



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

Recinto Universitario Rubén Darío
Facultad de Ciencias e Ingeniería.
Departamento de Construcción.
Ingeniería Civil

Trabajo Monográfico para optar al Título de Ingeniera Civil.

Tema: Evaluación de la influencia que tiene la graduación del material pétreo en la resistencia a compresión simple no confinada y tensión indirecta de una mezcla de agregados minerales, emulsión asfáltica CSS1 y cemento Portland.

Autores:

✚ Br. Jarling Nurieth Rodríguez Gadea

✚ Br. Karen Magaly Ruíz González

Tutor: Ing. Oscar Noel Cerda Hernández

Asesor Técnico: PhD. Freddy Ariel Sánchez

Asesor Metodológico: Lic. Darling Moncada

Managua, Nicaragua, Junio 2020

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a Dios por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ello que soy lo que soy ahora.

A mis hermanos; Frankling, Edgar, Francisco por todo su apoyo, por su amor incondicional, por compartir alegrías y tropiezos, en fin, por permitirme estar en sus vidas. Les deseo el mejor de los éxitos, si yo pude lograrlo estoy segura que ustedes lograrán cosas mejores.

A mi abuela Berta por su amor, ternura, cariño y comprensión.

Jarling Nurieth Rodríguez Gadea

Dedicatoria

Esta tesis la dedico:

A mi Dios: Por este esfuerzo investigativo; guiándome por el buen camino con amor y sabiduría, por darme fuerzas para seguir adelante y no desvanecer en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad, ni decaer en el intento.

A mi familia: Que siempre esperan lo mejor de mí, a quienes comparten día a día mis alegrías, tristezas, victorias y fracasos.

A mis padres: Por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, con educación, amor, valores y sus valiosos consejos, y que estuvieron en toda la trayectoria motivándome constantemente para alcanzar mis anhelos. Gracias por estar siempre a mi lado, por el enorme sacrificio y esfuerzo que han hecho para verme convertida en un profesional.

Karen Magaly Ruíz González

Agradecimientos

DIOS, tu amor y tu bondad no tienen fin, me permites sonreír ante todos mis logros que son resultados de tu ayuda. Gracias a ti mi meta está cumplida.

Este documento es un gran esfuerzo que involucra a muchas personas cercanas a mí, mi FAMILIA, una de las joyas más preciadas que puedo tener, sin ellos jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora. Mamá, papá gracias por ser un verdadero ejemplo y modelo a seguir, por haber luchado por mí y mis hermanos, por vernos crecer y guiarnos por el camino correcto.

Agradezco a las empresas que me abrieron sus puertas para poder realizar este trabajo investigativo, INGENIERIA DE MATERIALES Y PAVIMENTOS, INGENIEROS CONSULTORES CENTROAMERICANOS, ASFALTOS INDUSTRIALES, PRODUCTOS INDUSTRIALES DE CONCRETO, AGRENIC.

De forma especial agradezco a mi tutor Ing. Oscar Noel Cerda, al Ing. Maxwell Palma y a los técnicos de laboratorio; Álvaro Zapata, Eduardo Cuadra, José Alberto Guido, y a todo el personal del laboratorio central de Materiales y Suelos ICC S.A (2019) por compartir sus conocimientos y por su apoyo incondicional.

A todas las personas que me recibieron en sus hogares y me brindaron calor y amor de hogar. Me hicieron sentir como en casa. Familias; Bello García, Rodríguez Calero, Rodríguez Carazo.

A todos los docentes del departamento de Construcción. “Un maestro es una brújula que activa los imanes de la curiosidad, conocimiento y sabiduría en sus pupilos” (Ever Garrison).

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, y al departamento de Becas por permitirme ser parte de una generación de triunfadores, en especial al Lic. Nelson Coronado por todo su apoyo durante mi estadía en la universidad.

A mi compañera de tesis por su apoyo, dedicación y entrega para culminar con éxito este trabajo investigativo.

Finalmente agradezco a todos mis amigos (as) por su apoyo, cariño y comprensión cuando más lo necesite.

Jarling Nurieth Rodríguez Gadea.

Agradecimiento

Primeramente; A Dios, por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

En estas líneas agradezco a todas las personas que hicieron posible esta investigación y que de alguna manera estuvieron directa e indirectamente en los momentos alegres, difíciles y tristes.

Gracias a mis padres, por ser mi pilar fundamental, haberme apoyado incondicionalmente pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron. Los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, principios y valores que me han involucrado.

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua “UNAN- Managua” y a su personal educativo por ser la sede de las oportunidades y conocimiento adquirido en estos años.

A mi amiga y compañera de tesis Nurieth Rodríguez a quien estimo mucho, por su confianza, apoyo, y por la oportunidad de compartir experiencias buenas y malas.

Mi profundo agradecimiento a las empresas: (Ingeniería de Materiales y Pavimentos, ICC S.A, ASFISA) y al personal involucrado “Técnico José Guido, Técnico Eduardo Cuadra, Técnico Álvaro Zapata” por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento.

Posteriormente agradezco al Ing. Oscar Cerda principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza, paciencia y disponibilidad permitió el desarrollo de este trabajo.

Finalmente agradezco a todas esas familias y compañeros que abrieron las puertas de sus casas y compartieron sus vidas.

Karen Magaly Ruíz González



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

Facultad de Ciencias e Ingeniería
Departamento de Construcción

Sirva la presente para avalar que los bachilleres:

Jarling Nurieth Rodríguez Gadea

Carné: 15046750

Karen Magaly Ruíz González

Carné: 15036894

Estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, han culminado su **trabajo monográfico**, que lleva por título: *“Evaluación de la influencia que tiene la graduación del material pétreo en la resistencia a compresión simple no confinada y tensión indirecta de una mezcla de agregados minerales, emulsión asfáltica CSS1 y cemento Portland”*, con gran satisfacción, cumpliendo los parámetros técnicos, académicos y metodológicos. Por tanto, el presente trabajo está listo para que sea asignado al tribunal examinador, para su posterior pre-defensa y defensa.

Sin más que agregar, extiendo la presente en tres tantos de un mismo tenor a los 26 días del mes de mayo del año 2020.

Ingeniero Oscar Cerda Hernández

Tutor del trabajo monográfico

Índice

CAPITULO I. ASPECTOS INTRODUCTORIOS	8
1.1 Introducción.....	8
1.2 Antecedentes.....	10
1.3 Planteamiento del Problema	13
1.4 Justificación.....	14
1.5 Objetivos.....	16
1.5.1 Objetivo General	16
1.5.2 Objetivos Específicos	16
1.6 Alcances y Limitaciones.....	17
CAPITULO II. MARCO REFERENCIAL.....	18
2.1 Ligante Asfáltico	18
2.1.1 Propiedades físicas del Ligante Asfáltico	18
2.2 Pavimento asfáltico Reciclado	19
2.2.1 Propiedades físicas del RAP	23
2.3 Emulsión asfáltica	29
2.3.1 Componentes de la emulsión	31
2.3.2 Emulsión asfáltica CSS-1.....	33
2.3.3 Contenido Óptimo Teórico de Emulsión	33
2.3.3.1 Método Duriez	34
2.3.3.2 Método del Instituto del Asfalto	34
2.3.3.3 Método de Wirtgen	35
2.3.4 Fabricación de Emulsión Asfáltica CSS1	36
2.3.5 Ensayos de Emulsiones Asfálticas	37
2.3.6 Especificaciones de Control de Calidad para Emulsiones Asfálticas. (ASTM D 2397-05)41	
2.4 Filler	44
2.5 Agente Estabilizador.....	45
2.6 Bases estabilizadas con asfalto (BEA)	46
2.6.1 Principales características	47

2.6.2	Clasificación.....	48
2.7	Curva de máxima densidad.....	49
2.8	Ensayos de caracterización física.....	50
2.9	Principales diferencias entre bases estabilizadas con emulsión y bases estabilizadas con cemento.....	56
2.10	Macro y micro localización del proyecto	57
2.11	Hipótesis	59
CAPITULO III. METODOLÓGIA APLICADA.....		60
3.1	Tipo de Estudio.....	60
3.2	Área de Estudio	60
3.2.1	Universo y Muestra	60
3.3	Métodos e instrumentos para recolectar datos.....	63
3.4	Plan de tabulación y Análisis de datos	65
CAPITULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		73
4.1	Curva de Máxima Densidad	73
4.2	RAP	74
4.3	Origen de los Agregados de Ajuste o Aporte	75
4.3.1	Material $\frac{3}{4}$ Monogranular (procedente de PROINCO).....	76
4.3.2	Material 19.0 mm Integral (procedente de PROINCO).....	77
4.3.3	Material Base Granular D (procedente de PROINCO).....	78
4.3.4	Material Fino Triturado (procedente de HOLCIM).....	79
4.3.5	Material 37.5 mm (1 $\frac{1}{2}$ "') (procedente de AGRENIC).....	80
4.4	Graduaciones Propuestas.....	81
4.4.1	Graduación Fina	81
4.4.2	Graduación Densa	84
4.4.3	Granulometría Gruesa	85
4.5	Origen de la Emulsión Asfáltica Tipo CSS-1.....	87
4.5.1	Contenido Óptimo Teórico de Emulsión	90
4.6	Filler	91
4.7	Recubrimiento y Adherencia de los Agregados	91
4.8	Preparación de los agregados para fabricar especímenes de Ensayo	93

4.9	Contenido de Fluidos en la mezcla.....	93
4.9.1	Contenido de Fluidos para Granulometría Fina	95
4.9.2	Contenido de Fluidos para Granulometría Densa	95
4.9.3	Contenido de Fluidos para “Granulometría Gruesa”	96
4.10	Mezclado y Compactación de Especímenes de Ensayo	97
4.11	Resistencia a Compresión Simple no Confinada.....	98
4.11.1	Pruebas de Grubbs Resistencia a Compresión Simple no Confinada.	100
4.11.2	Parámetros de Estadística Descriptiva Resistencia a Compresión Simple No confinada	101
4.12	Resistencia a Tensión Diametral Indirecta	102
4.12.1	Prueba de Grubbs Resistencia a Tensión Diametral Indirecta.	103
4.12.2	Parámetros de Estadística Descriptiva Resistencia a la Tensión Diametral.	105
CAPITULO V.		107
5.1	Conclusiones.....	107
5.2	Recomendaciones	111
Referencias Bibliográficas.....		111

Lista de Figuras

Figura 1. Curva de compactación. Fuente: Propia.....	26
Figura 2. Manual de Mezclas Asfálticas en Frio. Fuente: MS-14.....	32
Figura 3. Tanques de Almacenamiento de Emulsiones. Fuente, Propia.	36
Figura 4. Ensayo de carga de partículas. Fuente: Propia.....	38
Figura 5. Viscosidad Saybolt Furol. Fuente: Propia.....	39
Figura 6. Prueba de Estabilidad a 24h. Fuente: Propia.....	39
Figura 7. Prueba de Tamizado Fuente: Propia.	40
Figura 8. Selección del tipo de estabilización según informe. Fuente; (Ávila & Ulloa, 2017)	45
Figura 9. Ligadura entre el asfalto y el agregado, Fuente; (Asphalt Academy, 2009).....	47
Figura 10. Curva de máxima densidad. Fuente: Manual for design of hot- Mix asphalt with commentary, 2011.	49
Figura 11. Tipos de gradaciones de los agregados incluyendo la curva de densidad máxima. Fuente: Manual for design of hot- Mix asphalt with commentary, 2011.	50
Figura 12. Ensayo de recubrimiento. Fuente: Propia.	51
Figura 13. Ensayo de adherencia. Fuente: Propia.	52
Figura 14. Tensión Diametral. Fuente: Propia.	53
Figura 15. Esquema de Ensayo Equivalente de Arena, Fuente: (Hernández, 2014).	54
Figura 16. Macro localización del Proyecto. Fuente; Google Earth.	57
Figura 17. Micro localización del Proyecto. Fuente; Google Earth.	58
Figura 18. Recuperadora de pavimento. Fuente; Propia.	74
Figura 19. Incorporación de Solución Jabonosa y Agua Fuente: Propia.	88
Figura 20. COFT, (Fuente: Wirtgen Group 2004).....	94

Lista de Tablas

Tabla 1. Estimación de porcentaje teórico de asfalto residual óptimo. Fuente: (Wirtgen GmbH, 2012).....	35
Tabla 2.Descripcion y Métodos de Ensayos de Emulsiones Asfálticas. Fuente: ASTM D 244.	37
Tabla 3. Especificaciones de control de calidad de emulsiones de tipo catiónicas. Fuente: ASTM D 2397-05.....	41
Tabla 4. Especificaciones de control de calidad de emulsiones de tipo aniónicas. Fuente: ASTM D 2397-05.....	43
Tabla 5. Diferencias entre bases estabilizadas con emulsión y con cemento.....	56
Tabla 6. Ensayos realizados. Fuente: Propia.	61
Tabla 7. Resumen de Propiedades Físicas del RAP. Fuente: Propia.....	74
Tabla 8. Distribución Granulométrica del agregado monogranular. Fuente: Propia.....	77
Tabla 9. Propiedades Físicas individuales. Fuente: Propia.	77
Tabla 10. Distribución Granulométrica del agregado Integral de 25.00 mm. Fuente: Propia.	78
Tabla 11. Distribución Granulométrica del material Base granular D. Fuente: Propia.....	78
Tabla 12. Propiedades físicas individuales. Fuente: Propia.	79
Tabla 13. Distribución Granulométrica del Material Fino Triturado. Fuente: Propia.....	79
Tabla 14. Granulometría del Material de 37.5 mm (1 ½”). Fuente: Propia.	80
Tabla 15. Propiedades físicas individuales. Fuente: Propia.	80
Tabla 16. Combinación RAP + Fino Triturado. Fuente: Propia.....	82
Tabla 17. Combinaciones RAP + Base D. Fuente: Propia.	84
Tabla 18. Combinaciones RAP + Monogranular + 1 ½”. Fuente: Propia.....	86
Tabla 19. Ensayos realizados a la emulsión CSS-1. Fuente: Propia	89
Tabla 20. Aproximación del Contenido Óptimo de Emulsión. Fuente: Propia.....	90
Tabla 21. Ensayo de Recubrimiento. Fuente: Propia.	92
Tabla 22. Ensayo de Adherencia. Fuente: Propia.....	92
Tabla 23. Tamices para preparación de especímenes. Fuente: Propia.	93
Tabla 24. COFT. Granulometría Fina. Fuente: Propia.	95

