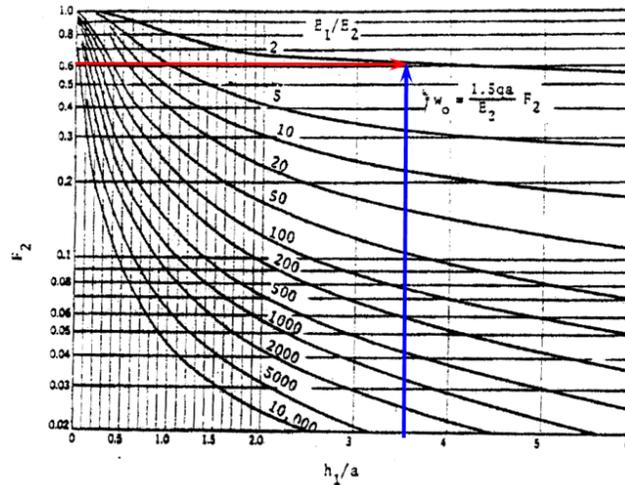
Por lo tanto, para efecto de realizar el análisis de cada punto evaluado de deflexión se ha de contar con los datos correspondientes a: La presión de contacto q , el radio de carga a , el módulo resiliente de la capa de soporte, para el caso de la subrasante M_r , el espesor de la capa evaluada h_1 y la deflexión determinada a partir del ensayo de viga Benkelman Do. Con lo cual se procede a determinar el coeficiente F_2 determinado en el modelo de Burmister según la expresión:

$$F_2 = \frac{D_o * M_r}{1.5 * q * a}$$

Por lo tanto, con el factor F_2 y la relación de espesor y radio de carga h_1/a se ingresa al ábaco de Burmister presentado en la Gráfica No 14.

ANEXO No 1

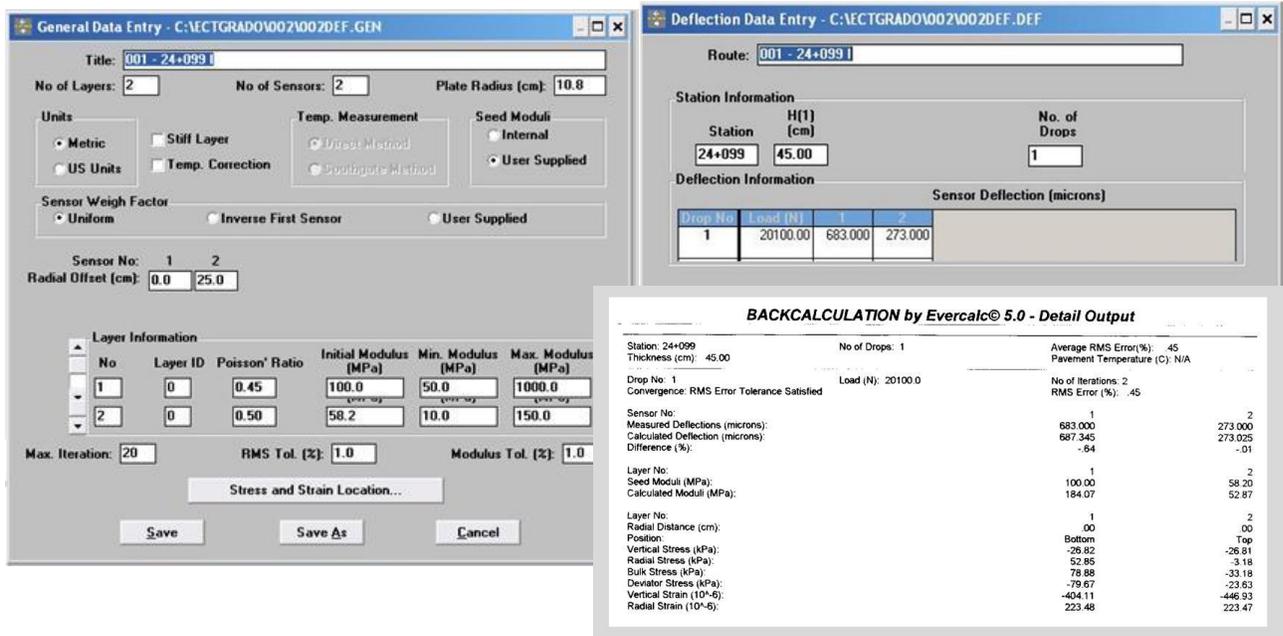
METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP



Gráfica No 7. Deflexión vertical para el sistema de dos capas (Burmister 1943).

Fuente: (Huang, 2004, pág. 60).

- RESULTADOS RETROCALCULO - SOLO DEFLEXIONES: Establecido el modelo estructural del ensayo de viga Benkelman, se procede a realizar el retrocálculo en un software donde haga el análisis del numeral 4.2.2 del presente documento consignándose las condiciones de la capa evaluada y subrasante como se observa en la Gráfica 7.



Gráfica No 8. Ejemplo del proceso de retrocálculo por el Software Evercalc para el proceso "Solo deflexiones".

Fuente: Corrida de Evercalc -Elaboración propia.

ANEXO No 1

METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP

Como se puede observar en la Gráfica 8, en el modelo “Solo deflexiones” se registra los datos de deflexiones obtenidas y se deja libre el cálculo de los módulos de ambas capas, la subrasante y la capa evaluada, sin utilizar los datos de CBR de la subrasante.

- **RESULTADOS RETROCALCULO – DEFLEXIONES Y MODULO RESILIENTE DE LA SUBRRASANTE:** De igual manera, establecido el modelo estructural del ensayo de viga Benkelman, se procede a realizar el retrocalculo, consignándose las condiciones de la capa evaluada y subrasante como se observa en la Gráfica 9; en este caso, utilizándose el módulo de la subrasante determinado mediante la expresión de Lister y Powell (1987), utilizada por la metodología mecanisista-empirico de diseño MEPDG (2004):

$$Mr = 2555 * CBR^{0.64}$$

Donde, Mr es el Modulo resiliente de la subrasante y el CBR es el valor de resistencia obtenido para el caso en el ensayo de CBR obtenido en campo.

The screenshot displays the Evercalc software interface for backcalculation. It consists of three main windows:

- General Data Entry - C:\ECTGRADO\002\1002DEF-1.GEN:**
 - Title: 001 - 24+099
 - No of Layers: 2, No of Sensors: 2, Plate Radius (cm): 10.8
 - Units: Metric (selected), US Units (unselected)
 - Temp. Measurement: Direct Method (selected), Southgate Method (unselected)
 - Seed Moduli: Internal (selected), User Supplied (unselected)
 - Sensor Weigh Factor: Uniform (selected), Inverse First Sensor (unselected), User Supplied (unselected)
 - Sensor No: 1, 2; Radial Offset (cm): 0.0, 25.0
 - Layer Information table:

No	Layer ID	Poisson Ratio	Initial Modulus [MPa]	Min. Modulus [MPa]	Max. Modulus [MPa]
1	0	0.45	100.0	50.0	1000.0
2	1	0.50	58.2		
 - Max. Iteration: 20, RMS Tol. (%): 1.0, Modulus Tol. (%): 1.0
- Deflection Data Entry - C:\ECTGRADO\002\1002DEF.DEF:**
 - Route: 001 - 24+099
 - Station Information: Station 24+099, H[1] (cm) 45.00, No. of Drops 1
 - Deflection Information table:

Drop No.	Load (N)	1	2
1	20100.00	683.000	273.000
- BACKCALCULATION by Evercalc 5.0 - Detail Output:**
 - Station: 24+099, Thickness (cm): 45.00, No of Drops: 1, Average RMS Error(%): 3.86, Pavement Temperature (C): N/A
 - Drop No: 1, Load (N): 20100.0, No of Iterations: 3, RMS Error (%): 3.86
 - Convergence: Modulus Tolerance Satisfied
 - Sensor No: 1, 2

Measured Deflections (microns)	Calculated Deflection (microns)	Difference (%)
683.000	695.860	-1.88
273.000	259.011	5.12
 - Layer No: 1, 2

Seed Moduli (MPa)	Calculated Moduli (MPa)
100.00	173.74
58.20	58.20
 - Layer No: 1, 2

Radial Distance (cm)	Position	Vertical Stress (kPa)	Radial Stress (kPa)	Bulk Stress (kPa)	Deviator Stress (kPa)	Vertical Strain (10 ⁻⁶)	Radial Strain (10 ⁻⁶)
0.00	Bottom	-28.90	46.29	63.68	-75.19	-406.10	221.38
0.00	Top	-28.90	46.29	63.68	-75.19	-406.10	221.38

Gráfica No 9. Ejemplo del proceso de retrocalculo por el Software Evercalc para el proceso "Deflexiones y Mr de la Subrasante"

Fuente: Corrida de Evercalc -Elaboración propia.