Tabla 25. COFT, Granulometría Densa. Fuente: Propia.	95
Tabla 26. COFT, Granulometría Gruesa. Fuente: Propia.	96
Tabla 27. Detalle de la cantidad de especímenes realizados. Fuente: Propia.	98
Tabla 28. Prueba Grubbs, Graduación Fina. Fuente: Propia.	100
Tabla 29. Prueba Grubbs. Graduación Densa. Fuente: Propia.	100
Tabla 30. Prueba de Grubbs, Graduación Gruesa. Fuente: Propia.	100
Tabla 31. Estadística Descriptiva. Resistencia a la Compresión; Graduación Fina. Fuente: Propia.	101
Tabla 32. Estadística Descriptiva, Resistencia a la Compresión, Graduación Densa. Fuente: Propia.	101
Tabla 33. Estadística Descriptiva. Resistencia a la Compresión, Graduación Gruesa. Fuente: Propia.	101
Tabla 34. Prueba de Grubbs, Graduación Fina. Fuente: Propia.	104
Tabla 35. Prueba de Grubbs, Graduación Densa. Fuente: Propia.	104
Tabla 36. Prueba de Grubbs, Graduación Gruesa. Fuente: Propia.	104
Tabla 37. Estadística descriptiva; Tensión Indirecta, Graduación Fina. Fuente: Propia.	105
Tabla 38. Estadística descriptiva; Tensión Indirecta, Graduación Densa. Fuente: Propia.	105
Tabla 39. Estadística descriptiva; Tensión Indirecta, Graduación Gruesa. Fuente. Propia.	105

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Curva de Máxima Densidad. Fuente; Propia.	73
Gráfico 2. Distribución Granulométrica del RAP. Fuente; Propia.	75
Gráfico 3. Distribución Granulométrica RAP + Fino Triturado. Fuente; Propia.	83
Gráfico 4. Distribución Granulométrica RAP + Base D. Fuente: Propia.	85
Gráfico 5. Distribución Granulométrica RAP + 25.00 mm Monogranular + Mat 37.5 mm. Fuente: Propia.	87
Gráfico 6. Contenido de Fluidos, Granulometría Fina. Fuente: Propia.	95
Gráfico 7. Contenido de Fluidos, Granulometría Densa. Fuente: Propia.	96
Gráfico 8. Contenido de Fluidos, Granulometría Gruesa. Fuente: Propia.	97
Gráfico 9. Resistencia a Compresión Simple no Confinada. Fuente: Propia.	99
Gráfico 10. Resistencia a Compresión Simple no Confinada. Fuente: Propia.	102
Gráfico 11. Resistencia a la Tensión Diametral. Fuente: Propia.	103
Gráfico 12. Tensión Indirecta. Fuente: Propia.	106

CAPITULO I. ASPECTOS INTRODUCTORIOS

1.1 Introducción

Las carreteras son de vital importancia para la sociedad nicaragüense, y la gran mayoría corresponden a pavimentos flexibles, el desempeño de estas depende de la calidad de los materiales, procesos constructivos y también de un buen diseño de la estructura de pavimento, así como del apropiado diseño de los materiales con los que se construirán las capas (mezclas asfálticas, bases estabilizadas, etc.)

Los costos de explotación de materiales pétreos y su transporte han promovido el desarrollo de técnicas de reciclado y estabilización “in situ” para poder utilizar los recursos localmente disponibles. Entre las tecnologías más utilizadas se encuentran las estabilizaciones con Cemento Portland, Cal, Emulsión Asfáltica y/o alguna combinación de estos agentes estabilizadores. Estos procedimientos además reducen el impacto ambiental debido a la disminución en el consumo de energía que implican los procesos de explotación de fuentes de materiales, así como el impacto directo a la naturaleza. La tendencia actual está enfocada en el análisis de ciclo de vida de pavimentos, LCA (Life Cycle Assessment) y construcción de pavimentos verdes.

El uso de materiales granulares estabilizados con emulsión asfáltica y la adición de cantidades pequeñas de cemento Portland o Cal (rango recomendado varía entre 1% - 1.5%) cuando es requerido, tiene la ventaja de incrementar la cohesión y reducir la susceptibilidad al daño por humedad, sin el incremento exagerado de la rigidez de la capa.

Las principales causas del uso tan limitado de esta técnica en el país son: 1) Se carece de una guía de diseño de la mezcla (agregados – emulsión asfáltica – cemento Portland o Cal), 2) No existen especificaciones técnicas actualizadas para el aseguramiento de la calidad y 3) Falta de experiencia de diseñadores y contratistas.

En esta investigación se analiza la influencia que tiene la graduación del material pétreo en la resistencia a compresión simple no confinada y tensión diametral de la mezcla de agregados minerales, emulsión y filler activo. Para la evaluación se crearon en laboratorio materiales con granulometrías fina, densa y gruesa, tomando como referencia la curva de máxima densidad de 25.0 mm, cada uno de estos agregados se estabilizó con emulsión asfáltica de rompimiento lento del tipo CSS-1. El material principal o base, en todos los casos, fue el RAP procedente del segmento de carretera “Empalme El Guanacaste – El Grajinan” (NIC 04).

La investigación se ejecutó tomando como referencias las Especificaciones del Fondo de Mantenimiento Vial de Nicaragua (FOMAV), la Guía para el Diseño de Materiales Granulares Estabilizados con Emulsión, publicado en 2019 por el Programa de Infraestructura de Transporte de LANAMME UCR, la Guía Técnica de Materiales Estabilizados con Asfalto, publicado en 2009 por Asphalt Academy y el Manual de Reciclado en Frío publicado en 2004 por Wirtgen Group.

El RAP (Pavimento Asfáltico Reciclado) que se utilizó en esta investigación, se obtuvo durante el procedimiento de recuperación en frío de la carpeta de rodamiento más 5 cm de la base del pavimento existente en el tramo de carretera referido anteriormente.

Este documento incluye además notas sobre los ensayos del control de la calidad que se deben efectuar durante el proceso constructivo y en la etapa de curado de la capa estabilizada para garantizar que se cumpla los criterios técnicos establecidos.

1.2 Antecedentes

(Ramos, Muñiz, 2013) Realizó una propuesta de diseño de mezclas asfálticas en frío de graduación densa como alternativa para mantenimiento de pavimentos flexibles en Nicaragua, evaluando diferentes parámetros de calidad de los materiales (agregados y emulsiones) de acuerdo a las especificaciones descritas en el manual para mezclas en frío (MS-14) Instituto del Asfalto y el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, obteniendo proporciones adecuadas para el diseño de mezcla asfáltica en fría de graduación densa, para el mantenimiento rutinario de pavimentos flexibles y para construcción de carpetas de rodamiento de tráfico bajo.

(Unidad de Investigación (UI), 2008) Realizo una Evaluación de factibilidad de la aplicación de mezclas en frío para superficies de rodamiento en Costa Rica, indagando conocimientos teóricos y prácticos para la implementación de esta alternativa de pavimentación. Las mezclas asfálticas en frío se vuelven atractivas como una alternativa debido a que hay una mejor conservación del medio ambiente, ya que la producción de estas mezclas implica un ahorro en el consumo de energía, así como una reducción en la generación de vapores tóxicos y polvo.

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales “LANAMME” de la Universidad de Costa Rica en el año 2019 publicó una Guía para el diseño de Materiales Granulares Estabilizados con Emulsión. Esta guía se enfoca en el diseño a nivel de laboratorio de materiales granulares estabilizados con emulsión asfáltica a utilizar como base en una estructura de pavimento. El procedimiento de diseño analiza las características de una mezcla en cuanto su trabajabilidad, recubrimiento, adhesión, susceptibilidad al daño por humedad y su resistencia.

“Asphalt Academy” La Academia de Asfalto en el año 2009 divulgó el documento titulado “Technical Guideline, Bitumen Stabilised Materials”. Este escrito se centraliza en los pavimentos de carreteras construidos con materiales estabilizados con asfalto (BSM), utilizan emulsión o asfalto espumado porque son ambientalmente sostenibles, rentables; y, cuando se utilizan buenas técnicas de

construcción, estos pavimentos tienen un excelente desempeño. Los BSM son adecuados tanto para la construcción de nuevos pavimentos como para la rehabilitación del pavimento utilizando recicladores in situ y métodos convencionales.

(Wirtgen GmbH 2004), publica la segunda edición del Manual de Reciclado en Frío Wirtgen. Este documento fue publicado por primera vez en inglés en 1988. El Manual se enfoca en el diseño de pavimentos, y en la perfección de la tecnología aplicable al reciclado, específicamente en el área de la estabilización de agregados de alta calidad que pueden recuperarse de las capas superiores del pavimento existente.

El Ingeniero Juan Carlos Rico en el año 2012. Realizó el “Diseño de Base Estabilizada, Emulsión Asfáltica y Cemento Portland a partir de material de afirmado existente para el proyecto “Diseño Rehabilitación, Mantenimiento de la Carretera Duitama Belén en el departamento de Boyaca, (Colombia). El diseño siguió la metodología propuesta en el manual de utilización de emulsiones asfálticas en carreteras y las especificaciones que para tal fin tiene el Instituto Nacional Vial “I.N.V”

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers, 1984) mantiene una guía de diseño para estabilización de suelos para pavimentos, en la cual incluye la estabilización con cemento asfáltico ya sea en forma de; cemento asfáltico, asfalto rebajado o asfalto emulsificado. Esta guía recomienda una serie de granulometrías para base y sub-base aptas para estabilización con ligante. También determina un contenido de emulsión inicial basándose en los porcentajes granulométricos pasando en ciertos tamices. El contenido final de emulsión viene dado por las pruebas de estabilidad Marshall, en las cuales se propone una estabilidad mínima.

El Departamento de Transportes de Pensilvania (Pennsylvania Department of Transportation, 2012) elaboró una guía de diseño y construcción para bases estabilizadas con emulsión o asfalto espumado utilizando materiales reciclados en

frío (Full Depth Reclamation). Esta categoría de reciclado es típicamente aplicada como una medida para tratar estructuras de pavimentos deterioradas (rehabilitación) compuestas por bases granulares y superficies asfálticas delgadas, cuyo deterioro implica agrietamiento severo de las capas asfálticas, capas granulares deformadas, caminos con gran cantidad de bacheos, y alto desprendimiento de agregados.

1.3 Planteamiento del Problema

En la Red Vial Nacional, luego de culminados los trabajos definitivos de rehabilitación y mejoramiento a nivel de carpeta asfáltica, en muchos de los casos, se presentan en periodos de tiempo relativamente cortos, una serie de fallas en la carretera ya sea debido a problemas estructurales (por procesos constructivos, deficiencia en diseños de espesores de capas, y/o deficiencia en diseños de materiales) o problemas externos (de geodinámica, relieve topográfico o climatología). En algunos casos se ha observado deterioro prematuro, la aparición de grietas en la superficie de rodamiento lo que conlleva a realizar mantenimientos más frecuentes, para impedir que el agua termine causando el deterioro total de la estructura, (FOMAV, 2016). Se pone en serio riesgo la inversión realizada en la infraestructura vial.

Históricamente en Nicaragua se ha promovido la construcción de capas estabilizadas con Cemento Portland (utilizando RAP) como una técnica para la rehabilitación de pavimentos que presentan daños por fatiga en la capa de rodamiento (grietas tipo cuero de lagarto), se ha observado que es una tecnología con muy buenos resultados, sin embargo las resistencias que se alcanzan son excesivamente altas y esto provoca un problema de grietas transversales causadas por las contracciones que se generan en la capa rígida durante la etapa de fraguado del cemento Portland o por los cambios volumétricos debidos a las variaciones de temperaturas. Con el paso del tiempo estas grietas se reflejan en la capa bituminosa y consigo traen múltiples problemas, especialmente en las zonas de altas precipitaciones.

Otro factor que debe considerarse es el impacto ambiental, debido a la disminución en el consumo de energía que implica los procesos de explotación de fuentes de materiales.

1.4 Justificación

Esta investigación se propone el uso de bases estabilizadas con emulsión asfáltica y cemento Portland (en cantidades pequeñas) como otra alternativa de solución para rehabilitaciones y construcciones de pavimentos flexibles en Nicaragua. La opción que se expone tiene una gran aceptación en países desarrollados debido a su reducido impacto ambiental en comparación de otros tipos de tecnologías. Adicionalmente se trata de un material de alto desempeño estructural.

El presente trabajo tiene como finalidad evaluar 3 tipos de granulometrías, tomando como base el RAP procedente del segmento de carretera: Emp. Guanacaste – El Grajinan (ruta NIC-04), con el objetivo de determinar con que graduación se obtiene un diseño optimizado de la mezcla para la construcción de una capa estabilizada con emulsión asfáltica de rompimiento lento.

El diseño de pavimentos asume que cada capa tiene una calidad estructural específica mínima para soportar y distribuir las cargas impuestas por el tráfico. Estas capas deben resistir deformación permanente excesiva y cortante, así como evitar deflexiones importantes. Lo anterior en aras de reducir las probabilidades de deformación permanente, agrietamiento en las capas superiores y protección de la subrasante. Los materiales de calidad necesarios para cumplir estos requerimientos no son siempre disponibles y por tanto se requiere de un mejoramiento de las propiedades ingenieriles de los materiales a utilizar.

La realización de este estudio es esencial para mejorar la práctica de diseño y construcción de carreteras de pavimento flexible en el país, en consecuencia, para contribuir al desarrollo científico, social y económico por medio de los posibles ahorros debido al mejor desempeño de los pavimentos.

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten a las empresas involucradas tener más opciones a la hora de escoger un material que se adecúe a las solicitudes y particularidades del proyecto.

Así mismo este estudio registrará un precedente para estudiantes, profesionales y empresas, sobre la metodología utilizada ya que en Nicaragua no existen investigaciones sistemáticas sobre temas como este.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Evaluar la influencia que tiene la graduación del material pétreo en la resistencia a compresión simple no confinada y tensión indirecta de una mezcla de agregados minerales, emulsión asfáltica CSS1 y cemento Portland.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Realizar el muestreo del Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) procedente de un segmento de 735 m de longitud en el tramo de la carretera Sur "NIC-04" empalme El Guanacaste - El Grajinan.
2. Determinar en el laboratorio las propiedades físicas, más importantes, del RAP.
3. Generar en el laboratorio tres tipos de granulometrías; Densa-Gruesa, Densa-Fina, Densa-Densa y dosificar mezclas con contenidos iguales de emulsión asfáltica para cada graduación.
4. Proponer un "Fillers Activo" que promueva la durabilidad de la mezcla.
5. Determinar la resistencia a compresión simple y resistencia retenida para cada dosificación.
6. Efectuar un análisis comparativo de la influencia de la graduación en cada caso.

1.6 Alcances y Limitaciones

Alcances

- ✓ La investigación aporta información valiosa del buen aprovechamiento que se le puede dar al RAP. Desde luego, haciendo énfasis en la importancia que tiene la reducción del uso de bancos de materiales, es decir, (la utilización racional de los recursos naturales, transporte y reducción de materiales a botaderos), transformando proyectos de altos impactos en proyectos sostenibles (disminución de la huella de carbono).
- ✓ Esta investigación al ser nueva para Nicaragua, servirá como referencia para otros estudios de evaluaciones y/o diseños de bases estabilizadas con emulsión asfáltica.

Limitaciones

- ✓ El diseño finaliza con la evaluación de la resistencia a compresión simple no confinada y/o tensión diametral y queda pendiente la determinación del Módulo Resiliente del material estabilizado, la razón es la falta de equipos en el país para la ejecución de este ensayo, esto significa que la capacidad estructural de la capa se determina de forma indirecta y no de forma directa.

CAPITULO II. MARCO REFERENCIAL

2.1 Ligante Asfáltico

El ligante asfáltico es un material que puede ser encontrado en la naturaleza en yacimientos naturales o a través de la destilación del petróleo. Por lo anterior se puede decir que el asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes.

2.1.1 Propiedades físicas del Ligante Asfáltico

Las propiedades físicas y mecánicas que inciden en el diseño de mezclas asfálticas son: la durabilidad, la adhesión, la cohesión, la susceptibilidad a la temperatura, el efecto de envejecimiento y la pureza.

1. La durabilidad, es la capacidad que tiene un asfalto para mantener sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Esta propiedad permite evaluar el comportamiento del pavimento.
2. La adhesión se refiere a la capacidad del asfalto para adherirse al agregado mineral.
3. La cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmes las partículas del agregado en la capa bituminosa.
4. La Susceptibilidad a la temperatura es una de las propiedades más importantes en un cemento asfáltico. El asfalto es más rígido entre menor sea su temperatura.
5. El envejecimiento del cemento asfáltico está relacionado con cambios físicos y químicos debido a que su arreglo molecular modifica el comportamiento visco elástico del material, lo cual se atribuye al proceso de oxidación por reacciones químicas irreversibles que involucran componentes del ligante y el oxígeno de la atmósfera. El envejecimiento se debe principalmente a la exposición del ligante a altas temperaturas.

1. La pureza en el cemento asfáltico está constituida en su mayor parte por bitumen, el cual es por definición un material totalmente soluble en bisulfuro de carbono. Aproximadamente el 99.5% de los asfaltos refinados son solubles en bisulfuro de carbono y si contienen impurezas estas son inertes.

2.2 Pavimento asfáltico Reciclado

El Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) o Reclaimed Asphalt Pavement corresponde al material recuperado de la carpeta asfáltica de un pavimento removido producto de una reconstrucción o rehabilitación. (PITRA-Lanamme UCR, 2019). De acuerdo con (Han, Thakur, Chong y Parsons 2011), tanto el agregado como el ligante asfáltico que conforman el RAP aún poseen la capacidad de aportar ciertas propiedades en una nueva estructura de pavimento.

El aumento del uso de RAP en proyectos de construcción y rehabilitación de carreteras en todo el mundo se ha convertido en una estrategia importante para ayudar a compensar los crecientes costos de las materias primas y mejorar la sostenibilidad de las infraestructuras de transporte. El uso de RAP reduce los costos asociados a los materiales y el transporte.

La Administración Federal de Autopistas de Estados Unidos, (FHWA, por sus siglas en inglés) define las principales aplicaciones del uso de RAP en la construcción y mantenimiento de carreteras, según se define a continuación (Han, Thakur, Chong y Parsons, 2011):

Mezcla Asfáltica: La aplicación en mezcla asfáltica puede ser implementado a partir de dos métodos: procesamiento en planta y reciclado en campo. El primero de ellos consiste en el mezclado del RAP con los materiales de la mezcla asfáltica nueva, para ello el material de RAP es procesado hasta obtener la gradación requerida, posteriormente se realiza el proceso de mezclado con agregado y asfalto virgen, en algunos casos con agentes rejuvenecedores hasta obtener la mezcla asfáltica requerida.

El segundo método consiste en el reciclado en campo, en el cual el material de RAP se utiliza con las propiedades con las que fue recuperado en campo. En este caso la superficie del pavimento es fresada hasta una profundidad de 150 mm y combinado con emulsión asfáltica para posteriormente ser colocado y compactado a partir del procedimiento convencional. En ambos casos se debe tomar en cuenta el aporte que puede tener el asfalto del RAP en la mezcla final.

Agregado de una base: El agregado del RAP es procesado y mezclado con material virgen para producir agregado para bases o subbases granulares como componentes de la estructura de pavimento. Huntington, Khaled & Koch (2013) intervinieron 4 carreteras de lastre ubicadas en el Condado de Jhonson y el Condado de Sweetwater, ambos en Wyoming, las cuales fueron construidas en diferentes tramos con porcentajes de agregado RAP entre el 50% y el 80 %.

Agregado de bases estabilizadas: EL RAP es procesado y mezclado con agentes estabilizadores y compactado de manera que obtenga una mayor capacidad mecánica en la mezcla final. Al-Harty, Al-Shamsi, Al-Zubeidi, & Taha, desarrollaron en el 2002 una investigación en Omán, en donde se utilizaron porcentajes de RAP desde el 70% hasta 100 %. De la investigación, los autores concluyen que esta aplicación permite una disminución en el espesor de la capa requerida en comparación con una base granular convencional.

Material de relleno: El RAP se ha sido utilizado como relleno de construcción; no obstante, no se recomienda esta práctica puesto que se subestima el valor económico que puede aportar el RAP.

Recuperación de la totalidad de la profundidad: Este método consiste en recuperar y pulverizar la totalidad del agregado que conforman espesores de la carpeta asfáltica, base y subbase. En algunos casos se requiere la adición de agregados vírgenes, los cuales son mezclados hasta obtener un material homogéneo.

El enfoque del reciclaje de pavimentos flexibles resulta un aporte valioso desde el punto de vista técnico, económico y ambiental (Kennedy, Tam & Solaimanian, 1998). A continuación, se presentan las principales ventajas de su utilización como material sustituto de una fracción de la mezcla asfáltica.

Beneficios ambientales

Los beneficios a nivel ambiental producto de implementación de mezclas asfálticas con RAP comprenden:

- ✓ Reutilización de material que ha finalizado su vida útil.
- ✓ Disminución del volumen de botaderos.
- ✓ Disminución de suministro de material virgen.
- ✓ Reducción en los procesos de extracción de materias primas limitadas.

La técnica se enmarca dentro de la marca registrada de Pavimentos Verdes en la línea de la Sostenibilidad que persigue el cumplimiento de la Meta Carbono Neutralidad 2100, de modo que los beneficios señalados pueden ser cuantificados a través de la medición de la huella de carbono. Esta corresponde a una medida de la emanación de dióxido de carbono hacia la atmósfera, causada directa o indirectamente por una actividad determinada (Wiedmann & Minx, 2008).

Estimación de la huella de carbono: Los procesos contemplados en el análisis de ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) de un pavimento que tienen una huella de carbono asociada corresponden a: la extracción de materias primas (particularmente el asfalto) (Cass & Mukherjee, 2011), el transporte de las materias primas y del producto terminado (Mohod Rosi Mohd & You, 2015), el proceso de producción de la mezcla asfáltica y el uso de maquinaria durante la colocación y compactación de la misma (Kim, Lee, Park, & Kim, 2012). Las emisiones de CO_2 en estas etapas están relacionadas al consumo de energía eléctrica y a la quema de combustibles fósiles principalmente. A este tipo de emisiones se les clasifica como indirectas.

Sin embargo, los procesos de obtención del combustible, así como del asfalto, por su naturaleza emanan GEI (Gases Efecto Invernadero), por lo que son clasificados como emisiones directas (Kang, Yang, Ozer, & Al-Qadi, 2014).

Las emisiones tanto indirectas como directas pueden estimarse mediante el uso de bases de datos y herramientas de cómputo (Mukherjee, Stawowy, & Cass, 2013). Tales herramientas permiten calcular la cantidad de CO_{2eq} (Dióxido de Carbono Equivalente) liberado durante los procesos destilación del crudo de petróleo, así como durante la producción de energía eléctrica y la quema de combustibles fósiles (U.S. Department of Energy, 2016).

La estimación de la huella de carbono del LCA de una mezcla asfáltica requiere del conocimiento del diseño de la mezcla, tiempo y temperaturas de producción, la cantidad de combustible utilizado por los vehículos y maquinaria, entre otros. En el caso del RAP deberá documentarse el proceso de remoción de la superficie, traslado, trituración, incorporación en la mezcla y demás elementos que sean requeridos. Con base en esta información y los parámetros asociados a cada proceso obtenidos de diferentes bases de datos, es posible calcular la cantidad de CO_{2eq} emanado durante cada etapa.

Beneficios económicos

Desde el punto de vista económico se asocian los siguientes beneficios:

- ✓ Reducción de costos en pavimentación.
- ✓ Ahorro en importación y extracción de materia prima (asfalto y agregados).
- ✓ Disminución en los tiempos de intervención.
- ✓ Disminución en las importaciones de los productos asociados a la obra.
- ✓ Reducción en los porcentajes de ligante asfáltico requerido en la mezcla.

Numerosas agencias internacionales han reportado ahorros significativos en los procesos constructivos producto del uso de RAP (Page & Murphy, 1987 y Al-Qadi,

Carpenter & Elseifi, 2007). Se ha documentado que los costos constructivos pueden reducirse entre un 14 y un 32 % en mezclas que incorporan porcentajes de RAP entre el 20 y 50 % (Kandhal & Mallick, 1997). Por su parte, Méndez (2015) reporta una disminución de hasta un 7.5 % en el costo de la mezcla producto de la reducción en el uso de materias primas, sin generar un detrimento en las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas que incorporan RAP.

2.2.1 Propiedades físicas del RAP

Los ensayos de laboratorio se realizan para medir ya sea el desempeño u otras características de composición, consistencia y estabilidad del material. El propósito de los ensayos es proveer datos para establecer los requisitos de especificación, también para controlar la calidad y uniformidad del producto durante la fabricación y uso, finalmente para predecir y controlar el manejo, almacenaje y las propiedades de desempeño en campo.

Los materiales para estabilizar como capa de base se caracterizan por ser materiales granulares, reciclados, o una combinación de estos. Los ensayos normalmente solicitados en los métodos de diseño y especificaciones técnicas son los siguientes:

✓ Análisis Granulométrico

Es la determinación de los tamaños de las partículas, que constituyen una muestra de suelo, mediante el uso de tamices o mallas para la separación de los granos. La cantidad de material con diámetros menores a 0.075 mm (pasa malla 200) se determina por lavado, según la normativa AASHTO T11.

La estimación de la distribución granulométrica se efectúa de acuerdo con las ecuaciones que se detalla a continuación:

$$\%humedad = \frac{M_{HUMEDA} - M_{SECA}}{M_{SECA}} * 100 \quad Ec. 1$$

$$MIS = \frac{MIH}{1 + \frac{\% \text{ humedad}}{100}} \quad Ec. 2$$

$$MR (\%) = \frac{\text{Masa retenida}}{MIS} * 100 \quad Ec. 3$$

$$MRA(\%) = MRA_{Inicial} + MR (\%) \quad Ec. 4$$

$$MQPasa (\%) = 100 - MRA(\%) \quad Ec. 5$$

$$MPL = MIS - MMLS \quad Ec. 6$$

Donde:

M_{HUMEDA} : Masa Húmeda (g)

M_{SECA} : Masa Seca (g)

MIS : Masa Inicial Seca (g)

MIH : Masa Inicial Húmeda (g)

$MR (\%)$: Masa Retenida Parcial (g).

$MRA(\%)$: Masa Retenida Acumulada (g)

$MQPasa (\%)$: Material que pasa (g)

MPL : Material de Pérdidas por Lavado (g)

$MMLS$: Masa de Muestra Lavada y Seca (g)

✓ Límites de Atterberg (ASTM D 4318)

Los límites de Atterberg o también llamados límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua

que contengan. Así, un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso.

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por el científico sueco Albert Atterberg en el año 1911. Los límites de Atterberg pertenecen, junto al análisis granulométrico, al tipo de ensayos de identificación. El análisis granulométrico nos permite conocer la magnitud cuantitativa de la fracción fina de la muestra de suelo, los límites de Atterberg nos indican su calidad, completando así el conocimiento del suelo.

Los límites se definen como contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra.

El RAP resultó No Plástico (NP) debido a que está constituido por materiales de la carpeta asfáltica y parte de la base del pavimento, esto tiene sentido debido a que en primera instancia existe la presencia de ligante asfáltico y por otro lado las capas recuperadas fueron construidas por materiales de buena calidad de origen basáltico (tramo localizado sobre la cadena volcánica).

✓ **Ensayo Relación densidad – humedad de suelos, energía estándar de compactación. (AASHTO T 99)**

La compactación es el proceso, realizado generalmente por medios mecánicos, por el cual se produce una densificación del suelo disminuyendo su relación de vacíos y con ello tres beneficios importantes:

- ✓ Reducción de la compresibilidad
- ✓ Incremento de la resistencia al corte
- ✓ Disminución de la permeabilidad

De este modo, la compactación de suelos es uno de los métodos más utilizados para mejorar las propiedades de un suelo y por ello es primordial conocer sus características de compactación y puesta en obra.

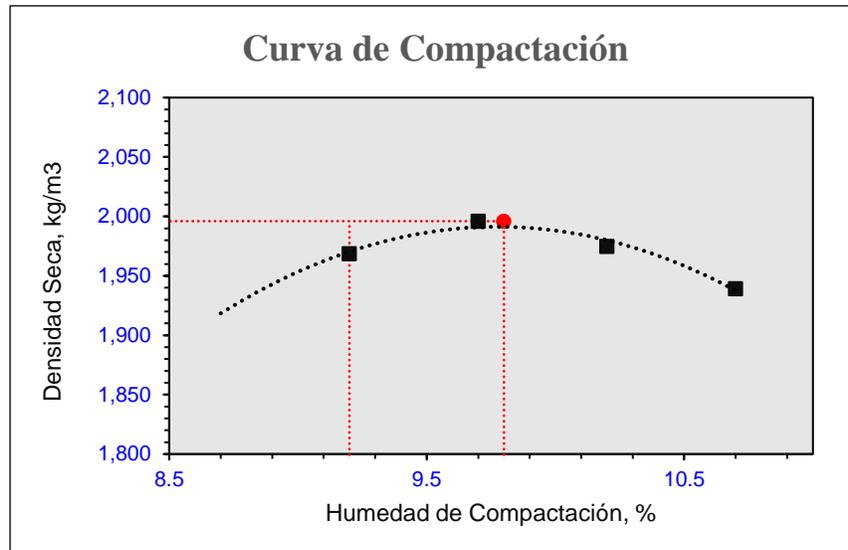


Figura 1. Curva de compactación. Fuente: Propia.

El ensayo “Relación densidad – humedad de suelos”, popularmente conocido como Proctor se desarrolló para determinar la máxima densidad en laboratorio y la humedad necesaria para alcanzar esta densidad (contenido de humedad óptimo)

En este ensayo se hace caer un peso de (2.5 kg) de una altura de (12 pulgadas) compactando el material en 3 capas, de espesor similar con 25 golpes cada una. (ASSHTO T 99).

El procedimiento de ensayo consta de 4 métodos y la selección del método a utilizar está en dependencia de la distribución de tamaños de partículas, la evaluación del criterio de graduación normalmente se efectúa a través de las mallas de 19.00 mm (3/4”) y 4.75 mm (No. 4).