ANEXO No 1
METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP

El anterior proceso se debe realizar para cada punto evaluado, considerándose principalmente los resultados cercanos al sector donde se ha realizado los apique donde la información de resistencia de la subrasante fue obtenida en las mismas condiciones de humedad y densidad que los ensayos de viga Benkelman y a desarrollarse para cada condición de carga evaluada y espesor que haya sido identificado en el proceso previo, consignándose los datos en una tabla comparativa como se indica en la Gráfica No 10.

No	Cálculo No	Abscisa	I o D	Plataforma evaluada			Resistencia Capas Inferiores		Carga			Deflexión Medido		TEORIA BICAPA Con Do y MFI medido					Resultados Retrocálculo Solo Deflexiones				Resultados Retrocálculo Deflexiones y MRste								
				Tipo de Material	Espesor [cm]	Compactación	CBR [%]	E _{2,2} (Kg/cm ²)	P (Ton)	Q (Kg/cm ²)	a [cm]	Do	D25	F2	HVa	E ₁ MR	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)	MR Cal (Mpa)	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)	% Error	Do Cal	D25 Cal	MR (Mpa)	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)	% Error			
S	1	PR 94+0965	I	Base existente	25.0	S.E.	44.5	2436																							
				Subrasante	N.A	S.E.	14.3	986																							
				Total:	25.0																										
				Total:																											
S	1	PR 94+0965 (8.2Tn)	I	RAP60%-SBG40%	25.0		44	2436	2050	5.6	10.8	819	195																		
				Base existente	25.0																										
				Subrasante	N.A		14.3	986																							
				Total:	50.0																										
S	2	PR 94+0965 (3.6Tn)	I	RAP60%-SBG40%	25.0		44	2436	875	5.6	7.1	273	117																		
				Base existente	25.0																										
				Subrasante	N.A		14.3	986																							
				Total:	50.0																										
S	2	PR 94+0990	D	Base existente	25.0	S.E.	44.5	2436																							
				Subrasante	N.A	S.E.	14.3	986																							
				Total:	25.0																										
				Total:																											
S	1	PR 94+0990 (8.2Tn)	D	RAP60%-SBG40%	25.0		44	2436	2050	5.6	10.8	478	77.9																		
				Base existente	25.0																										
				Subrasante	N.A		14.3	986																							
				Total:	50.0																										
S	2	PR 94+0990 (3.6Tn)	D	RAP60%-SBG40%	25.0		0.98	3.54	875	5.6	7.1	239	39																		
				Base existente	25.0																										
				Subrasante	N.A		14.3	986																							
				Total:	50.0																										

Gráfica No 20. Ejemplo de registro de datos de retrocálculo del módulo resiliente de la capa granular con RAP por diferentes métodos.

Fuente: Elaboración propia.

 Universidad del Cauca Facultad de Ingeniería Maestría en Ingeniería de Pavimentos	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP	Proyecto: Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto-Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño	Alternativa: In situ Fuentes: RAP: - PR 94+0960 al PR 97 (2502) Sub-Base Granular: Galindez PR 11	Formato: SP: AI-01 Descripción: Recopilación de datos de resistencia de las capas y análisis de Retrocálculo.
	Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUÉZ			

RECOPIACIÓN DE DATOS DE RESISTENCIA DE LAS CAPAS Y ANÁLISIS DE RETROCALCULO

Objeto: El presente reporte corresponde a la recopilación de los datos obtenidos de resistencia de las capas de apoyo y la capa de material granular cuyo insumo incluye el RAP, incluye también los análisis de retrocálculo con base a las condiciones desarrolladas en los ensayos de campo y laboratorio.

Tipo de proyecto: Rehabilitación **Alcance del proyecto:** Reconstruir la estructura del pavimento, drenaje y subdrenaje. **Tipo de capa evaluada:** SBG, RAP-60%+SBG50-40%

No	Cálculo No	Abscisa	I O D	Plataforma evaluada			Resistencia Capas Inferiores		Carga			Deflexión Medido		TEORIA BICAPA Con Do y MR medido					Resultados Retrocálculo Solo Deflexiones				Resultados Retrocálculo Deflexiones y MRste					Módulo plataforma E1 = 2'q'a*(1-u²2)/Do			
				Tipo de Material	Espesor (cm)	Compacción	CBR (%)	E ₂₃ (Kg/cm²)	P (Ton)	Q (Kg/cm2)	a (cm)	Do	D25	F2	H1/a	E1/MR	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm²)	MR Cal (Mpa)	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm²)	% Error	Do Cal	D25 Cal	MR (Mpa)	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm2)	% Error	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm²)	
S	1	PR 94+0965	I	Base existente	25.0	S.E.	44.5	2436				No se dispone datos																			
				Subrasante	N.A.	S.E.	14.3	986																							
				Total :	25.0																										
1	1	PR 94+0965 (8.2Tn)	I	RAP60%-SBG40%	25.0	Total			2050	5.6	10.8	819	195	2.2	2.32					141.8	124.4	1,269	0.0	819.6	134	239	107.7	1,098	-0.1		
				Base existente	25.0		44	2436																							
				Subrasante	N.A.		14.3	986						0.89	4.63	1.26	122	1,242	146	119.0	1,213	0.0	818.6	254	97	138.7	1,414	0.1			
				Total :	50.0																										
2	2	PR 94+0965 (3.5Tn)	I	RAP60%-SBG40%	25.0	Total			875	5.6	7.1	273	117	1.12	3.54					72.06	398.3	4,062	0.0	273.7	47.6	239	242.9	2,477	-0.3	226	2,307
				Base existente	25.0		44	2436																							
				Subrasante	N.A.		14.3	986						0.45	7.09	2.65	256	2,612	41.84	348.5	3,554	0.0	273.4	94	97	326	3,324	-0.1			
				Total :	50.0																										
S	2	PR 94+0990	D	Base existente	25.0	S.E.	44.5	2436				No se dispone datos																			
				Subrasante	N.A.	S.E.	14.3	986																							
				Total :	25.0																										
1	2	PR 94+0990 (8.2Tn)	D	RAP60%-SBG40%	25.0	Total			2050	5.6	10.8	478	77.9	1.3	2.32					411	184.4	1,880	0.0	477.5	115	239	214.8	2,190	0.1		2,018
				Base existente	25.0		44	2436																							
				Subrasante	N.A.		14.3	986						0.52	4.63	2.53	245	2,494	756	183.1	1,867	0.0	474.8	221	97	341	3,477	0.6			
				Total :	50.0																										
2	2	PR 94+0990 (3.5Tn)	D	RAP60%-SBG40%	25.0	Total			875	5.6	7.1	239	39	0.98	3.54	1.10	263	2,680	298	272.9	2,783	0.0	239	46.3	239	288	2,937	0.0	259	2,637	
				Base existente	25.0		44	2436																							
				Subrasante	N.A.		14.3	986						0.40	7.09	3.05	295	3,007	292.4	264.9	2,701	0.0	238.2	91.5	97	404.7	4,127	0.3			
				Total :	50.0																										
S	3	PR 95+0010	I	Base existente	25.0	S.E.	44.5	2436				No se dispone datos																			
				Subrasante	N.A.	S.E.	14.3	986																							
				Total :	25.0																										
1	3	PR 95+0010 (8.2Tn)	I	RAP60%-SBG40%	25.0	Total			2050	5.6	10.8	546	78	1.5	2.32					438.6	155.5	1,586	0.0	545.5	119	239	179.9	1,834	0.1		1,766
				Base existente	25.0		44	2436																							
				Subrasante	N.A.		14.3	986						0.59	4.63	2.19	212	2,163	1288	156.0	1,590	0.0	543.3	229	97	268.4	2,737	0.5			
				Total :	50.0																										
2	3	PR 95+0010 (3.5Tn)	I	RAP60%-SBG40%	25.0	Total			875	5.6	7.1	376	78	1.54	3.54					139.2	187.6	1,913	0.0	376.1	51	239	165.3	1,686	-0.1	165	1,678
				Base existente	25.0		44	2436																							
				Subrasante	N.A.		14.3	986						0.62	7.09	1.77	171	1,745	115.88	178.7	1,822	0.0	375.8	102	97	205.2	2,092	-0.1			
				Total :	50.0																										

 <p>Universidad del Cauca Facultad de Ingeniería Maestría en Ingeniería de Pavimentos</p>	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP	Proyecto: Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto-Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño	Alternativa: In situ Fuentes: RAP: - PR 94+0960 al PR 97 (2502) Sub-Base Granular: Galindez PR 11	Formato: SP: AI-01 Descripción: Recopilación de datos de resistencia de las capas y análisis de Retrocálculo.
	Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ			

RECOPIACIÓN DE DATOS DE RESISTENCIA DE LAS CAPAS Y ANÁLISIS DE RETROCALCULO

Objeto: El presente reporte corresponde a la recopilación de los datos obtenidos de resistencia de las capas de apoyo y la capa de material granular cuyo insumo incluye el RAP, incluye también los análisis de retrocálculo con base a las condiciones desarrolladas en los ensayos de campo y laboratorio.