Las ecuaciones que se utilizan para efectuar los cálculos en este ensayo son las siguientes:

$$\%humedad = \frac{M_{HUMEDA} - M_{SECA}}{M_{SECA}} * 100 \quad Ec.7$$

$$Material\ Seco = \frac{MIP * Fraccion\ 3/4" \ a\ la\ No.4}{100} \quad Ec.8$$

$$Mat. Húm = MS * \left[1 + \frac{\%Humedad}{100} \right] \quad Ec. 9$$

$$Cant. de Agua a Agregar = \frac{\Delta H_2O}{100} * MIP \quad EC. 10$$

$$MMH = MoldeMH - MMolde \quad Ec. 11$$

$$DHM = \left[\frac{Mat. Húmido}{VM} \right] * 1000 \quad Ec. 12$$

$$DSM = \left[\frac{DHM}{1 + HM} \right] * 100 \quad Ec. 13$$

Donde:

MMH: Masa de Material Húmido (g)

MoldeMH: Molde más Material Húmido (g)

MMolde: Masa del Molde (g)

DHM: Densidad Húmida del Material $\left[\frac{Kg}{m^3} \right]$

VM: Volumen del Molde

DSM: Densidad Seca del Material

HM: Humedad de la Muestra

- ✓ **Ensayo Relación densidad – humedad de suelos, energía modificada de compactación. (AASHTO T 180)**

La prueba Proctor modificado es similar al método estándar, la diferencia entre estos dos ensayos difiere en: 1) el cambio de la energía de compactación usada a través del incremento del peso (5 kg) y de la altura de caída del martillo (18 pulgadas). 2) Se compactan 5 capas de material dando 25 golpes a cada una.

✓ **Densidad Relativa (Gravedad Específica)**

La densidad relativa comúnmente llamada gravedad específica se define como la relación entre la masa de un material y la masa de un volumen igual de agua (material de referencia). El agua tiene una densidad de 1.00 g/cm^3 a temperatura ambiente, mientras que muchos agregados de construcción tienen valores de densidad relativa entre 2.5 y 3.0

La densidad relativa de los materiales es una de las propiedades más importante y es un dato de entrada en los métodos de diseños que permite hacer la conversión de masa a volumen y viceversa. El cálculo de esta propiedad se efectúa en el laboratorio de forma separada para la fracción gruesa de la muestra (material retenido en tamices de 4.75 mm o 2.36 mm) y para la fracción fina (menor a 4.75 mm o 2.36 mm).

A continuación, se presenta las ecuaciones presentadas por la normativa AASHTO.

✓ **Peso específico del agregado grueso (AASHTO T-85)**

$$\text{Peso específico de Bulk (Total)} = \frac{A}{B-C} \quad \text{Ec. 14}$$

$$\text{Peso específico de Bulk SSS} = \frac{B}{B-C} \quad \text{Ec. 15}$$

$$\text{Peso específico Aparente} = \frac{A}{A-C} \quad \text{Ec. 16}$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{B-A}{A} * 100 \quad \text{Ec. 17}$$

A = Masa de la Muestra Seca

B= Masa de la Muestra Saturada con Superficie Seca

C= Masa de Muestra Sumergida a 23 °C

✓ **Peso específico del agregado Fino (AASHTO T-84)**

$$\text{Peso específico de Bulk (Total)} = \frac{A}{V-W} \quad \text{Ec. 17}$$

$$\text{Peso específico de Bulk SSS} = \frac{500}{V-W} \quad \text{Ec. 18}$$

$$\text{Peso espec. Aparente} = \frac{A}{(V-W)-(500-A)} \quad \text{Ec. 19}$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{500 - A}{A} * 100 \quad \text{Ec. 20}$$

A= Masa de Muestra Seca

V= Masa del picnómetro + agua a 23 °C + B

W= Masa del Picnómetro + Muestra + Agua

✓ **Superficie específica**

La superficie específica o área superficial del agregado fino, se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en $\frac{cm^2}{g}$.

(Tufino, 2009).

$$Se = \frac{0.06}{\text{Peso específico del agregado}} * \sum \frac{Pi}{di} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

Pi: Porcentaje retenido por la malla del agregado.

di: Diámetro promedio dedos mallas consecutivas.

$$di = \frac{d_1 + d_2}{2} * 0.1 \quad \text{Ec. 22}$$

2.3 Emulsión asfáltica

Una emulsión asfáltica es simplemente la suspensión de pequeños glóbulos de asfalto en agua, la cual es asistida por un agente emulsificantes (como por ejemplo una solución jabonosa). El agente emulsificantes actúa al impartir una carga

eléctrica a la superficie de los glóbulos de asfalto, de manera que estos no se aglomeren estabilizando el sistema y otorgándole una polaridad.

La mayoría de las emulsiones utilizadas como agentes estabilizadores tienen una componente de “asfalto residual” de 60%, que significa que el 60% de volumen de la emulsión está compuesto de asfalto disperso en un 40% del volumen que es agua. El porcentaje de asfalto puede, sin embargo, variar entre 30% y 70%, pero los porcentajes de asfalto mayores a 60% no son recomendables para el reciclado debido a que la emulsión se torna viscosa, más difícil de bombear y por lo tanto es más difícil recubrir el agregado (Wirtgen GmbH, 2004).

Las emulsiones asfálticas más utilizadas en este tipo de aplicación (Bases Estabilizadas) son las de rompimiento lento. Estas emulsiones asfálticas facilitan su dispersión sobre el material granular, obteniéndose una buena trabajabilidad en un tiempo suficiente para que se dé todo su proceso constructivo. Las bases granulares tienen un contenido importante de finos, los cuales, por su alta superficie específica, requieren de este tipo de emulsiones, para que se dé un rompimiento adecuado de la misma (Wirtgen GmbH, 2012).

Es importante a la hora de seleccionar el tipo de emulsión asfáltica, que se tome en cuenta su compatibilidad con el agregado. Las emulsiones catiónicas tienen mejor afinidad con los agregados silíceos, por otro lado, las emulsiones aniónicas tienen mejor afinidad con los agregados alcalinos (Wirtgen GmbH, 2012). De no tener la opción de cambiar el tipo de emulsión, es posible usar un promotor de adherencia.

Es importante realizar las pruebas de recubrimiento y adherencia en cada material al que se vaya a aplicar, para garantizar una adecuada trabajabilidad y un buen desempeño en el campo.

2.3.1 Componentes de la emulsión

Asfalto: El cemento asfáltico es el ingrediente básico de una emulsión, y en la mayoría de los casos, constituye el 55 al 70 por ciento de la misma.

Agua: Ella humedece y disuelve; se adhiere a las demás sustancias, y modera las reacciones químicas.

Agentes emulsificantes: las propiedades de una emulsión asfáltica dependen principalmente de la química usada como emulsificantes, esa química es llamada Surfactante, lo que determina que la emulsión sea clasificada como Aniónica, Catiónica o No iónica. La mayoría de los emulsificantes catiónicos son aminas grasas (diaminas, imidazolininas y amidoaminas). Las aminas son convertidas en jabón por reacción con un ácido, generalmente clorhídrico. Otro tipo de agente emulsificantes es la sal cuaternaria de amonio, que se usa para producir emulsiones catiónicas (Eddy, 2011)

Los materiales para la construcción de capas estabilizadas con emulsión asfáltica son normalmente agregados minerales sometidos a un tratamiento para aumentar su resistencia al cortante y reducir su susceptibilidad al daño por humedad. Los materiales sometidos a este tratamiento son normalmente materiales granulares, capas de mezcla asfáltica recuperada (RAP), que pueden estar tratados con dosificaciones bajas de cemento o cal para reducir su plasticidad.

Las emulsiones asfálticas pueden ser clasificadas de acuerdo con el tipo de emulsificante o emulgente usado:

Emulsiones Aniónicas: Los glóbulos de asfalto tienen una carga negativa, se rigen según las normas AASHTO M 140 Y ASTM D 977.

Emulsiones Catiónicas: Los glóbulos de asfalto tienen una carga positiva, se rigen según las normas AASHTO M208 Y ASTM D2397.

Las emulsiones también pueden clasificarse de acuerdo a su estabilidad:

Rompimiento rápido (CRS): el rompimiento ocurre de manera rápida al contacto con los agregados limpios de baja área superficial, como los utilizados en tratamientos superficiales.

Rompimiento medio (CMS): el rompimiento no es tan rápido, de manera que pueden mezclarse con agregados de baja área superficial, como los utilizados en mezclas de granulometría abierta.

Rompimiento controlado (CQS): se utilizan en lechadas asfálticas y micro aglomerados en frío (en este último caso deben ser emulsiones de quiebre controlado modificadas con polímeros).

Rompimiento lento (CSS): pueden mezclarse con agregados reactivos de alta área superficial, como los utilizados en sellos superficiales.

En la figura 2 se presenta la clasificación de emulsiones asfálticas para diferentes tipos de construcción ya sea para la mezcla en planta o en sitio, dependiendo de la aplicación y combinación que se le permita a la emulsión.

Tipo de Construcción		Asfaltos Emulsificados								
		Aniónicos					Catiónicos			
		MS-2 HFMS-2	MS-2h HFMS-2h	HFMS-2S	SS-1	SS-1h	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h
Mezcla fría de planta para capas bases y superficies	Agregados con granulometrías abiertas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	Agregados bien graduados			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Parcheo uso inmediato				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Parcheo apilamiento									
Mezclado en sitio, bases y superficies	Agregado con granulometías abiertas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	Agregados bien graduados			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Arena			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Suelos Arenosos			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Parcheo uso inmediato			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 2. Manual de Mezclas Asfálticas en Frío. Fuente: MS-14.

2.3.2 Emulsión asfáltica CSS-1

Es una emulsión catiónica de quiebre lento, de residuo blando, color café oscuro y estado líquido.

Presenta algunas ventajas tales como:

- ✓ Producto compuesto en base a una dispersión de asfalto en agua, emulsificantes y aditivos. No contaminante, de excelente durabilidad y adherencia a los áridos.
- ✓ Es utilizado como riego de liga sobre superficies de Concreto Hidráulico o capas bituminosas previo a la colocación de mezclas asfálticas.
- ✓ Riego de imprimación o riego de liga sobre superficie asfálticas envejecidas en mantenimientos de caminos
- ✓ Para la fabricación de sellos superficiales de conservación denominados slurry seals (lechadas asfálticas), esta es una mezcla que se fabrica con arena, agua y filler tipo cemento o cal.
- ✓ Se puede usar para relleno, juntas y grietas en una mezcla con arena.

2.3.3 Contenido Óptimo Teórico de Emulsión

Para la estabilización de la base se determinará la cantidad de material pétreo y emulsión necesaria que permitan obtener una mezcla, que compactada dinámicamente ofrezca determinadas características de durabilidad y resistencia.

El contenido óptimo teórico de emulsión asfáltica será determinado mediante tres métodos. Los cálculos efectuados son únicamente de referencia, no es una estimación precisa debido a que las ecuaciones utilizadas fueron desarrolladas para materiales con propiedades diferentes a las de Nicaragua. Para obtener resultados cercanos a la realidad nacional, con estos modelos, se deberán calibrar en base a resultados de laboratorio.

2.3.3.1 Método Duriez

Este modelo fue desarrollado por el doctor Marius Duriez durante los años 1950 y 1960, en Francia. Su primera observación era que el ligante, en una mezcla bituminosa, solo tiene que envolver los áridos y no llenar los huecos entre ellos.

Determina el porcentaje de emulsión con base en la superficie específica del material.

- ✓ Cálculo de la superficie específica del material con base en la granulometría.

$$FSE = \frac{2.5}{\sqrt{D \cdot d}} \quad \text{Ec. 23}$$

FSE: Factor de Superficie Específica

D: Diámetro del tamiz superior en mm.

d: Diámetro del tamiz inferior en mm.

$$SE = \sum \frac{FSE * \%Retenido}{100} \quad \text{Ec. 24}$$

SE: Superficie Específica.

- ✓ Determinación del porcentaje de asfalto residual según formula del Dr. Duriez.

$$E_1 = \frac{[(K * (SE)^{0.2}]}{L} \quad \text{Ec. 25}$$

K: Factor de Riqueza (entre 3.0 a 3.5)

L = concentración del ligante en la emulsión

2.3.3.2 Método del Instituto del Asfalto

Este modelo matemático para estimar el contenido de emulsión fue desarrollado en los Estados Unidos.

$$E_2 = \frac{(0.035 * A + 0.045 * B + k * C + F)}{0.60}$$

Ec. 26

Donde:

E_2 = Porcentaje de emulsión.

A = Porcentaje de agregado retenido en el tamiz N°10

B = Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N°10 y se retiene en el tamiz N°200

C = Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N°200

k = Factor de riqueza, (varía entre 3.0 a 5.0)

2.3.3.3 Método de Wirtgen

El Manual de Reciclado en Frío Wirtgen fue publicado en inglés por primera vez en 1998. Numerosos reportes, artículos tecnológicos expuestos en congresos, y otras publicaciones técnicas han utilizado al manual Wirtgen como referencia en forma directa o sus bibliografías. Con estos antecedentes, es posible afirmar que el Manual de Reciclado en Frío Wirtgen ha llegado a ser el documento de referencia de esta tecnología. Este desarrollo tecnológico se llevó a cabo en las instalaciones de Wirtgen en Alemania. (Ver Tabla 1)

Tabla 1. Estimación de porcentaje teórico de asfalto residual óptimo. Fuente: (Wirtgen GmbH, 2012).

Fracción pasando el tamiz N° 200 (%)	Adición de Emulsión asfáltica (residuo asfáltico) % sobre peso seco de agregado		Material típico
	Fracción pasando el tamiz N°4		
	<50%	>50%	
<4	3.3 (2.0)	3.3 (2.0)	RAP
4-7	3.7 (2.2)	4.0 (2.4)	RAP/ Piedra triturada graduada, gravas naturales, mezclas de los anteriores
7-10	4.0 (2.4)	4.7 (2.8)	
>10	4.3 (2.6)	5.3 (3.2)	Gravas/Arenas

2.3.4 Fabricación de Emulsión Asfáltica CSS1

El procedimiento de creación de la emulsión asfáltica consiste en alimentar el molino coloidal con asfalto caliente, el cual es dividido en pequeñas gotitas. Al mismo tiempo, se ingresa en el equipo dispersante el agua conteniendo el agente emulsivo. El asfalto que ingresa en el molino coloidal se calienta para alcanzar una baja viscosidad; la temperatura del agua se ajusta para optimizar el proceso de emulsificación. Estas temperaturas varían, dependiendo de las características de emulsificación del cemento asfáltico y de la compatibilidad entre el asfalto y el agente emulsivo. Debido a que la temperatura de la emulsión al abandonar el molino debe ser inferior al punto de ebullición del agua, el asfalto no se lleva a temperaturas extremadamente altas, al menos que se emplee un enfriador.

Luego, la emulsión es usualmente bombeada a tanques de almacenamiento a granel. Estos tanques pueden estar equipados con agitadores mecánicos, que proveen una continua homogenización, para mantener la uniformidad de la emulsión.



Figura 3. Tanques de Almacenamiento de Emulsiones. Fuente, Propia.

Es importante señalar que después de la producción de la emulsión se debe realizar una serie de ensayos de laboratorio regidos por Normas Internacionales. Si los resultados de estas pruebas están dentro de los parámetros requeridos la emulsión

puede utilizarse en la estabilización de bases u otras actividades sin ningún problema.

2.3.5 Ensayos de Emulsiones Asfálticas

Una adecuada manipulación de la muestra es importante para lograr resultados de ensayos que sean válidos. Las emulsiones asfálticas se elaboran en caliente, algunas son almacenadas, transportadas y aplicadas en caliente. (González, 2007).