Tipo de proyecto: Rehabilitación **Alcance del proyecto:** Reconstruir la estructura del pavimento, drenaje y subdrenaje. **Tipo de capa evaluada:** SBG, RAP-60%+SBG50-40%

No	Cálculo No	Abscisa	I O D	Plataforma evaluada			Resistencia Capas Inferiores		Carga			Deflexión Medido		TEORIA BICAPA Con Do y MR medido					Resultados Retrocálculo Solo Deflexiones				Resultados Retrocálculo Deflexiones y MRste					Módulo plataforma E1 = 2*q*a*(1-u^2)/Do											
				Tipo de Material	Espesor (cm)	Compacción	CBR (%)	E _{2,3} (Kg/cm ²)	P (Ton)	Q (Kg/cm ²)	a (cm)	Do	D25	F2	H1/a	E1/MR	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)	MR Cal (Mpa)	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)	% Error	Do Cal	D25 Cal	MR (Mpa)	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)	% Error	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)									
S		PR 95+0030	D	Base existente	25.0	S.E.	44.5	2436																															
	4	PR 95+0030 (8.2Tn)	D	RAP60%-SBG40%	25.0	Total	44	2436	2050	5.6	10.8	751	351	2.0	2.32			60.7	226.9	2,313	0.0	753.8	131	239	119.3	1,216	-0.4	126	1,284										
				Base existente	25.0																																		
				Subrasante	N.A.		14.3	986						0.82	4.63	1.34	130	1,321	29.45	192.0	1,958	0.0	753.8	131	97	119.3	1,216	-0.4											
				Total :	50.0																																		
	2	PR 95+0030 (3.5Tn)	D	RAP60%-SBG40%	25.0	Total	44	2436	875	5.6	7.1	478	117	1.97	3.54			88.62	157.9	1,610	0.0	478.4	54	239	125	1,274	-0.1	129	1,318										
				Base existente	25.0																																		
				Subrasante	N.A.		14.3	986						0.80	7.09	1.38	134	1,362	67.09	148.1	1,510	0.0	477.9	124	97	156.6	1,597	0.0											
				Total :	50.0																																		
S		PR 95+0050	I	Base existente	30.0	S.E.	44.5	3341																															
	5	PR 95+0050 (8.2Tn)	I	RAP60%-SBG40%	25.0	Total	44	3341	2050	5.6	10.8	614	234	2.3	2.32			100	225.2	2,296	0.0	614.5	99	328	142.8	1,456	0.0	154	1,570										
				Base existente	30.0																																		
				Subrasante	N.A.		20.6	1245						0.84	5.10	1.31	160	1,635	68	198.7	2,026	0.0	614.4	191	122	183	1,866	0.0											
				Total :	55.0																																		
	2	PR 95+0050 (3.5Tn)	I	RAP60%-SBG40%	25.0	Total	44	3341	875	5.6	7.1	410	136	2.31	3.54			69.15	217.0	2,212	0.0	411	52	328	146.4	1,493	-0.3	151	1,538										
				Base existente	30.0																																		
				Subrasante	N.A.		20.6	1245						0.86	7.80	1.36	166	1,692	41.35	195.8	1,997	0.0	410.2	82	122	164.6	1,678	-0.1											
				Total :	55.0																																		
S		PR 95+0077	D	Base existente	30.0	S.E.	70.6	3341																															
	6	PR 95+0077 (8.2Tn)	D	RAP60%-SBG40%	25.0	Total	70.6	3341	2050	5.6	10.8	478	77.9	1.8	2.32			411.8	184.4	1,881	0.0	477.8	91.4	328	194.7	1,985	0.0	198	2,018										
				Base existente	30.0																																		
				Subrasante	N.A.		20.6	1245						0.66	5.10	1.80	220	2,241	877	183.4	1,870	0.0	476.3	180	122	272.5	2,779	0.3											
				Total :	55.0																																		
	2	PR 95+0077 (3.5Tn)	D	RAP60%-SBG40%	25.0	Total	70.6	3341	875	5.6	7.1	239	117	1.35	3.54			66.9	523.4	5,337	0.0	239.3	36	328	266.7	2,720	-0.2	259	2,637										
				Base existente	30.0																																		
				Subrasante	N.A.		20.6	1245						0.50	7.80	2.24	274	2,793	32.98	444.3	4,530	0.0	239.6	74.2	122	343.1	3,498	-0.3											
				Total :	55.0																																		

 Universidad del Cauca Facultad de Ingeniería Maestría en Ingeniería de Pavimentos	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP	Proyecto: Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto-Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño	Alternativa: In situ Fuentes: RAP: - PR 94+0960 al PR 97 (2502) Sub-Base Granular: Galindez PR 11	Formato: SP: AI-01 Descripción: Recopilación de datos de resistencia de las capas y análisis de Retrocálculo.
	Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUÉZ			

RECOPIACIÓN DE DATOS DE RESISTENCIA DE LAS CAPAS Y ANÁLISIS DE RETROCALCULO

Objeto: El presente reporte corresponde a la recopilación de los datos obtenidos de resistencia de las capas de apoyo y la capa de material granular cuyo insumo incluye el RAP, incluye también los análisis de retrocálculo con base a las condiciones desarrolladas en los ensayos de campo y laboratorio.

Tipo de proyecto: Rehabilitación **Alcance del proyecto:** Reconstruir la estructura del pavimento, drenaje y subdrenaje. **Tipo de capa evaluada:** SBG, RAP-60%+SBG50-40%

No	Cálculo No	Abscisa	I O D	Plataforma evaluada			Resistencia Capas Inferiores		Carga			Deflexión Medido		TEORIA BICAPA Con Do y MR medido					Resultados Retrocálculo Solo Deflexiones				Resultados Retrocálculo Deflexiones y MRste					Módulo plataforma E1 = 2'q'a*(1-u^2)/Do																
				Tipo de Material	Espesor (cm)	Compa ctación	CBR (%)	E ₂₃ (Kg/cm ²)	P (Ton)	Q (Kg/cm2)	a (cm)	Do	D25	F2	H1/a	E1/MR	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)	MR Cal (Mpa)	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)	% Error	Do Cal	D25 Cal	MR (Mpa)	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm2)	% Error	E1 (Mpa)	E1 (Kg/cm ²)														
S	7	PR 95+0090	I	Base existente	30.0	S.E.	44.5	3341																																				
				Subrasante	N.A.	S.E.	20.6	1245																																				
				Total :	25.0																																							
1	7	PR 95+0090 (8.2Tn)	I	RAP60%-SBG40%	25.0	Total	44	3341	2050	5.6	10.8	375	234	1.4	2.32					74.6	718.3	7,325	0.0	376.2	85	328	265	2,702	-0.2	252	2,568													
				Base existente	30.0																																							
				Subrasante	N.A.			20.6						1245																														
2	7	PR 95+0090 (3.5Tn)	I	RAP60%-SBG40%	25.0	Total	44	3341	875	5.6	7.1	205	39	1.15	3.54					285	333.7	3,403	0.0	205	35	328	322.3	3,286	-0.1	302	3,076													
				Base existente	30.0																																							
				Subrasante	N.A.			20.6						1245																														
				Total :	55.0								0.43	7.80	2.69	328	3,347	242	319.4	3,257	0.0	204.7	71.7	122	434.9	4,435	0.1																	

Conclusiones:

Una vez determinado todos los valores de módulos obtenidos a partir de diferentes métodos y condiciones se observa que:

1) Se procedió a evaluar la consistencia de resultados, observándose que los valores obtenidos en **puntos donde no se dispuso en el mismo sitio la valoración de la subrasante y capa de apoyo** de la capa a evaluar (RAP60%-SBG40%) se encontró que **por la variabilidad de deflexiones obtenidas respecto a las deflexiones donde si se disponian de los ensayos** previos, éstas deflexiones inducían a valores aunque en rango aceptables para materiales de tipo sub-base **algo diferentes a los determinados donde se realizaron apiques**; variación que se acredita principalmente a las capas subyacentes a la capa evaluada, en tal sentido, **estos resultados se descartan** como valores de módulo obtenido del modelo aplicado.