Los ensayos se realizan con el fin de verificar la calidad de la emulsión, y el cumplimiento de las especificaciones de calidad de acuerdo con la Norma Internacional ASTM D 2397-05. O ensayos realizados en base a la Norma ASTM D 244. (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Descripción y Métodos de Ensayos de Emulsiones Asfálticas. Fuente: ASTM D 244.

Descripción de los ensayos	Método de Ensayo	
Composición de la Emulsión		
Contenido Asfáltico, (%)	ASTM D95	AASHTO T55
Carga de las Partículas	ASTM D244	AASHTO T59
Ensayos de Consistencia		
Viscosidad, Saybolt Furol a 50 °C; seg	ASTM D244	AASHTO T59
Ensayos de Estabilidad		
Demulsibilidad, 35 ml de 0.8 (%)	ASTM D244	AASHTO T59
Mezcla con Cemento, (%)	ASTM D244	AASHTO T59
Ensayo de Tamizado (%)	ASTM D244	AASHTO T59
Ensayos al residuo de destilación		
Penetración a 25 °C, 100 g; 5 seg, (0,1 mm)	ASTM D5	AASHTO T49
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min, (cm)	ASTM D113	AASHTO T51

✓ Ensayo de Carga de Partículas

La prueba de carga electrostática consiste en determinar de forma cualitativa, el tipo de carga del emulsificantes y por lo tanto el tipo de emulsión (Catiónicas, Aniónicas). Las emulsiones catiónicas mostrarán una deposición de material bituminoso en el

electrodo negativo (cátodo) y las emulsiones Aniónicas mostrarán una deposición en el electrodo positivo (ánodo). En la figura 4 se muestra el equipo que se utiliza para la ejecución de este ensayo. (Ver Tabla 2)



Figura 4. Ensayo de carga de partículas. Fuente: Propia.

✓ Viscosidad Saybolt Furol

Esta prueba consiste en determinar la viscosidad de la emulsión mediante un viscosímetro Saybolt Furol, el cual cuenta con un orificio calibrado para este fin, con el propósito de conocer la consistencia y de forma indirecta, conocer cómo está el contenido de asfalto en la emulsión asfáltica. La presencia de glóbulos grandes puede obstruir el orificio calibrado indicando que la emulsión está rompiendo. En la figura 5 muestra el equipo que se utiliza para este ensayo.



Figura 5. Viscosidad Saybolt Furol. Fuente: Propia.

✓ **Prueba de Estabilidad a 24 horas.**

La prueba de estabilidad, prueba de asentamiento o sedimentación, consiste en obtener la tendencia de los glóbulos de asfalto para sedimentarse durante un almacenamiento prolongado, lo cual se puede relacionar como una medida del deterioro de esta en el tiempo. Los métodos de ensayos son los especificados en la tabla 2 de este documento, en la Figura 6 muestra el equipo que se utilizó.



Figura 6. Prueba de Estabilidad a 24h. Fuente: Propia.

✓ **Prueba de tamizado.**

El objetivo de esta prueba es determinar cuantitativamente, el contenido de asfalto presente en forma de glóbulos relativamente grandes, que pudieran obstruir los equipos de aplicación. Además de indicar que tan estable puede encontrarse la emulsión asfáltica.

En este ensayo, una muestra representativa de emulsión asfáltica es vertida a través de un tamiz de 850 mm (No. 20). En el caso de emulsiones aniónicas, el tamiz y el asfalto retenido son lavados primero con una solución débil de oleato de sodio y luego con agua destilada. Para emulsiones catiónicas, el lavado solo se hace con agua destilada. Luego del lavado, el tamiz y el asfalto se secan en estufa, determinándose el peso del asfalto retenido.

En la figura 7 se observa el proceso de tamizado de la emulsión asfáltica mediante el (tamiz n° 200).

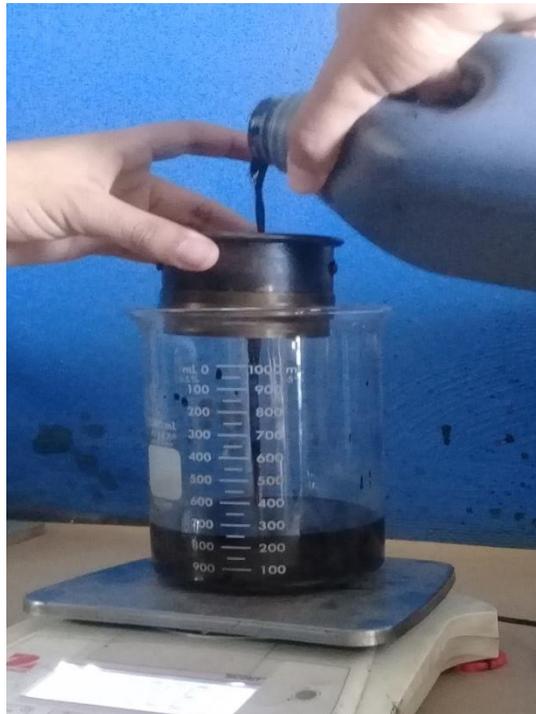


Figura 7. Prueba de Tamizado Fuente: Propia.

2.3.6 Especificaciones de Control de Calidad para Emulsiones Asfálticas. (ASTM D 2397-05)

Tabla 3. Especificaciones de control de calidad de emulsiones de tipo catiónicas. Fuente: ASTM D 2397-05

Características	Unidades	TIPO													
		Rompimiento													
		Rápido			Medio			Lento			Acelerado				
		GRADO													
CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h		CQS-1H			
Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		
Pruebas sobre la emulsión															
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C	SFS	---	---	---	---	---	---	---	---	20	100	20	100	20	100
Viscosidad Saybolt Furol a 60°C	SFS	20	100	100	140	50	450	60	450	---	---	---	---	---	---
Prueba de estabilidad en almacenamiento, 24h	%	---	1	---	1	---	1	---	1	---	1	---	1	---	---
Demulsibilidad, 35ml, 0.8% sulfocianato de dioctil sodio	%	40	---	40	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Prueba de carga eléctrica de partículas	---														
Prueba de Tamizado	%	---	0.1	---	0.1	---	0.1	---	0.1	---	0.1	---	0.1	---	0.1
Prueba de mezclado de cemento	%	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2	---	2	---	N/A
Destilación: Aceite destilado, por volumen de emulsión	%	---	3	---	3	---	12	---	12	---	---	---	---	---	---

Características	Unidades
Residuo	%
Pruebas sobre el residuo de la destilación	
Penetración, 25°C, 100g. 5s.	1/10mm
Ductilidad, 25°. 5cm/mln	Cm
Solubilidad en tricloroetileno	%

TIPO													
Rompimiento													
Rápido			Medio				Lento			Acelerado			
GRADO													
CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h		CQS-1H	
Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
60	---	65	---	65	---	65	---	57	---	57	---	57	---
100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90	40	90
40	---	40	---	40	---	40	---	40	---	40	---	40	---
97.5	---		---		---	97.5	---	97.5	---	97.5	---		---

Tabla 4. Especificaciones de control de calidad de emulsiones de tipo aniónicas. Fuente: ASTM D 2397-05.

Tipo	Rompimiento													
	Medio								Lento				Acelerado	
	HFMS-1		HFMS-2		HFMS-2h		HFMS-2s		SS-1		SS-1h		CS-1H	
Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Q Grado														
Pruebas sobre la emulsión Viscosidad Saybolt Furol a 25°C	20	100	100		100		50		20	100	20	100	20	100
Viscosidad Saybolt Furol a 60°C	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Prueba de estabilidad en almacenamiento, 24h.	---	1	---	1	---	1	---	1	1	---	1			
Demulsibilidad, 35ml, 0.02 N de	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---			
Habilidad de revestimiento y resistencia al agua														
Película agregado seco	Bueno		Bueno		Bueno		Bueno		---		---			
Película después de rociado	Regular		Regular		Regular		Regular		---		---			
Película de agregado húmedo	Regular		Regular		Regular		Regular		---		---			
Película después de rociado	Regular		Regular		Regular		Regular		---		---			
Prueba de mezclado cemento, %	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2		2		N/A
Prueba de Tamizado; %		0.1		0.1		0.1		0.1		0.1		0.1		0.1
Residuo por destilación, %	55		65		65		57		57		57		57	
Destilado de aceite por volumen de emulsión, %	---	---	---	---	1	7	---	---	---	---	---	---	---	---
Prueba sobre el residuo de destilación														
Penetración, 25°C, 100g, 5s(1/100mm)	100	200	100	200	40	90	200	---	100	200	40	90	40	90
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	40	---	40	---	40	---	40	---	40	---	40	---	40	---
Solubilidad en tricloroetileno, %	97.5	---	97.5	---	97.5	---	97.5	---	97.5	---	97.5	---	97.5	---
Prueba de flotador, 60°C, s	1200	---	1200	---	1200	---	1200	---	---	---		---	---	---

2.4 Filler

Los tipos de relleno mineral utilizados en los BEA son: cemento Portland (varios tipos, pero no de fraguado rápido), cal hidratada, polvo de piedra, cenizas volantes y escorias de alto horno. El término de relleno mineral activo se usa para definir el relleno mineral que altera químicamente las propiedades de la mezcla. En este tipo de relleno mineral se incluyen el cemento Portland, la cal hidratada y las cenizas volantes. El resto se considera relleno mineral de tipo natural. (Asphalt Academy, 2009). El propósito de incorporar relleno mineral activo en los BEA es:

- ✓ Mejorar la adhesión del cemento asfáltico con el agregado
- ✓ Mejorar la dispersión del asfalto en la mezcla
- ✓ Disminuir la plasticidad, haciéndola más resistente a la deformación plástica.
- ✓ Aumentar la rigidez de la mezcla y ganar resistencia
- ✓ Acelerar el curado de la mezcla compactada
- ✓ Imprimir mayor trabajabilidad a la mezcla que lo hace más manejable.

Estas características hacen que la mezcla bituminosa soporte mejor las tensiones por rozamiento interno de las partículas relleno los vacíos entre agregados, impermeabilizando y densificando el esqueleto y haciéndolo más estable y duradero.

En este trabajo investigativo se utilizó “Cemento CANAL” tipo GU, porque no se requiere de características y propiedades especiales como las que aportan los cementos Tipo II, (menor calor de hidratación y resistencia al ataque de los sulfatos) Tipo III, (fraguado rápido). Tipo IV, (disipación lenta del calor). Tipo V (cemento usado para concretos que van a estar expuestos a altas concentraciones de sulfatos). (McCORMAC, 8va. Edición)

El cemento CANAL es un producto diseñado con las más altas especificaciones de calidad. La resistencia a la compresión del cemento CANAL sobrepasa lo especificado por la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 12 006 – 11.

2.5 Agente Estabilizador

Para dar inicio al proceso de diseño en laboratorio y con los resultados de la caracterización del material, se debe tomar en cuenta si el material es apto para estabilización con asfalto, y con esto lograr un adecuado desempeño.

En la siguiente figura se ilustra qué criterios y cómo debe comprobarse que la estabilización con asfalto es la adecuada.

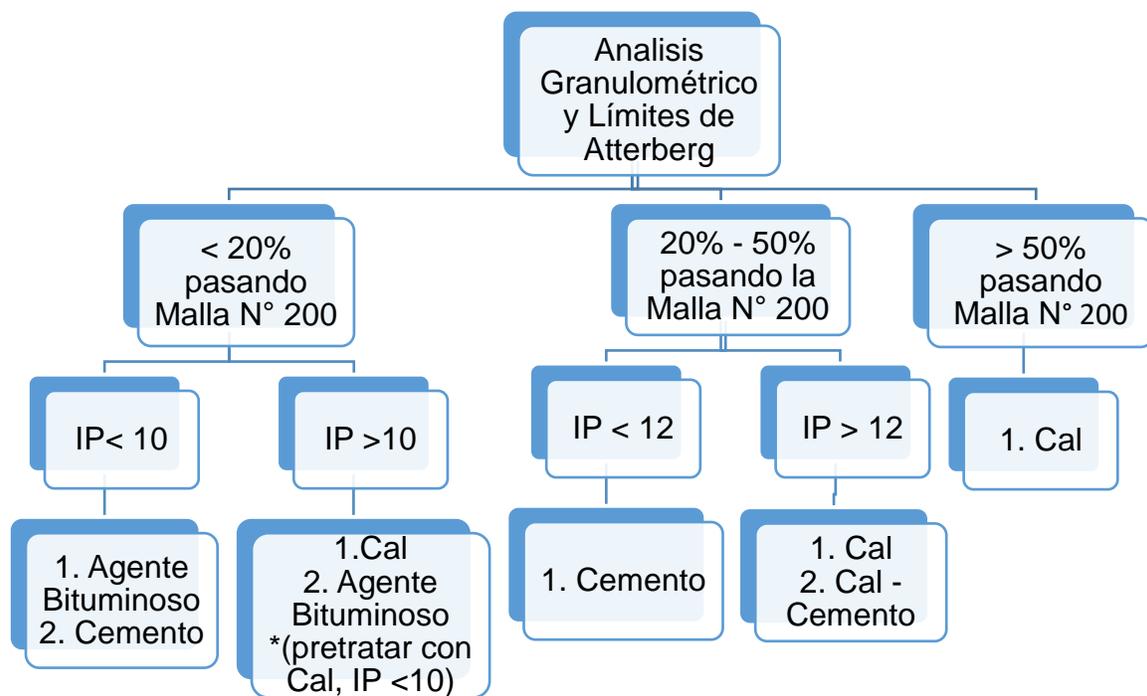


Figura 8. Selección del tipo de estabilización según informe. Fuente; (Ávila & Ulloa, 2017)

La estabilización con asfalto es posible principalmente en materiales gruesos, si el índice de plasticidad (IP) es menor a 10, o mayor a 10, pero para este segundo caso es necesario pre tratar el material con cal para disminuir el IP.

2.6 Bases estabilizadas con asfalto (BEA)

Los materiales estabilizados con asfalto son materiales sometidos a un tratamiento con emulsión asfáltica, asfalto espumado o asfalto en caliente, para aumentar su resistencia al corte y reducir la susceptibilidad al daño por humedad. Los materiales sometidos a este tratamiento son generalmente materiales granulares, materiales tratados previamente con cemento, mezclas asfálticas recuperadas (RAP) e inclusive pavimento recuperado que incluya capas subyacentes y/o materiales tratados para formar una nueva base o sub-base.

La técnica de estabilización de materiales granulares consiste en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del material por medio de la dispersión del asfalto entre las partículas más finas de agregado. Cuando se utilizan las emulsiones asfálticas, éstas se dispersan preferentemente entre las partículas más finas, pero no exclusivamente, ya que algunas partículas más gruesas son parcialmente recubiertas. Con las emulsiones asfálticas, se da una unión química entre el agregado y el asfalto promovido por el emulsificante. Sin embargo, cuando se emplea asfalto espumado, éste se dispersa exclusivamente entre las partículas más finas, produciendo "puntos de soldadura" entre el mástico de las gotas de asfalto y las partículas finas de agregado.

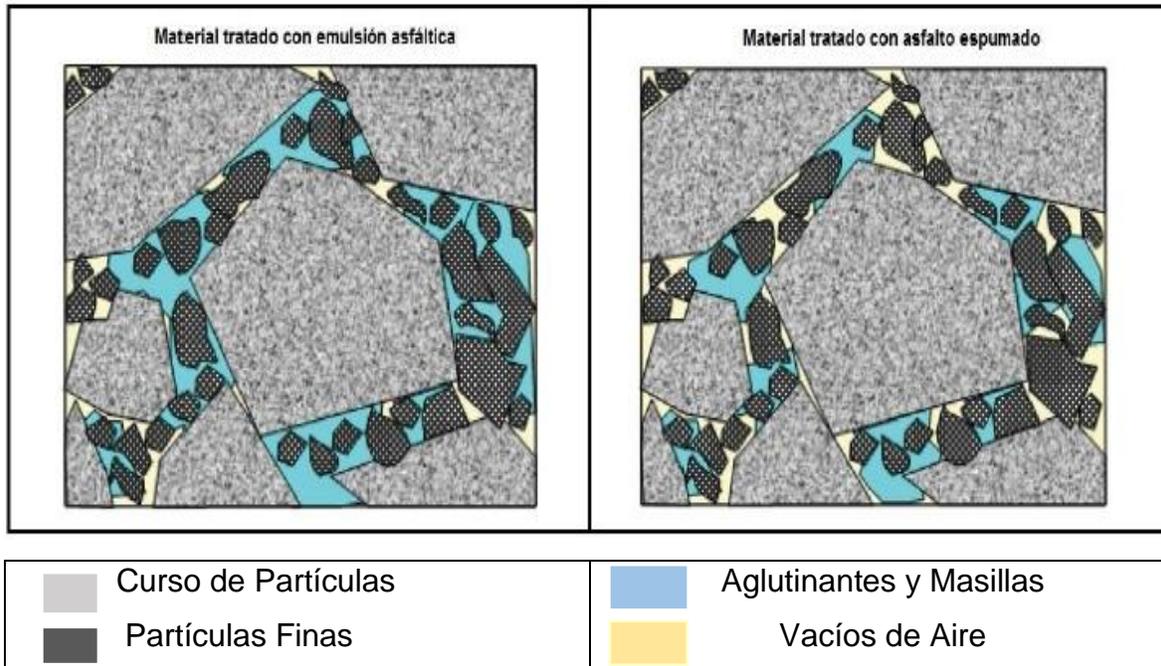


Figura 9. Ligadura entre el asfalto y el agregado, Fuente; (Asphalt Academy, 2009).

2.6.1 Principales características

- ✓ El comportamiento de los materiales granulares estabilizados con asfalto es muy similar al de los materiales granulares sin estabilizar, pero con un aumento significativo en la cohesión y reducción en la susceptibilidad al daño por humedad.
- ✓ Las partículas gruesas de agregado no están del todo recubiertas con asfalto. El asfalto se dispersa casi exclusivamente entre las partículas finas, resultando en un mástico rico en asfalto entre las partículas más gruesas.
- ✓ No tienen apariencia negra o adherente como las mezclas asfálticas en caliente. Existe un oscurecimiento leve del material después de estabilizar.
- ✓ El contenido de vacíos de una capa compactada es similar a la de la capa de material granular, y no de una carpeta asfáltica.
- ✓ Los métodos de estabilización con emulsión asfáltica y asfalto espumado reducen la viscosidad del asfalto, permitiendo que se mezcle con material granular a temperatura ambiente.
- ✓ En este tipo de mezclas las cantidades de asfalto residual aplicado normalmente no exceden el 3% sobre la masa de agregado seco. En muchas

situaciones se adiciona relleno mineral activo como cemento o cal hidratada. Aparte de aumentar la resistencia retenida en condiciones saturadas, el relleno mineral activo ayuda a dispersar el asfalto. El contenido de relleno mineral no se recomienda que exceda el 1.5% para cemento y cal hidratada. Si se coloca más de estos porcentajes recomendados, la estabilización con asfalto pierde las propiedades que se buscan inicialmente, y se convierte en otro tipo de estabilización.

2.6.2 Clasificación

Los BEA se clasifican en tres clases, dependiendo de la calidad de su material original y el tráfico de diseño (Asphalt Academy, 2009):

BEA1: Este material tiene alta resistencia al corte, y es típicamente utilizado como capa de base para un tráfico de diseño de más de 6 millones de ESALs (ejes equivalentes, eje estándar compuesto por un eje sencillo con dos ruedas en los extremos). Para esta clase de material sin tratar, la fuente es típicamente roca triturada bien graduada, pavimento asfáltico reciclado (RAP) o una mezcla de ambos.

BEA2: Este material tiene resistencia moderada al corte, y es típicamente utilizado como capa de base para un tráfico de diseño entre 3 y 6 millones de ESALs. Para esta clase de material la fuente de material sin tratar es generalmente grava natural graduada, o una mezcla de varios materiales, entre ellos RAP.

BEA3: Este material consiste típicamente en suelo-grava y/o arena, estabilizados con altos contenidos de asfalto. Como capa de base es adecuado solamente para aplicaciones de tráfico de diseño menores a 3 millones de ESALs.

2.7 Curva de máxima densidad

La graduación de los agregados es un factor importante que influye en la deformación permanente de las mezclas asfálticas. La grafica dada en la figura 10 es un ejemplo claro de graduación agregada para fines de clasificación. La graduación de densidad máxima es la que proporciona el volumen de espacio más pequeño posible entre las partículas de agregado, es decir, es la mezcla que proporciona el VMA más bajo posible para un conjunto dado de agregados.

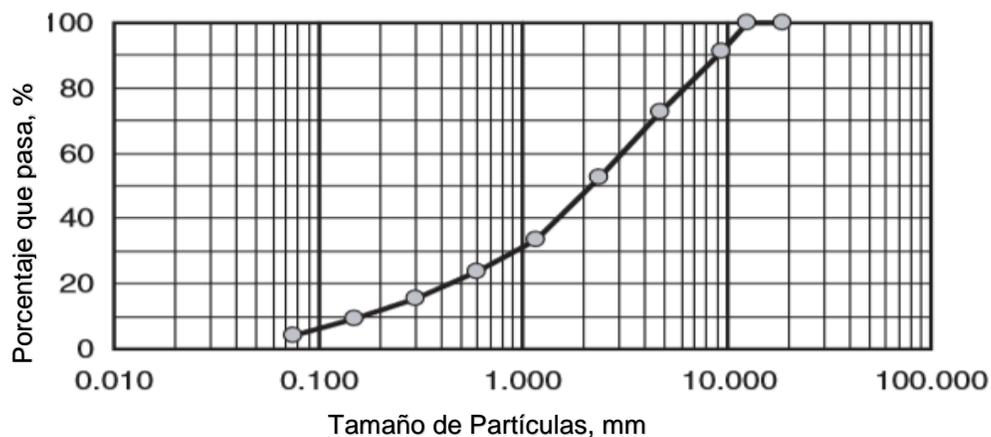


Figura 10. Curva de máxima densidad. Fuente: Manual for design of hot-Mix asphalt with commentary, 2011.

$$\%PMD = \left(\frac{d}{D}\right)^{0.45} (100) \quad \text{Ec. 27}$$

Donde:

%PDM: % de paso, graduación de densidad máxima.

d: tamaño del tamiz en cuestión, mm.

D: tamaño máximo de tamiz, mm.

La figura 11 ilustra los diferentes tipos de gradaciones de los agregados (Densa, Fina, Gruesa), incluyendo la curva de gradación de densidad máxima calculada usando la ecuación No.27 para un tamaño de agregado de 25.00 mm.

En la actualidad existe evidencia que muestra que mezclas con granulometrías de graduaciones densas son deseables para aminorar los efectos de la deformación permanente. Cuando estas mezclas son compactadas adecuadamente, resultan con menos vacíos de aire y mayor contacto entre partículas a diferencia de una granulometría abierta. (Academy, 2009).

Una de las evidencias más significativas es el cambio de graduación que actualmente adopta el método SUPERPAVE (Superior Performance Pavements), y el NCHRP 673 (National Cooperative Highway Research Program) también hace énfasis en el tema de VMA (Porcentaje de vacíos en el agregado mineral).

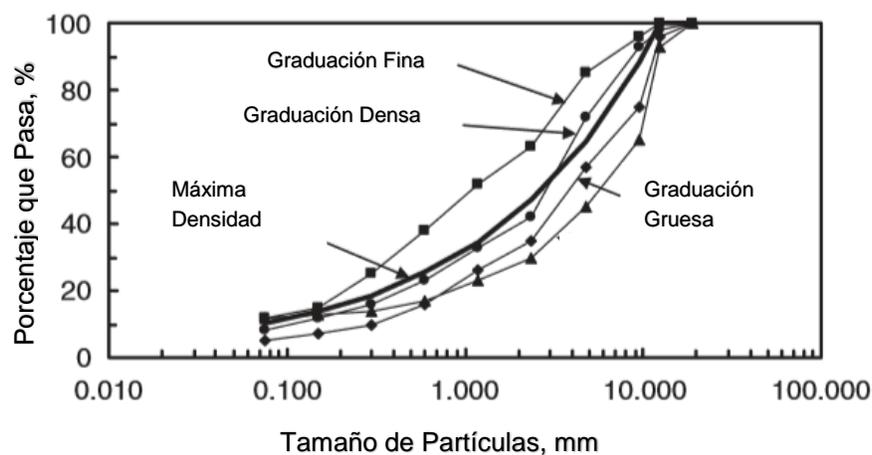


Figura 11. Tipos de gradaciones de los agregados incluyendo la curva de densidad máxima. Fuente: Manual for design of hot-Mix asphalt with commentary, 2011.

2.8 Ensayos de caracterización física.

✓ Ensayo de recubrimiento

La selección del tipo y grado de emulsión asfáltica para ser usada en un proyecto se basa en gran parte en la capacidad de la emulsión para recubrir adecuadamente el agregado. El porcentaje de asfalto residual que se utiliza puede estar dentro de un rango de 2 % a 3 % sobre el peso total de agregado seco. (PITRA-Lanamme UCR, 2019). Algunos factores que afectan la selección son:

✓ Tipo de agregado

- ✓ Gradación del agregado y características de los finos
- ✓ Humedad Natural
- ✓ Disponibilidad de agua en el sitio de la construcción.

Este ensayo se realiza con el propósito de verificar que la emulsión asfáltica a utilizar en el diseño es compatible con los agregados, el procedimiento consiste en adicionar agua y emulsión asfáltica a los agregados, seguido por un proceso de mezclado y posterior un proceso de curado por un periodo de 24 horas a 60°C, el objetivo del curado es eliminar el agua existente (propio de la emulsión y la humedad de pre-envuelta), para permitir observar la capacidad de dispersión del asfalto residual en las partículas del agregado mineral.



Figura 12. Ensayo de recubrimiento. Fuente: Propia.

✓ Ensayo de adherencia

Para determinar que la emulsión, además de proveer un adecuado recubrimiento, provee una apropiada adherencia o afinidad con los agregados, se toma una submuestra del ensayo de recubrimiento y se evalúa su adherencia siguiendo las recomendaciones que indica la Guía de diseño de materiales estabilizados con emulsión, 2019. Este procedimiento consiste en cuarteo de una cantidad de aproximadamente 100g de mezcla a la cual se le agrega agua a 100°C, luego se

mezcla y finalmente se realiza una inspección visual para observar el porcentaje de partículas que fueron descubiertas de su película de asfalto residual.



Figura 13. Ensayo de adherencia. Fuente: Propia.

✓ **Variación de contenido de asfalto residual**

En la determinación del contenido óptimo de asfalto residual para una combinación de un agregado en particular y asfalto emulsificado, se preparan una serie de especímenes de prueba sobre un rango de contenido de asfalto residual, usando el contenido de agua óptimo previamente establecido para mezcla y compactación.

Las mezclas de prueba son preparadas en incrementos de 1 % del contenido de asfalto residual con dos incrementos en ambos lados del contenido de asfalto determinado con la fórmula.

✓ **Ensayo tensión diametral (AASHTO T-283) e inmersión compresión (AASHTO T-165)**

El ensayo de tensión diametral, destaca por ser un método simple y representativo, que permite imitar la respuesta de un pavimento flexible y obtener la carga máxima que aguanta una mezcla antes de romper.

Este ensayo consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, aplicando una carga de manera uniforme a lo largo de dos líneas o generatrices opuestas hasta alcanzar la rotura. Para este ensayo se fabrican 6 especímenes de cada mezcla de 101 mm y a una altura de 95mm y se somete al “Método estándar para la resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño por humedad”. (AASHTO T 283).

El ensayo inmersión compresión (AASHTO T-165) se utiliza para determinar la pérdida de resistencia debido a la acción del agua. La determinación consiste en hacer dos juegos de probetas; las primeras se evalúan en compresión no confinada a una temperatura de 25 °C; el segundo juego se sumerge en agua a una temperatura de 60 °C durante 24 horas, después se vuelve a sumergir en agua a 25 °C por dos horas; finalmente, se seca superficialmente y se evalúa en compresión a una temperatura de 25 °C.



Figura 14. Tensión Diametral. Fuente: Propia.

Calculo del ITS de cada espécimen con aproximación de 1kpa

$$ITS = \frac{2000 * P}{\pi * h * d} \quad Ec. 28$$

Donde

ITS: resistencia a la tensión indirecta, KPa

P: carga máxima, N

h: altura de espécimen, mm.

d: diámetro del espécimen, mm.

La razón de resistencia retenida TSR, es la relación entre el promedio de ITS seco y el promedio de ITS saturado, se expresa como porcentaje usando la siguiente ecuación:

$$TSR = \frac{ITS_{Saturado}}{ITS_{Seco}} * 100 \quad Ec. 29$$

✓ Ensayo de Equivalente de Arena

El ensayo tiene por objeto determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Este ensayo produce como resultado un valor empírico de la cantidad relativa de finos y material arcilloso presente en la muestra de suelo o agregado fino.

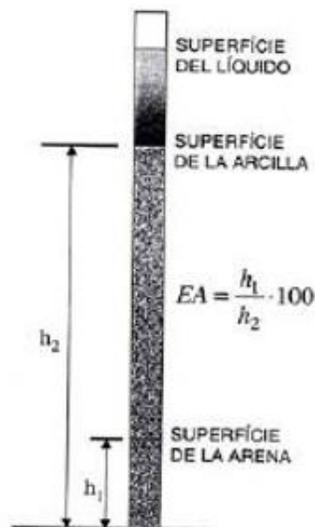


Figura 15. Esquema de Ensayo Equivalente de Arena, Fuente: (Hernández, 2014).

A un volumen determinado de suelo o agregado fino se le adiciona una pequeña cantidad de solución floculante, mezclándolos en un cilindro de plástico graduado, (Probeta) y agitándolos para que las partículas de arena pierdan la cobertura

arcillosa. La muestra es entonces "irrigada", usando una cantidad adicional de solución floculante, para forzar el material arcilloso a quedar en suspensión encima de la arena.