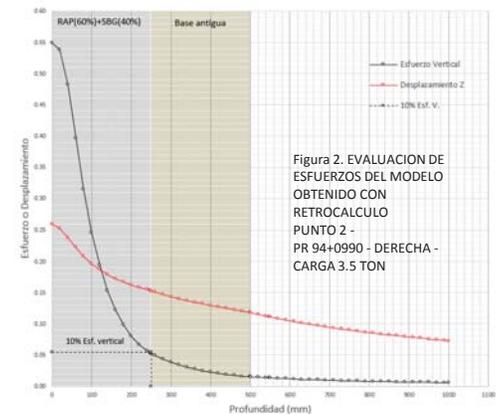
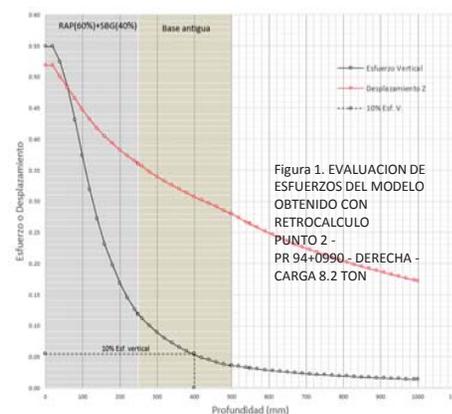
2) En los **punto 2, 6 y 7 donde si se disponian resultados directos de resistencia de las capas subyacentes** se observan datos muy parecidos y entre las diferentes metodologías con las cuales se obtuvieron los módulos de la capa objetivo se denota consistencia, **pero por efecto del resultado de resistencia** obtenido en las capas subyacentes, los puntos 6 y 7 **disponen valores altos del módulo calculado**; además, considere que tanto la resistencia es la menor obtenida y la humedad es sensiblemente cercana al equilibrio para zona del proyecto. Entoces se descartan estos puntos 6 y 7.

3) **Se escoge entoces como información primaria el punto evaluado en la zona del primer apique (el No 2)**, ahora se procede a observar primero que, el análisis realizado por los diferentes métodos de cálculo denota **que lo más real posible es el realizado considerando la resistencia obtenida en campo de las capas subyacentes**, esto es el determinado mediante retrocálculo asumiéndose el módulo de la capa de apoyo y subrasante, el cual se separó en dos (2), el de abajo con los dos datos de subrasante y capa de apoyo, y el de arriba el modelo aplicándose el valor obtenido con la fórmula adoptada por la Shell para material granular como soporte.

4) Para efecto de valorar las condiciones de esfuerzo a las que estuvo sometida la capa objetivo, se trasladó el modelo estructural de cada una en un software de diseño elástico, para el caso se utilizó WinJulea, donde se obtuvieron las curvas de esfuerzo y desplazamiento, donde **se encontró que en el modelo de carga de 3.5 ton, el 90% esfuerzo se concentró en la capa evaluada**, en cambio en el modelo de carga de 8.2 ton el esfuerzo se dispó casi al llegar a la subrasante distribuyéndose en todo el espesor.

5) Considerándose que la capa evaluada presenta mejores características que subyacente (para el caso la base antigua), la capa evaluada debe disponer un mayor valor, es así como el efecto del análisis de la conclusión anterior refleja **que al disponer una carga menor se determina el módulo de la capa superficial**, para el caso la capa objetivo y al contrario, la de carga mayor determina el módulo del conjunto; por lo tanto, se adopta como módulo el obtenido en esta condición esto es $M_r(RAP+SBG) = 404.7 \text{ Mpa}$. Su diferencia refleja el comportamiento normal de los granulares y la subrasante bajo la carga impuesta.

6) Procede el análisis estructural y determinación del módulo adoptado para la estructura, previendo la condición de esfuerzos y ajuste requerido.



Elaboró: _____ Revisó: _____ Aprobó: _____
 Nombre: _____ Nombre: _____ Nombre: _____

12. B10, SP: AI-02: Análisis de resistencia característica adoptada para el diseño.

En este reporte se consigna el análisis de la resistencia característica de la capa granular con contenido de RAP, con base a los datos obtenidos del proceso de retrocalculo, para lo cual se evalúa la consistencia de los resultados de cada una de las pruebas verificándose la homogeneidad de los resultados y las posibles diferencias para determinarse el resultado más idóneo que establezca la resistencia obtenida en el modelo adoptado en los ensayos.

Como es de esperar por la diferente condición de esfuerzos entre el del modelo del ensayo de viga benkelman y el que se requiera en el diseño, el módulo deberá determinarse específicamente para el modelo estructural propuesto en el diseño.

Para efecto de determinar el modulo a adoptar para el diseño se considera lo expuesto en Numeral 4.2.1 del presente documento, donde se expone la ecuación del Módulo Resiliente denominada modelo del esfuerzo bulk o también conocido como modelo K- Θ , el cual fue propuesto por Seed y otros en 1967. (Leal Noriega, 2010, pág. 26).

$$MR = K_1 * \theta^{K_2}$$

Donde:

MR = Módulo resiliente del material granular a evaluar.

K1 y K2 son obtenidas experimentalmente y Θ es la suma de los esfuerzos principales, el cual puede ser la suma de los tres esfuerzos normales, σ_x , σ_y y σ_z o la suma de los tres esfuerzos principales σ_1 , σ_2 y σ_3 .

De los coeficientes de dicha ecuación K1 y K2, K2 correspondiente a la pendiente de la recta que determina el comportamiento entre el módulo resiliente y la invariante de esfuerzos en el sistema Log (Mr) versus. Log (Θ), el cual en la metodología propuesta sería adoptado con base en resultados experimentales de referencia.

Por otra parte, el coeficiente K1 que corresponde al valor de Log (Mr) cuando el Log (Θ) = 0, en el sistema mencionado, aunque se obtiene igualmente con el ensayo de Módulo resiliente, se puede determinar con la metodología propuesta, disponiéndose del dato adoptado de K2, el dato de resistencia obtenido por retrocalculo y de la evaluación de esfuerzos del modelo aplicado del ensayo de viga benkelman, extrayéndose de dicho análisis el invariante de esfuerzos en el medio de la capa analizada; por lo tanto, la ecuación del material Granular Con RAP y material granular adicionado dependerá entonces de los tres (3) datos disponibles en la metodología propuesta:

- K2, de resultados experimentales de referencia (Estudios externos).
- Mr, del módulo seleccionado de los análisis de retrocalculo de los ensayos de viga benkelman.
- y Θ , del análisis de esfuerzos, mediante la suma de esfuerzos principales del modelo estructural desarrollado en campo con el ensayo de viga benkelman.

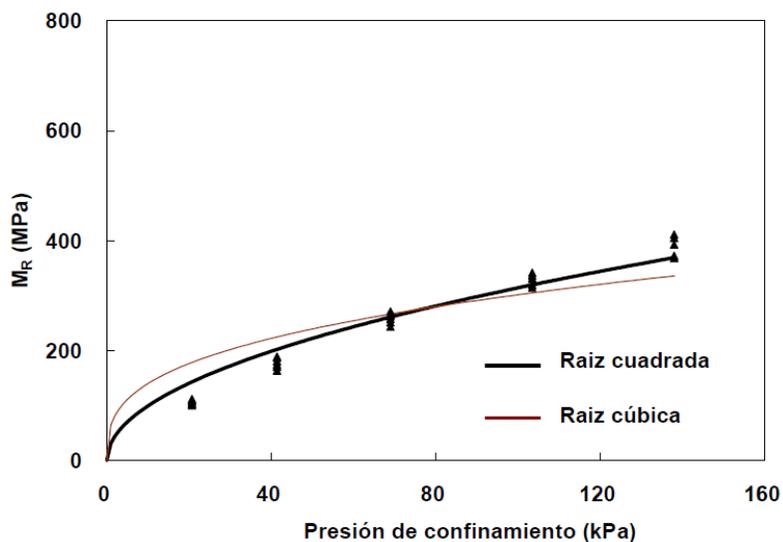
Para tal efecto, se deberá proceder a resolver la ecuación lineal del modelo bi-logaritmico entre el Mr y Θ , de donde K2 es la pendiente y K1 es se resuelve al disponer de un dato de resistencia (Mr obtenido del retrocalculo) y Θ de la suma de esfuerzos principales en el centro de la capa determinado en un software de análisis de esfuerzos y deformaciones modelado la condición del ensayo de viga benkelman así:

Del modelo de una ecuación lineal: $Y - Y1 = m (X - X1)$, donde $Y = \text{Log}(\text{Mr})$ y $X = \text{Log}(\Theta)$, los valores de Y1 y X1 son los determinados con base en los datos del ensayo de viga benkelman y m = la pendiente de la recta que será el valor de K2 (adoptado), procediendo a despejar Mr cuando $\text{Log}(\Theta) = 0$, para obtener el coeficiente K1 y por ende la ecuación del material.

Respecto a resultados de resistencia experimentales de referencia en el uso del RAP en capas de Base y Sub-base granular, el Departamento de Transporte de Minnesota, Estados Unidos, desarrolló en 2007, un estudio detallado donde desarrolló pruebas dinámicas de Mr mediante el protocolo de

prueba 1-28A² a diferentes combinaciones de materiales de RAP y granulares de aporte (%RAP/agregado adicional: 0/100, 25/75, 50/50, 75/25), variándose las condiciones de humedad y densidad para cada mezcla, obteniéndose resultados satisfactorios en cuanto al comportamiento y resistencia del material, determinándose entre otros aspectos lo siguiente:

A partir de la teoría de contacto hertzianas de esferas sometidas a carga normal, se puede demostrar que el módulo tangente depende de la raíz cúbica de la presión de confinamiento. Sin embargo, una dependencia de la raíz cuadrada se ajusta mejor a los datos. (Kim & Labuz, 2007, pág. 55) , Véase Gráfica 19. Siendo así el análisis realizado en dicho estudio, en la determinación de los coeficientes para todas las muestras ensayadas se determinó que el coeficiente K2 es 0.5, obteniéndose un coeficiente de correlación mayor a 0.9 para todas las muestras ensayadas. (Kim & Labuz, 2007, pág. 55) .



Gráfica No. 31. Ejemplo de datos del ensayo en un material con, 75% de agregado – y 25% RAP

Fuente: (Kim & Labuz, 2007, pág. 55).

² National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) 1-28A test protocol.

ANEXO No 1
METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES
DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP

Para referencia de los valores de K1 y K2 obtenidos en el estudio mencionado, a continuación se presentan los resultados de los coeficientes para todas las muestras analizadas. Véase Tabla No 1 del presente anexo.

ID	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	$MR = K_1 * \theta^{K_2}$		
		k ₁	k ₂	R ²
S_5.1	CR 3_Blend_65	4764	0.50	0.97
S_7.8	CR 3_Blend_100	3903	0.50	0.97
T_5.7	CR 3_100%A_65	3895	0.50	0.98
T_8.8	CR 3_100%A_100	3112	0.50	0.97
U_5.7	CR 3_75%A-25%R_65	4697	0.50	0.99
U_8.7	CR 3_75%A-25%R_100	3122	0.50	0.95
V_5.2	CR 3_50%A-50%R_65	4657	0.50	1.00
V_8	CR 3_50%A-50%R_100	3481	0.50	0.91
W_4.7	CR 3_25%A-75%R_65	6009	0.50	0.99
W_7.2	CR 3_25%A-75%R_100	4515	0.50	0.97
X_3.5	TH 23_Blend_65	4334	0.50	0.99
X_5.4	TH 23_Blend_100	3934	0.50	0.98
Y_3.7	TH 200_Blend_65	4739	0.50	0.97
Y_5.7	TH 200_Blend_100	3804	0.50	0.92

Convenciones:

Origen de las muestras:

CR 3 = Country Road 3, Condado Writht, Minnesota
 TH 23 = Trunk Highway 23, Wikipedia, Minnesota
 TH 200 = Trunk Highway 200, Ada, Minnesota

Condición de mezcla del material:

Blend = Mezcla In-situ
 XX %A = XX % de Agregado nuevo.
 XX %R = XX % de RAP.

Condición de compactación:

_65 = Densidad al 65% Proctor
 _100 = Densidad al 100% Proctor

Tabla 1. Coeficientes K1, K2 y Correlación R2 obtenidos en el estudio realizado por la Universidad de Minnesota

Fuente: (Kim & Labuz, 2007, pág. 56).

Entonces, obtenida la ecuación del módulo resiliente del material Granular Con RAP y material granular adicionado, se debe tener en cuenta que en el ensayo de viga benkelman, el módulo obtenido del material por retrocalculo será un valor elevado, porque en esa condición el material estaría expuesto a un gran esfuerzo, donde la presión ejercida está directamente sobre el material y en cambio, cuando el material yace en una capa debajo de otras (carpeta asfáltica y/u otras), la invariante de esfuerzos es menor y entonces al aplicarse en la ecuación de Mr del material, el módulo se reducirá conforme a lo tratado en el Numeral 4.2.1 del documento principal. Entonces, en la metodología propuesta, se ha considerado calcular el módulo del material en las condiciones de emplazamiento de la capa en el modelo del diseño previsto, realizándose una corrida preliminar de análisis de esfuerzos y deformaciones para extraer de ella, los datos de esfuerzos principales y

ANEXO No 1
METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES
DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP

aplicarse con éstos su sumatoria para obtener la invariante de esfuerzos que sería implementada en la ecuación obtenida determinándose el módulo real del material granular con RAP en la estructura propuesta para el diseño.

 <p>Universidad del Cauca Facultad de Ingeniería Maestría en Ingeniería de Pavimentos</p>	<p>Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP</p> <p>Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ</p>	<p>Proyecto: Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto- Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño.</p>	<p>Alternativa: En acopio o In situ</p> <p>Fuentes: RAP: - PR 94+0960 al PR 97 (2502) Base Granular: Galindez PR 11</p>	<p>Formato: SP: MB-A2</p> <p>Descripción: Análisis de resistencia característica adoptada para el diseño</p>
--	--	---	---	--

ANÁLISIS DE RESISTENCIA CARACTERÍSTICA ADOPTADA PARA EL DISEÑO

Objeto: El presente reporte es la consignación del análisis de la resistencia característica de la capa granular con contenido de RAP con base a los datos obtenidos del proceso de retrocálculo, para lo cual se evalúa las condiciones del ensayo, las condiciones de esfuerzos y su proyección de resistencia para el diseño.

Para efecto de determinar el módulo a proyectar para el diseño se adopta el modelo del esfuerzo bulk o también conocido como modelo K-θ, el cual fue considerado el mejor procedimiento para la determinación del módulo resiliente de suelos granulares y fue propuesto por Seed y otros en 1967.

Donde:

$$MR = k_1 \theta^{k_2} \quad \text{Ecuación 1}$$

MR = Módulo resiliente del material granular a evaluar

K1 y K2 son obtenidas experimentalmente y θ es la suma de los esfuerzos principales, el cual puede ser la suma de los tres esfuerzos normales, σx, σy y σz o la suma de los tres esfuerzos principales σ1, σ2 y σ3, donde K1 a determinarse con base al ensayo y K2 con base a experimentación de diferentes autores.

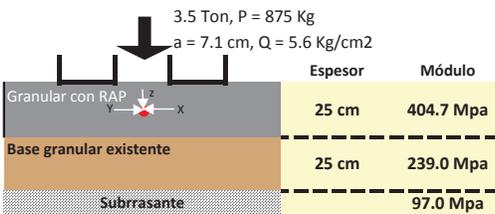
$$\theta = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$$

- Si fuese necesario ajustar el módulo obtenido en Retrocálculo por efecto de la Rigidez relativa de las capas asfálticas que puedan estar por encima del granular evaluado, entonces se tiene que considera su efecto de rigidez y tiempo de aplicación de la carga ; por lo tanto, considerándose que los ensayos se los realizó directamente sobre el granular, no procede el ajuste:

$$MR = MR_{vb} / 1.00 \Rightarrow MR = 404.7 \text{ Mpa} \times 1.00 = 405 \text{ Mpa} = 4127 \text{ Kg/cm}^2$$

- Determinar a partir del modelo elástico del ensayo de viga Beankeman con la carga del ensayo y módulo seleccionado los esfuerzos principales en la mitad de la capa, para lo cual con se somete el modelo a un software, para el caso WinJulea.