Después de un período de sedimentación, se determinan las alturas de la arcilla floculada y de la arena en el cilindro. El "equivalente de arena" es la relación entre la altura de arena y la altura de arcilla, expresada en porcentaje.

$$(\%Ea) = \frac{\text{Lectura de Arena}}{\text{Lectura de Arcilla}} * 100 \quad \text{Ec. 30}$$

%Ea= Porcentaje Equivalente de Arena.

✓ **Ensayo de Partículas planas y alargadas**

El objetivo de este método es para determinar el porcentaje de caras largas y aplanadas de los agregados gruesos que van a ser empleados en la construcción de carreteras. Las partículas planas y alargadas son perjudiciales, ya que tienden a romperse y degradarse bajo el efecto de compactación y del tráfico quedando más susceptibles a fallar cuando se le aplique una presión mínima, porque su forma no es muy apropiada por ser tan delgadas; por esto, se exige un porcentaje de partículas planas y alargadas máximo de 10% según la norma ASTM 4791.

Partículas alargadas del agregado: Son aquellas partículas del agregado que tienen una relación de largo a su diámetro mayor que un valor especificado.

Partículas planas y alargadas del agregado: Son aquellas partículas que tienen una relación de largo a su espesor mayor de un valor especificado.

Partículas planas del agregado: Son aquellas partículas del agregado que tienen una relación de ancho a espesor mayor de un valor especificado.

Largo: La máxima dimensión de la partícula.

Espesor: La mínima dimensión de la partícula. Es la máxima dimensión en el plano perpendicular a la longitud y el ancho.

Ancho: Es la dimensión intermedia de la partícula. Es la máxima dimensión del plano perpendicular al largo y el espesor. El ancho es mayor que o igual al espesor.

$$\% = \frac{\text{Peso de caras largas y aplanadas}}{\text{peso total de la muestra}} * 100$$

Ec. 31

2.9 Principales diferencias entre bases estabilizadas con emulsión y bases estabilizadas con cemento.

Tabla 5. Diferencias entre bases estabilizadas con emulsión y con cemento.

Bases Estabilizadas	
Emulsión	Cemento
Flexibilidad. La estabilización con asfalto produce un material con propiedades visco elásticas con una flexibilidad mejorada y resistencia a la deformación.	El agrietamiento por retracción es inevitable. Sin embargo, puede ser minimizado.
Facilidad de aplicación. Un tanque se acopla a la recicladora y se aplica a través de la barra rociadora.	Aumenta la rigidez en pavimentos flexibles.
Aceptación. Las emulsiones asfálticas son relativamente bien conocidas en la industria de la construcción. Métodos de ensayos estándares y especificaciones se encuentran ampliamente disponibles.	Requiere de un curado apropiado y protección para el tráfico a temprana edad una vez puesto en servicio, particularmente de vehículos pesados que se desplazan a baja velocidad.
Bases de desempeño superior.	

2.10 Macro y micro localización del proyecto

La carretera “Empalme Guanacaste – Empalme el Grajinan” tiene una longitud aproximada de 10.00 kilómetros y se localiza entre los municipios de Diriomo y Nandaime (departamento de Granada). Este tramo forma parte de la carretera Panamericana Sur que conecta el tráfico de los departamentos del norte, incluyendo a capital Managua y el vecino país de Honduras con el destino a Costa Rica y viceversa.

El inicio del tramo (Empalme Guanacaste) se sitúa en el municipio de Diriomo (Granada), esta intersección conecta al noroeste con la ciudad de Granada, al Este con la ciudad de Masaya y al Sur con la ciudad de Rivas. El fin del proyecto (Empalme El Grajinan) se localiza justo en la entrada de la ciudad de Nandaime.

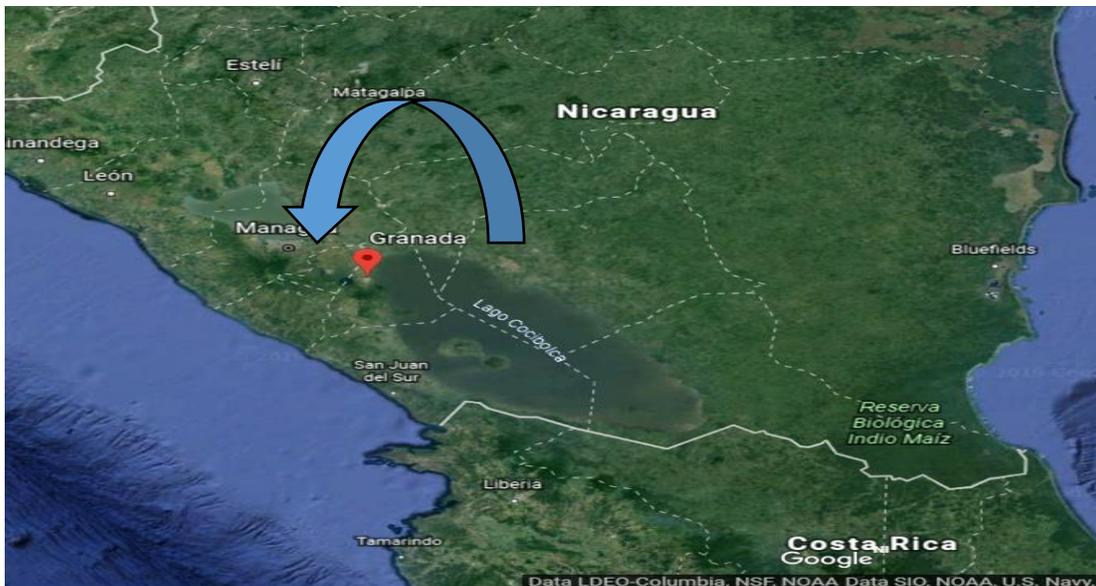


Figura 16. Macro localización del Proyecto. Fuente; Google Earth.

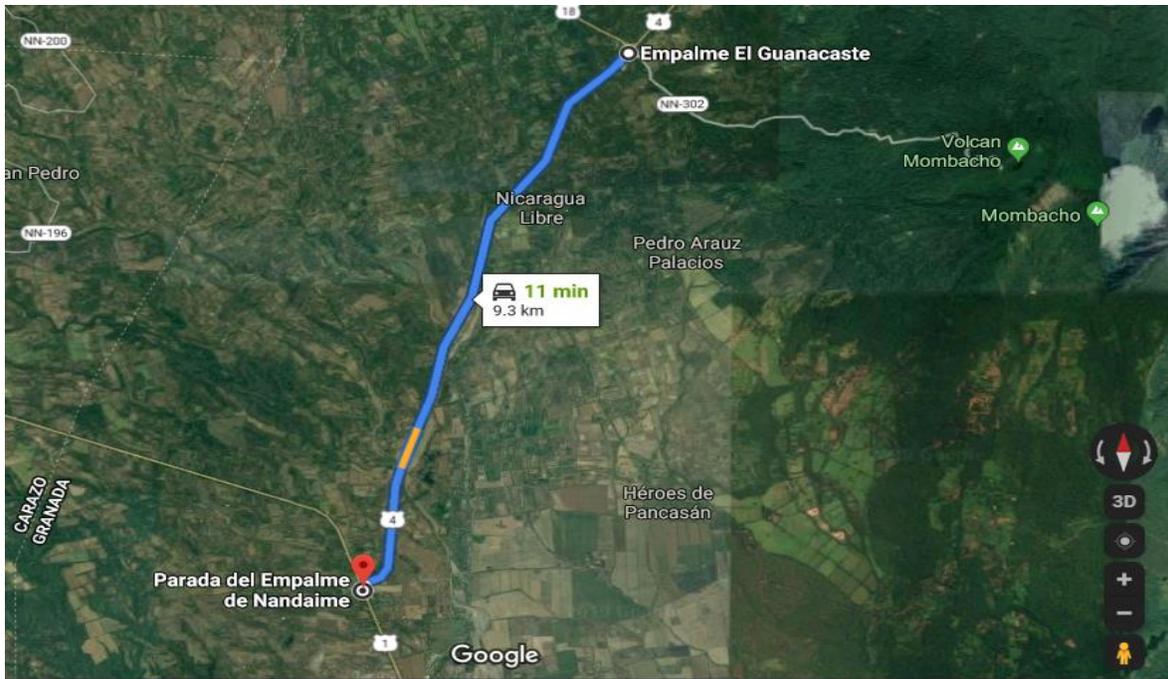


Figura 17. Micro localización del Proyecto. Fuente; Google Earth.

2.11 Hipótesis

La base estabilizada con emulsión asfáltica catiónica de rompimiento lento en el tramo de la carretera Sur, NIC-04, será más resistente si se utiliza una granulometría densa-densa, en vez de usar una granulometría fina o una muy gruesa. (Para un mismo contenido de emulsión).

CAPITULO III. METODOLÓGIA APLICADA

3.1 Tipo de Estudio

El presente trabajo investigativo es de tipo experimental o predictivo ya que el desarrollo del tema en estudio depende de ensayos de laboratorio que pueden predecirse fácilmente, es decir que se prevé de situaciones futuras.

Esta investigación es una temática poco estudiada desde el punto de vista técnico en el país, es por esto; que se requiere de la exploración, la descripción, la comparación, el análisis y la explicación.

La investigación es un tipo de estudio Prospectivo, esto debido a que la información obtenida de los ensayos de laboratorio se va registrando, analizando y comparando según van ocurriendo los fenómenos.

La investigación es de enfoque cuantitativo, porque se hace uso de normas, especificaciones técnicas, Manuales de diseño y de datos estadísticos que se recolectaron en el transcurso del desarrollo de la investigación.

3.2 Área de Estudio

La investigación se realizó en el municipio de Managua, se visitó laboratorios de Suelos y Materiales, Asfaltos y algunos proyectos de carretera donde se implementó esta tecnología de “Bases estabilizadas con emulsión”. Se contó con el apoyo voluntario de personas altamente calificadas en esta área para poder obtener información concisa y precisa y brindar resultados excelentes.

3.2.1 Universo y Muestra

La carretera Panamericana Sur, que conecta el tráfico procedente de los departamentos del norte de Nicaragua (incluyendo la capital Managua y Honduras) con destino hacia Costa Rica y viceversa, es una de las principales

vías internacionales del país. Debido a los altos volúmenes de tráfico y a las características de los vehículos (principalmente los camiones pesados) que circulan sobre este corredor, el pavimento presenta múltiples tipos de deterioros, con diferentes niveles de severidad, por esta razón el Fomav ejecuta constantemente proyectos de mantenimientos que permiten cumplir con los dos objetivos fundamentales de los pavimentos: confort (seguridad a los usuarios) y capacidad de carga o estructural.

La muestra de RAP con la que se efectuó el estudio fue recuperada del segmento de carretera delimitado por los estacionamientos: “km 64+494.29 a km 65+228.82” del tramo: Empalme El Guanacaste – Empalme El Grajinan (ruta NIC 04). Las estaciones indicadas corresponden a las oficiales de la red vial nacional y se tomaron como referencias los postes kilométricos cercanos a los puntos de muestreo.

Tabla 6. Ensayos realizados. Fuente: Propia.

Ensayos Realizados			
Material	Descripción	No. De Muestras	Método
Material Pétreo			
RAP	Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos (tamizado)	3	AASHTO T 27
	Material Menor a 0.075 mm (por lavado)	3	AASHTO T 11
	Límites de Atterberg	2	ASTM D 4318
	Gravedad Especifica y Absorción de los Agregados	2	AASHTO T 84, 85
	Ensayo Relación densidad humedad de suelos, energía modificada de compactación.	2	AASHTO T 180
Agregados de Ajuste o Aporte			
25.00 mm Monogranular	Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos (tamizado)	2	AASHTO T 27

Ensayos Realizados			
Material	Descripción	No. De Muestras	Método
	Material Menor a 0.075 mm (por lavado)	2	AASHTO T 11
	Desgaste en la máquina de los Ángeles	2	AASHTO T 96
	Partículas Planas y Alargadas	2	ASTM D 4791
	Caras Fracturadas	2	ASTM D 5821
37.500 mm Base D	Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos (tamizado)	2	AASHTO T 27
	Material Menor a 0.075 mm (por lavado)	2	AASHTO T 11
	Desgaste en la máquina de los Ángeles	2	AASHTO T 96
	Partículas Planas y Alargadas	2	ASTM D 4791
	Caras Fracturadas	2	ASTM D 5821
9.500 mm Fino Triturado	Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos (tamizado)	2	AASHTO T 27
	Material Menor a 0.075 mm (por lavado)	2	AASHTO T 11
	Equivalente de Arena	2	AASHTO T 176
37.5 mm (1 1/2")	Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos (tamizado)	2	AASHTO T 27
	Material Menor a 0.075 mm (por lavado)	2	AASHTO T 11
	Desgaste en la máquina de los Ángeles	2	AASHTO T 96
	Partículas Planas y Alargadas	2	ASTM D 4791
	Caras Fracturadas	2	ASTM D 5821
Emulsión Asfáltica CSS1			
Emulsión Asfáltica CSS1	Contenido Asfáltico	1	AASHTO T 55
	Carga de Partículas	1	AASHTO T 59
	Viscosidad Saybolt Furol	1	AASHTO T 59
	Ensayo de Tamizado	1	AASHTO T 59
	Estabilidad de Almacenamiento	1	AASHTO T 59
Mezcla de Material Pétreo +Agregados + Emulsión + Cemento Portland			

Ensayos Realizados			
Material	Descripción	No. De Muestras	Método
RAP + 9.50 Fino Triturado	Recubrimiento	2	-
	Adherencia	2	-
	Compresión Simple	18	AASHTO T 283
	Tensión Indirecta	18	AASHTO T 165
RAP + 37.50 mm Base D	Recubrimiento	2	-
	Adherencia	2	-
	Compresión Simple	18	AASHTO T 283
	Tensión Indirecta	18	AASHTO T 165
RAP + 25.00 mm Monogranular + 37.5 mm (1 ½")	Recubrimiento	2	-
	Adherencia	2	-
	Compresión Simple	18	AASHTO T 283
	Tensión Indirecta	18	AASHTO T 165

3.3 Métodos e instrumentos para recolectar datos.

Los instrumentos que se utilizaron para recolectar datos son los siguientes:

- ✓ Bitácora del laboratorio
- ✓ Cámara Fotográfica
- ✓ Lapiceros
- ✓ Recuperadora de Pavimentos
- ✓ Herramientas para muestreos (Palas, Cucharon, Charolas, Espátulas, etc.)
- ✓ Sacos

Cada ensayo está regido por normativa correspondiente:

Materiales Pétreos

- ✓ Práctica Estándar para el Muestreo de los Agregados (ASTM D 75, AASHTO T-2)
- ✓ Reducción de la Muestra de Agregados a Tamaño de Ensayo (ASTM C-702, AASHTO T 248)
- ✓ Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos (tamizado) (AASHTO T-27)

- ✓ Gravedad específica y Absorción de los agregados (AASHTO T-84, T-85)
- ✓ Límites de Atterberg (ASTM D 4318)
- ✓ Especificaciones Estándar para Agregados de Concreto (ASTM C-33)
- ✓ Ensayo Relación densidad humedad de suelos, energía modificada de compactación (AASHTO T 180).