MODELO ESTRUCTURAL DEL ENSAYO



RESULTADO DE LOS ESFUERZOS

En h = 12.5 cm

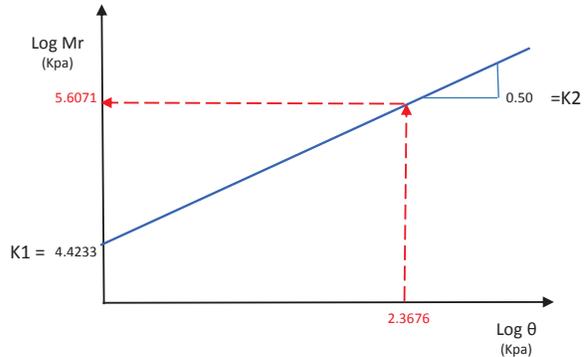
σ1 = 1.94E-01 Mpa =>	193.9	} => 233.2 Kpa
σ2 = 2.36E-02 Mpa =>	23.6	
σ3 = 1.57E-02 Mpa =>	15.7	

$\theta = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$

- Teniendo en cuenta que en la grafica de la Ecuación 1, los valores de Módulo e invariante de esfuerzos se encuentran afectados por logaritmo determinando para el caso de granulares un comportamiento lineal en dicho sistema y teniendo en cuenta que el valor K2 es la pendiente, a continuación se determinan los valores de Mr y θ para esa condición así:

$$Mr = 404700.0 \text{ Kpa} \Rightarrow \text{Log} (404,700) = 5.6071$$

$$\theta = 233.2 \text{ Kpa} \Rightarrow \text{Log} (233.150) = 2.3676$$



- Considerando los valores recomendados para el comportamiento de bases y sub-bases, el valor de K2 se encuentra entre 0.5 y 0.7, para lo cual se adopta el valor de **K2=0.6**.
- Considerese que disponiendo K2, se dispone de la pendiente de la recta en la gráfica y con los valores de LogMr y Logθ se dispone de lo necesario para construir la ecuación de la recta en el sistema doblemente logarítmico.

De la teoría lineal:

Y - Y1 = m (X - X1), donde Y = LogMr y X = Log θ y los valores de Y1 y X1 son los determinados anteriormente entonces:

$$Y - 5.6071 = 0.5 (X - 2.3676)$$

Y = 0.5 X + 4.4233 => Si la variante de esfuerzos en la condición corte con el eje de LogMr de la gráfica es 0, entonces se despeja Mr así:

$$Y = 4.4233$$

Siendo Y = LogMr => LogMr = 4.4233, Despejando: Mr = 10^(4.4233) => Mr = 26,504.2 Kpa, para θ = 0

Ahora bien, obtenido los componentes de la Ecuación 1, ésta queda construida de la siguiente manera: Mr = 3,844.1 PSI

MR = 26,504 x (θ) ^ 0.50, Al aplicar la expresión con el valor de invariante esfuerzos en las condiciones de diseño se tiene que:

$$MR = 26504 \times (46.24) ^ 0.5 = 180,238 \text{ Kpa} \Rightarrow 180.2 \text{ Mpa} \quad 1,837.9 \text{ Kg/cm}^2 \quad 26,141 \text{ PSI}$$

Conclusión:

Con el módulo obtenido se procede a utilizar el resultado en el modelo estructural del ajuste del diseño.

Elaboró:

Revisó:

Aprobó:

Nombre:

Nombre:

Nombre:

13. B11, SP: AI-03: Ajuste del diseño y comparación de costos.

En este reporte se presentan las observaciones al diseño disponible del tramo evaluado, extrayendo los datos que reflejan la resistencia del material granular compuesto por RAP; se presenta además el ajuste del diseño con dichas características y la aplicación de la resistencia obtenida para un nuevo ajuste; finalmente la evaluación de costos respecto al proyecto inicial, observándose la reutilización del RAP y la optimización del diseño del pavimento.

En este subproceso es necesario revisar el diseño en todos sus aspectos:

- El tránsito, verificándose la idoneidad de la información base y las proyecciones realizadas aplicándose procedimientos para determinar el espectro de cargas y el adecuado cálculo del factor daño.
- La adecuada resistencia de la subrasante con base en la evaluación de los factores ambientales y climáticos propios de la zona del proyecto.
- La apropiada adopción del Módulo dinámico de la mezcla asfáltica o capa de rodadura, igualmente conforme a clima y la velocidad de operación del sector.

Una vez determinado el ajuste del diseño es factible hacer las comparaciones de costos, tanto de la capa evaluada como de la estructura de pavimento diseñada, para determinar finalmente las ventajas o desventajas si las hubiere, tanto del ajuste global del diseño como de la determinación de la resistencia del granular con RAP adoptado en el proyecto vial.

	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ	Proyecto: Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto- Mojarra sector Cano Mojarra Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño.	Alternativa: En acopio o In situ Fuentes: RAP: - PR 94+0960 al PR 97 (2502) Base Granular: Galindez PR 11	Formato: SP: MB-A3 Descripción: Ajuste del diseño y comparación de costos
---	---	---	--	---

AJUSTE DEL DISEÑO Y COMPARACIÓN DE COSTOS

Objeto: En el presente reporte se presentan las observaciones al diseño disponible del tramo evaluado, extrayendo los datos que reflejan la resistencia del material granular compuesto por RAP; se presenta además el ajuste del diseño con dichas características y la aplicación de la resistencia obtenida para un nuevo ajuste; finalmente la evaluación de costos respecto al proyecto inicial, la reutilización del RAP y la optimización del diseño del pavimento.

1) REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE EN EL DISEÑO DISPUESTO EN EL PROYECTO:

H	C.A: MDC19 CA TIII H.P.	Metodo AASHTO/93				Verificación Método Racional						
		ai	Ei			Cd	Condiciones evaluadas			μ	Condiciones evaluadas	
			Kg/cm ²	PSI	Mpa		1) Clima: TMAP: 18 a 24°C; Precipitación media anual: 1.000 -1.500 mm/año	Kg/cm ²	PSI			Mpa
14 cm	BG-40	0.35	27,532	391,602	2,700	1	2) Periodo de Diseño: 10 años	20,000	284,467	1,961	0.35	1) Clima: Se insiste en la condición sumergida de la subrasante.
20 cm	SBG: RAP60%-SBG-50 40%	0.14	2,109	29,997	206.8	1	3) Tránsito: N = 14'358.018 E8.2Ton, crecimiento 4.48%	1,800	25,602	176.5	0.4	2) Periodo de Diseño: 10 años
25 cm	GR: (Clasificación SM)	0.12	1,054	14,991	103.4	1	4) Confiabilidad 90%, Error estandar Zr=1.282; Error estandar So=0.49	1,800	25,602	176.5	0.4	3) Tránsito: Se mantiene el valor se evalua para Eje estandar 8.2 Ton. El espectro obtenido no refleja análisis.
35 cm	STE: (Clasificación CL)	0.1	984	13,996	96.5	0.9	5) Serviciabilidad: So = 4.2, Sf = 2.0	1,800	25,602	176.5	0.4	Resultado: Se determinan deformaciones pero no se evidencia calculo de consumos.
		CBR 4.5%	450	6,400	44.1		6) Resistencia subrasante: Se postula la resistencia en condición sumergida. Resultado: SN = 5.18 Requerida SN = 5.45 Ofrecido	450	6,400	44.1	0.5	

- Variable clima:** Se considera indispensable evaluar este aspecto que en contraste con las condiciones de la zona no corresponden con la realidad.
- Variable Tránsito:** Aunque el análisis de crecimiento y determinación del TPD son válidos, es necesario ajustar y sustentar la determinación de la proyección del factor camión y determinación por espectro de carga de la variable tránsito.
- Módulos de los materiales:** Además de la deficiencia en la el efecto de la variable clima que afecta el módulo de la subrasante principalmente, se observa que es indispensable que haya coherencia de los módulos entre el diseño realizado por el AASHTO 93 y la verificación por el método Racional.

2) **REVISIÓN, AJUSTE Y OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DEL PROYECTO:** A continuación se presenta el ajuste de las variables detalladas anteriormente y la implementación de la determinación del módulo del material granular con insumo de RAP obtenido en el proceso. Para tal efecto, se desarrollan tres (3) corridas a), b) y c) por el método Racional por Consumos aplicandose conceptos de fatiga del INA y la Shell y evaluandose por consumos del espectro de carga.

Nota: Para los tres (3) analisis expuestos se evaluó el tránsito por espectros de carga y se encontró que $N_{8.2Ton}$ adoptado por el consultor es muy aproximado al analisis realizado obteniendose: Diseñador (14'358.018) vs Obtenido de la revisión (14'157.937). Igualmente se procuró disponer para todos los casos los mismos espesores de las capas involucrados por que corresponde a los mínimos posibles y unicamente en la optimización se varió el espesor de la carpeta asfáltica.

- Evaluación del diseño con las condiciones de módulos consignadas en el estudio del proyecto : Véase Anexo No 1 del SP: AI-03**
 Como se puede denotar en el diseño hecho mediante el método AASHTO 93, el consultor aunque escribe unos módulos, asume unos coeficientes estructurales ai que no son conformes con la correspondencia de modulos de la metodología; Ei: a1 (CA) =0.35, el modulo seria segun la metodología 1.969 Mpa y se denota en el informe que es 2700 Mpa. Por lo tanto se procedió a realizar la modelación con los modulos según el método AASHTO 93 para que haya correspondencia en el análisis. Los parámetros de resistencia de la subrasante se mantiene en condiciones de inmersión del CBR asignado.
Resultados: Por tal efecto el consumo en **fatiga** evaluado por el INA se obtiene un consumo elevado de **11.438%**, aunque el **ahuellamiento** es bajo, por efecto del considerable espesor de las capas granulares con un consumo del **6%**, a pesar de la deficiente proyección de resistencia de la subrasante, determinandose que el modelo estructural se encuentra sub-diseñado.
- Evaluación del diseño con las condiciones de módulos adoptados en la Metodología AASHTO 93: Véase Anexo No 2 del SP: AI-03**
 Para esta evaluación se adopta los módulos con el ajuste pertinente, los granulares con base al módulo de la subrasante (en inmersión) y la Mezcla asfáltica con base en las condiciones del Clima del proyecto (para ello se analizó las estaciones metereologicas cercanas al proyecto para determinar la temperatura media mensual), determinandose E_{ca} a una temperatura de 30.4°C y a 10 Hz., con base a una Temperatura media mensual de 22.5°C.
Resultados: Como se observa con los módulos adoptados según los coeficientes asumidos por el consultor según el metodo AASHTO 93, los modulos determinan un consumo a la **fatiga** aún muy alto de **3.216%** (INA) y 168.5% (SHELL), lo cual significa que la estructura está subdiseñada. Obsérvese que el consumo en **ahuellamiento** es mayor obteniendose un valor de **19.4%**. Tal aspecto del ahuellamiento se debe a la evaluación de las características de la subrasante que debe ajustarse a las nuevos procesos de evaluación del factor Clima, el cual si se lo modifica en la presente evaluación del diseño cambiaría toda la condicion de esfuerzos en el paquete estructural.

Como conclusión, teniendo una deficiencia en la determinación de resistencia de la subrasante en inmersión y disponiendo consumos muy elevados, **fué factible optimizar el diseño**. Para este caso, para adoptar el **módulo de la capa granular con RAP** procedio a disponer el obtenido del **coeficiente estructural adoptado por el consultor**.

 Universidad del Cauca Facultad de Ingeniería Maestría en Ingeniería de Pavimentos	Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP	Proyecto: Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto- Mojarra sector Cano Mojarra Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño.	Alternativa: En acopio o In situ Fuentes: RAP: - PR 94+0960 al PR 97 (2502) Base Granular: Galindez PR 11	Formato: SP: MB-A3 Descripción: Ajuste del diseño y comparación de costos
	Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ			

AJUSTE DEL DISEÑO Y COMPARACIÓN DE COSTOS

c) Optimización del diseño con las condiciones de módulos analizados en cada capa: Véase Anexo No 3 del SP: AI-03

Para proceder al ajuste fue necesario aplicar la nueva metodología del AASHTO 2008 para lo siguiente:

Factor clima: $(Mr/Mropt) = 0.75$ Afectación de subrasante $(CBROpt = 14.3\%)$ obtenido en ensayo de campo). No se observó afectación del clima en los granulares evaluándose sus propiedades.

Evaluación de consumos: Se aplicó la evaluación por fatiga de abajo hacia arriba con el método del INA y la Shell para MDC.

Resistencia de la carpeta asfáltica: Para el módulo de la carpeta asfáltica E_{ca} se realizó la curva maestra para determinar el módulo a una temperatura de $30.4^{\circ}C$ y a 10 Hz., con base a una Temperatura media mensual de $22.5^{\circ}C$.

Resistencia de la capa granular de RAP: Para determinar el módulo de la capagranular con RAP se determinaron los esfuerzos principales en el prediseño, observándose que el **módulo obtenido (1837 Kg/cm²)** a partir del **subproceso SP: MB-A2** era consistente con el adoptado, encontrándose que existe consistencia con los valores típicos para sub-base dejando como **valor asignado en la optimización el adoptado de 1837 Kg/cm²**.

Resultados: Con los ajustes de módulos de las capas, sustentados con análisis más profundo se evidencia un contraste absoluto con lo proyectado en el diseño del proyecto; es así como **la subrasante** paso de disponer apenas un **Mr de 452 Kg/cm² a un Mr de 739 Kg/cm²** y **la carpeta asfáltica** paso de **$E_{ca} = 19.686 \text{ Kg/cm}^2$ a 40.161 Kg/cm^2** y por efecto de la capacidad de soporte de la subrasante los módulos resilientes de las capas granulares aunque variaron muy poco, se han dispuesto con valores acordes a las características típicas de los mismos, incluyéndose en éstos **la capa granular con RAP** que **paso de disponer de un Mr de 1207 Kg/cm² a 1837 Kg/cm²**.

De los cambios mencionados, se evidencia que el proyectista desconoció los propios resultados anexos al estudio, desestimándose principalmente las propiedades de una MDC con Asfalto Modificado con polímeros de Alto desempeño, el cual evidencia un desempeño muy diferente al de una MDC normal y que conforme a la proyección de su diseño de mezcla se adapta a las condiciones climáticas del proyecto.

En la evaluación del **prediseño se realizó variación centímetro a centímetro del espesor de la carpeta asfáltica** y no de las demás capas granulares, debido a que los espesores dispuestos de los granulares principalmente del granular remanente y la capa granular con RAP son determinados como los existentes o mínimo posible de aboradar y la capa granular de base dispone un espesor mínimo para la condición del proyecto de una carretera importante como lo es la Panamericana.

En el análisis **del espesor** de la carpeta asfáltica que se incrementó **de 14cm a 22cm**, se refleja lo siguiente:

Como se observa con los módulos adoptados según los soportes del consultor son soportados mediante el análisis de la Curva Maestra para la MDC, el módulo de la subrasante fue afectado por el Factor Clima y el Módulo del material Granular con RAP, según el análisis determinado en la metodología. Observado el análisis con un espesor de C.A. de 22 cm se determinó un consumo a la **fatiga 91.5% (INA)** y **27.1% (SHELL)**, lo cual significa que la estructura estuvo subdiseñada. Obsérvese que el consumo en **ahuellamiento** disminuyó obteniéndose un valor de **1.8%** respecto al determinado anteriormente de 19.4%.

COMPARACION DE LAS ESTRUCTURAS EVALUADAS:

CAPA ESTRUCTURAL	a) Con módulos del proyecto						b) Con lo ajustado según soporte						c) Optimización del diseño					
	Espesor cm	Ei			Consumos %		Espesor cm	Ei			Consumos %		Espesor cm	Ei			Consumos %	
		Kg/cm ²	PSI	Mpa	Fatiga	Ahuell.		Kg/cm ²	PSI	Mpa	Fatiga	Ahuell.		Kg/cm ²	PSI	Mpa	Fatiga	Ahuell.
Carpeta Asfáltica - CA Mod. III - HP	14	19,686	280,001	1,930.5	11,488 %	6%	14	40,161	571,224	3,938.4	3216 %	19.4%	22	40,161	571,224	3,938.4	91.5%	1.8%
Base Granular BG-40	20	2,109	30,000	206.8			20	3,059	43,511	300.0			20	3,000	42,670	294.2		
Sub base granular:SBG: RAP60%-SBG-50 40%	25	1,207	17,162	118.3			25	2,549	36,259	250.0			25	1,837	26,128	180.1		
Granular remanente: GR: (Clasificación SM)	35	984	14,000	96.5			35	1,295	18,420	127.0			35	1,200	17,068	117.7		
Subrasante	-	452	6,429	44.3	-	452	6,429	44.3	-	739	10,511	72.5	OBSERVACION FINAL:					
Deficiencia de módulos adoptados a pesar de ellos se evidencia sub-diseño						Deficiencia en la evaluación subrasante y se evidencia sub-diseño						Diseño consistente con la realidad del proyecto y conforme a la tecnología.						

3) EVALUACION DE COSTOS REFERENTES AL USO DEL RAP Y LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO:

a) Costo de la actividad de disponer Sub-base Granular SBG50 al 100% versus Sub-base Granular RAP60% SBG50 40%:

ACTIVIDAD x m3	EQUIPO	MATERIALES	TRANSPORTE			M.O.	AUI	VR. TOTAL	%
			DISTANCIA	VR/UNITARIO	VR PARCIAL				
Sub base granular:SBG-50	7,593	57,488	30	722	28,163	344	29,948	123,536	100
Sub base granular:SBG: RAP60%-SBG-50 40%	7,593	24,980	30	722	10,832	344	14,000	57,749	47
AHORRO por m3:								65,787	53

ACTIVIDAD x m3	EQUIPO	MATERIALES	TRANSPORTE			M.O.	AUI	VR. TOTAL	%
			DISTANCIA	VR/UNITARIO	VR PARCIAL				
Fresado convencional	16,597	780	10	722	9,027	401	8,577	35,382	100
Fresado para reutilización del RAP	26,404	0	0	722	0	401	8,578	35,382	100
AHORRO por m3:								0	0

La diferencia del costo en el equipo radica en la mezcla del material en el sitio con la fresadora u otro equipo para esta actividad.

 <p>Universidad del Cauca Facultad de Ingeniería Maestría en Ingeniería de Pavimentos</p>	<p>Proyecto de grado: METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP</p> <p>Autor: ANDRÉS RICARDO IBARRA ENRIQUEZ</p>	<p>Proyecto: Mantenimiento y rehabilitación de la carretera San Juan de Pasto- Mojarras sector Cano Mojarras Ruta 25 Tramo 2502, departamento de Nariño.</p>	<p>Alternativa: En acopio o In situ</p> <p>Fuentes: RAP: - PR 94+0960 al PR 97 (2502) Base Granular: Galindez PR 11</p>	<p>Formato: SP: MB-A3</p> <p>Descripción: Ajuste del diseño y comparación de costos</p>
--	--	---	---	--

AJUSTE DEL DISEÑO Y COMPARACIÓN DE COSTOS

- b) Comparación de costos de toda la obra entre: (1) Proyecto Inicial versus (2) Proyecto con reutilización de RAP y versus (3) Proyecto con ajuste del diseño

CONDICIONES ANALIZADAS POR KILOMETRO EN EL VALOR BASICO DE LA OBRA	Análisis de costos respecto al proyecto Inicial				Análisis de costos en la optimización		
	Valor	%(PI)	AHORRO respecto al proyecto inicial	>> meta física (%PI) (m.)	%(PR)	AHORRO respecto al proyecto sin ajuste	>> meta física (%PR) (m.)
Proyecto Inicial	2,087,080,826	100	0	0			-
Proyecto Inicial con reutilización de RAP	1,840,389,405	88.2	246,691,421	134	100	0	0
Proyecto con ajuste del diseño y R. RAP	2,266,147,197	109	-179,066,371	-79	123	-425,757,793	-188

- c) Comparación de costos de la estructura del pavimento entre: (1) Proyecto Inicial versus (2) Proyecto con reutilización de RAP y versus (3) Proyecto con ajuste del diseño:

CONDICIONES ANALIZADAS POR KILOMETRO EN EL VALOR BASICO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	Análisis de costos respecto al proyecto Inicial				Análisis de costos en la optimización		
	Valor	%Reduc. (PI)	AHORRO respecto al proyecto inicial	>> meta física (%PI) (m.)	%Reduc. (PR)	AHORRO respecto al proyecto sin ajuste	>> meta física (%PR) (m.)
Proyecto Inicial	1,678,920,891	100	0	0			-
Proyecto Inicial con reutilización de RAP	1,432,229,470	85.3	246,691,421	172	100	0	0
Proyecto con ajuste del diseño y R. RAP	1,857,987,263	111	-179,066,371	-96	130	-425,757,793	-229

Conclusión:

Procede a realizar la actividad observándose los ahorros en relación a la reutilización del RAP, pero con la deficiencia en el diseño observada en la gestión de optimización del diseño del pavimento por efecto del incremento de la carpeta asfáltica de 14 cm a 22 cm.

Elaboró:

Revisó:

Aprobó:

Nombre: _____

Nombre: _____

Nombre: _____

BIBLIOGRAFÍA

- Angelone, S., Martínez, F., & Cauhape Casaux, M. (2000). *Caracterización Dinámica de Suelos Granulares*. Rosario, Argentina: Universidad Nacional de Rosario, Laboratorio Vial – Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (I.M.A.E.).
- Anochie-Boateng, J., Paige-Green, P., & Mgangira, M. (2009). *Evaluation of test methods for estimating resilient modulus of pavement geomaterials*. Pretoria, South Africa: Document Transformation Technologies cc.
- Bañon Blazquez, L., & Bevia García, J. F. (2000). *Manual de Carreteras 2 Construcción y Mantenimiento*. Madrid: Enrique Ortiz e Hijos Contratista de Obras.
- Benavides Bastidas, C. A. (2011). Apuntes de clase: Módulo: Explanaciones y firmes. La Paz, Bolivia.
- Benavides Bastidas, C. A. (2016). Caracterización Dinámica de Materiales. *Apuntes de clase: Diseño de Pavimentos Flexibles* (pág. 114). Popayán: Universidad del Cauca.
- Benavides, C. (2016). Conferencia de rehabilitación de pavimentos. *Rehabilitación de pavimentos asfálticos* (pág. 147). Popayán: Universidad del Cauca.
- Benavides, C. (2016). Conferencia de rehabilitación de pavimentos. *Rehabilitación de pavimentos asfálticos* (pág. 147). Popayán: Universidad del Cauca.
- Crespo del Rio, R. (1999). La Ingeniería de firmes en el siglo XXI.
- Federal Highway Administration (FHWA). (1997). *FHWA-RD-97-148 Assessing recycled/secondary materials as pavement bases*. FHWA.
- Federal Highway Administration (FHWA). (2016). *User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction - Reclaimed Asphalt Pavement*. Washington, DC: Federal Highway Administration.

- Garnica Anguas, P., Péres García, N., & Gómez López, J. (2001). *Módulos de resiliencia en suelos finos y materiales granulares*. Sanfandila: Instituto Mexicano de Transporte.
- Higuera Sandoval, C. H. (2011). *NOCIONES SOBRE METODOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS – VOLUMEN I*. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Hoppe, E. J., Lane, D. S., & Fitch, G. M. (2015). *Feasibility of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Use As Road Base and Subbase Material*. Charlottesville, Virginia: Virginia Department of Transportation.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. Kentucky USA: Pearson Education, Inc.
- INVIAS - Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, I. (2013). *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras*. Bogotá: INVIAS.
- INVIAS - Guía Metodologica de Rehabilitación, I. N. (2008). *Guía Metodológica para el diseño de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras*. Bogotá: INVIAS.
- INVIAS, Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras. (2013). *Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá: INVIAS.
- Kim, W., & Labuz, J. (2007). *Resilient Modulus and Strength of Base Course with Recycled Bituminous Material*. Minneapolis: Minnesota Department of Transportation.
- Leal Noriega, M. H. (2010). *Relación entre el módulo resiliente hallado por retrocalculo y el encontrado en ensayos de laboratorio*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Rebollo Mendez, A. A. (2015). *Evaluación Técnica y Económica del uso de Pavimento Asfáltico Reciclado (Rap) en Vías Colombianas*. Bucaramanga: Facultad de Ingeniería, Universidad Nueva Granada.

ANEXO No 1

METODOLOGÍA DE CAMPO PARA DETERMINAR EL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPAS GRANULARES DE BASE Y SUB-BASE ELABORADAS A PARTIR DE LA REUTILIZACIÓN DEL RAP

Saez, E. (2010). Rehabilitación de carreteras a menor costo. *Construcción Pan-Americana*, 1.

Obtenido de <http://www.construccion-pa.com/productos-y-tecnologia/rehabilitacion-de-carreteras-a-menor-costo/>

Schaertl, G. J., & Edil, T. B. (2009). *The Usage, Storage and Testing of Recycled Materials - Results of Survey*. Wisconsin: University of Wisconsin- Madison.

Vergara B., H. A. (2014). Diseño directo de pavimentos flexibles. *ECI*, 14.

WIRTGEN, Grup Company. (2016). El mundo de las fresadoras en frio de Wirtgen.

W_brochure_Cold-Milling-Machines_0316_ES, 11,12 y 14.