Emulsiones Asfálticas

- ✓ Especificación Estándar para Emulsiones Asfálticas Catiónicas (ASTM D2397, AASHTO M 208)
- ✓ Métodos y Prácticas de prueba Estándar para Asfaltos Emulsificados “Carga de Partículas” (ASTM 244)
- ✓ Métodos y Prácticas de prueba Estándar para Asfaltos Emulsificados “Viscosidad Saybolt Furol” (AASHTO T 59)
- ✓ Métodos y Prácticas de prueba Estándar para Asfaltos Emulsificados “Estabilidad a 24 horas” (AASHTO T 59)
- ✓ Métodos y Prácticas de prueba Estándar para Asfaltos Emulsificados “Prueba de Tamizado” (AASHTO T 59)
- ✓ Método Estándar para el agua en productos derivados del petróleo y materiales binarios por destilación “Contenido Asfáltico” (AASHTO T 55)
- ✓ Método del Dr. Duriez
- ✓ Método del Instituto del Asfalto
- ✓ Manual de Reciclado en Frío, Wirtgen 20004.

Agregados Minerales de aporte

- ✓ Especificaciones generales para agregados NIC-2000
- ✓ Desgaste en la Máquina de los Ángeles (AASHTO T 96)
- ✓ Equivalente de Arena (AASHTO T 176)
- ✓ Partículas Planas y Alargadas (ASTM D 4791)
- ✓ Caras Fracturadas (ASTM D 5821)

Mezcla de material pétreo, agregados minerales, emulsión asfáltica CSS1 y cemento Portland.

- ✓ Método estándar de prueba de resistencia de mezclas de asfalto compactado a daños inducidos por la humedad (AASHTO T-283).
- ✓ Método estándar de prueba para determinar el efecto del agua sobre la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas (AASHTO T-165)
- ✓ Especificaciones Técnicas del FOMAV

Nota: Los ensayos de Tensión diametral e inmersión compresión tienen una ligera variación al método de ensayo en cuanto a la temperatura del agua de condicionamiento. El método establece que los especímenes el grupo saturado deben ser condicionado con agua a 60 °C, en esta investigación se siguió la recomendación del Lanamme UCR y se realizó con agua a temperatura ambiente. Este cambio se debe a que los métodos AASHTO T 283 Y AASHTO T165 originalmente fueron concebidos para la evaluación de la resistencia al daño por la humedad de mezclas asfáltica en caliente y no para materiales estabilizados con emulsión asfáltica, donde los contenidos de asfalto residual son mucho menores.

3.4 Plan de tabulación y Análisis de datos

El análisis de los resultados del laboratorio para esta investigación (resistencia a compresión simple no confinada y tensión indirecta) se efectuó a través de los softwares: Microsoft Excel v2019 y Minitab v19.

1. Granulometría

$$\%humedad = \frac{M_{HUMEDA} - M_{SECA}}{M_{SECA}} * 100 \quad Ec.1$$

$$MIS = \frac{MIH}{1 + \frac{\% humedad}{100}} \quad Ec.2$$

$$MR (\%) = \frac{\text{Masa retenida}}{MIS} * 100 \quad \text{Ec. 3}$$

$$MRA(\%) = MRA_{\text{Inicial}} + MR (\%) \quad \text{Ec. 4}$$

$$MQPasa (\%) = 100 - MRA(\%) \quad \text{Ec. 5}$$

$$MPL = MIS - MMLS \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

M_{HUMEDA} : Masa Húmeda (g)

M_{SECA} : Masa Seca (g)

MIS : Masa Inicial Seca (g)

MIH : Masa Inicial Húmeda (g)

$MR (\%)$: Masa Retenida Parcial (g).

$MRA(\%)$: Masa Retenida Acumulada (g)

$MQPasa (\%)$: Material que pasa (g)

MPL : Material de Pérdidas por Lavado (g)

$MMLS$: Masa de Muestra Lavada y Seca (g)

2. Ensayo relación Densidad – humedad de suelos

$$\text{Material Seco} = \frac{MIP * \text{Fraccion } 3/4" \text{ a la No.4}}{100} \quad \text{Ec. 7}$$

$$\text{Mat. Húm} = MS * \left[1 + \frac{\% \text{Humedad}}{100} \right] \quad \text{Ec. 8}$$

$$\text{Cant. de Agua a Agregar} = \frac{\Delta H_2O}{100} * MIP \quad \text{Ec. 9}$$

$$MMH = \text{MoldeMH} - \text{MMolde} \quad \text{Ec. 10}$$

$$DHM = \left[\frac{\text{Mat. Húmido}}{VM} \right] * 1000 \quad \text{Ec. 11}$$

$$DSM = \left[\frac{DHM}{1 + HM} \right] * 100$$

Ec. 12

Donde:

MMH: Masa de Material Húmedo (g)

MoldeMH: Molde más Material Húmedo (g)

MMolde: Masa del Molde (g)

DHM: Densidad Húmeda del Material $\left[\frac{Kg}{m^3} \right]$

VM: Volumen del Molde

DSM: Densidad Seca del Material

HM: Humedad de la Muestra

3. Peso específico del agregado Grueso

$$\text{Peso específico de Bulk (Total)} = \frac{A}{B - C}$$

Ec. 13

$$\text{Peso específico de Bulk SSS} = \frac{B}{B - C}$$

Ec. 14

$$\text{Peso específico Aparente} = \frac{A}{A - C}$$

Ec. 15

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{B - A}{A} * 100$$

Ec. 16

A = Masa de la Muestra Seca

B = Masa de la Muestra Saturada con Superficie Seca

C = Masa de Muestra Sumergida a 23 °C

4. Peso específico del agregado Fino (AASHTO T-84)

$$\text{Peso específico de Bulk (Total)} = \frac{A}{V-W} \quad \text{Ec. 17}$$

$$\text{Peso específico de Bulk SSS} = \frac{500}{V-W} \quad \text{Ec. 18}$$

$$\text{Peso espec. Aparente} = \frac{A}{(V-W)-(500-A)} \quad \text{Ec. 19}$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{500-A}{A} * 100 \quad \text{Ec. 20}$$

A = Masa de Muestra Seca

V = Masa del picnometro + agua a 23 °C + B

W = Masa del Picnometro + Muestra + Agua

5. Superficie específica

$$Se = \frac{0.06}{\text{Peso específico del agregado}} * \sum \frac{Pi}{di} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

Pi : Porcentaje retenido por la malla del agregado.

di : Diámetro promedio de las mallas consecutivas.

$$di = \frac{d_1 + d_2}{2} * 0.1 \quad \text{Ec. 22}$$

6. Factor de superficie específica

$$FSE = \frac{2.5}{\sqrt{D \cdot d}} \quad \text{Ec. 23}$$

FSE : Factor de Superficie Específica

D : Diámetro del tamiz superior en mm.

d: Diámetro del tamiz inferior en mm.

$$SE = \sum \frac{FSE * \%Retenido}{100} \quad Ec. 24$$

SE: Superficie Especifica.

7. % Asfalto residual: Método Duriez

$$E_1 = \frac{[(K * (SE)^{0.2})]}{L} \quad Ec. 25$$

K: Factor de Riqueza (entre 3.0 a 3.5)

L= Concentración del ligante en la emulsión

8. % Asfalto residual: Método del instituto del asfalto

$$E_2 = \frac{(0.035 * A + 0.045 * B + k * C + F)}{0.60} \quad Ec. 26$$

Donde:

*E*₂= Porcentaje de emulsión.

A = Porcentaje de agregado retenido en el tamiz N°10

B = Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N°10 y se retiene en el tamiz N°200

C = Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N°200

k = Factor de riqueza, (varía entre 3.0 a 5.0)

9. Máxima densidad

$$\%PMD = \left(\frac{d}{D}\right)^{0.45} \quad (100) \quad Ec. 27$$

Donde:

$\%PMD$ = % de paso, graduación de densidad máxima.

d = Tamaño del tamiz en cuestión, mm.

D = Tamaño máximo de tamiz, mm.

10. Calculo de tensión diametral e inmersión

$$ITS = \frac{2000 * P}{\pi * h * d} \quad Ec. 28$$

Donde

ITS = Resistencia a la tensión indirecta, KPa

P = Carga máxima, N

h = Altura de espécimen, mm.

d = Diámetro del espécimen, mm.

11. Calculo de razón de resistencia retenida

$$TSR = \frac{ITS_{Saturado}}{ITS_{Seco}} * 100 \quad Ec. 29$$

12. Equivalente de arena

$$(\%Ea) = \frac{Lectura\ de\ Arena}{Lectura\ de\ Arcilla} * 100 \quad Ec. 30$$

$\%Ea$ = Porcentaje Equivalente de Arena.

13. Partículas planas y alargadas

$$\% = \frac{\text{Peso de caras largas y aplanadas}}{\text{peso total de la muestra}} * 100$$

Ec. 31

✓ Procedimiento para recolectar datos

El proceso de recolección de datos consistió en una serie de pasos o actividades que se desarrollaron en obra y laboratorio. A continuación, se enlista cada tarea en orden cronológico.

- ✓ Se realizó una visita a campo para recuperar muestras de RAP durante el proceso de reciclado de la carpeta de rodamiento y parte de la base del pavimento, posteriormente se trasladó el material al laboratorio.
- ✓ Se procedió con los ensayos para caracterizar el material muestreado (RAP).
- ✓ Se analizaron los resultados de las propiedades físicas del RAP.
- ✓ Se propuso la incorporación de materiales de ajuste para modificar la distribución de tamaños de partículas del RAP, y posteriormente se determinó las nuevas graduaciones y se compararon con la curva de máxima densidad de 25 mm. En total se obtuvieron tres graduaciones (fina, densa y gruesa).
- ✓ Se realizaron nuevamente los ensayos de caracterización física a la mezcla de RAP y material de aporte (todos los casos).
- ✓ Se propusieron tres contenidos de asfalto residual para el desarrollo de las mezclas de laboratorio.
- ✓ Se fabricó a escala de laboratorio una muestra de emulsión asfáltica del tipo CSS1, el proceso de fabricación incluyó la verificación de las propiedades de la muestra desarrollada a través de ensayos de control de calidad.

- ✓ Se dosificaron mezclas (Agregados minerales + emulsión asfáltica CSS1 + cemento Portland) con contenidos iguales de asfalto residual para cada graduación desarrollada, (Densa, Fina, Gruesa).
- ✓ Se utilizó cemento Portland (de uso general) como “Filler Activo”. La cantidad incorporada en las mezclas corresponde a la recomendada por el manual de reciclado en frío de Wirtgen, 2004.
- ✓ Finalmente, se determinó la resistencia a compresión simple no confinada y tensión indirecta para cada grupo de probetas dosificadas. Durante los ensayos se determinó la resistencia retenida para cada caso con el menor contenido de asfalto residual con el propósito de verificar la durabilidad de la mezcla

CAPITULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Curva de Máxima Densidad

Teniendo en cuenta que la graduación de los agregados es un factor importante que influye en las deformaciones permanentes de las mezclas asfálticas y capas de materiales pétreos (bases, subbases), se procede a calcular la curva de máxima densidad o la máxima de Fuller haciendo uso de la Ec. 27. de la sección 2.7 (Curva de Máxima Densidad) de este documento. (Ver Anexo 1)

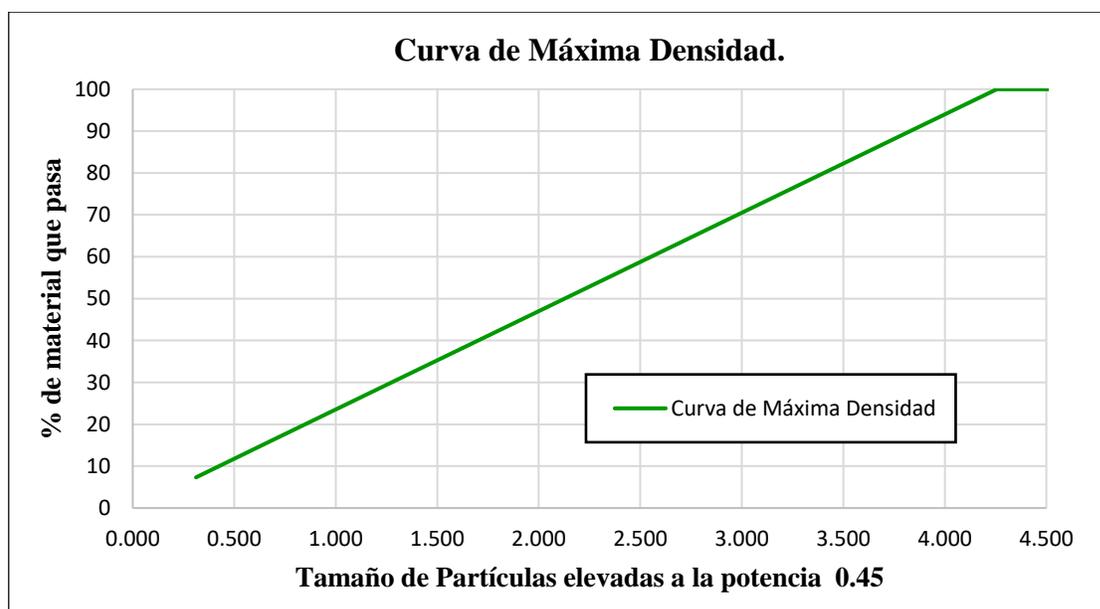


Gráfico 1. Curva de Máxima Densidad. Fuente; Propia.

El Gráfico 1 muestra la curva de máxima densidad de un agregado con “Tamaño Máximo (TM)” de 25 mm, la selección de este diámetro se fundamenta en que las bases de 25 mm son las más utilizadas en Nicaragua, esto se confirma en los documentos de licitación del FOMAV y en las especificaciones generales para la construcción de calles, caminos y puentes (NIC 2000).

4.2 RAP

El Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) utilizado en esta investigación es procedente del tramo: Empalme El Guanacaste – El Grajinan (NIC-4 Carretera Sur) segmento: 64+494.29 al km 65+228.82.

El proceso de obtención del RAP se llevó a cabo mediante una recuperadora de pavimento RM 500 de Caterpillar.

El proceso de recuperación del RAP fue ejecutado por la empresa Soluciones Viales S.A. el lunes 03 de junio del 2019. En la Tabla 7 se presenta un resumen de las propiedades físicas más importante de este material, las memorias de cálculos se detallan en el Anexo 2.



Figura 18. Recuperadora de pavimento. Fuente; Propia.

Tabla 7. Resumen de Propiedades Físicas del RAP. Fuente: Propia.

Humedad Natural (%)	1.7
Límite Plástico (%)	NP
Límite Líquido	NP
Índice de Plasticidad	NP
Clasificación AASHTO M 145	
A-1-a	

El gráfico 2 muestra la distribución granulométrica del RAP, la línea segmentada de color azul representa la granulometría del material, las líneas solidas de color rojo representan las especificaciones brindadas por el FOMAV como referencia para

esta investigación. Debido a que el RAP está constituido por una amplia variedad de tamaños de partículas, este se clasifica como un material “No uniforme y bien graduado”.

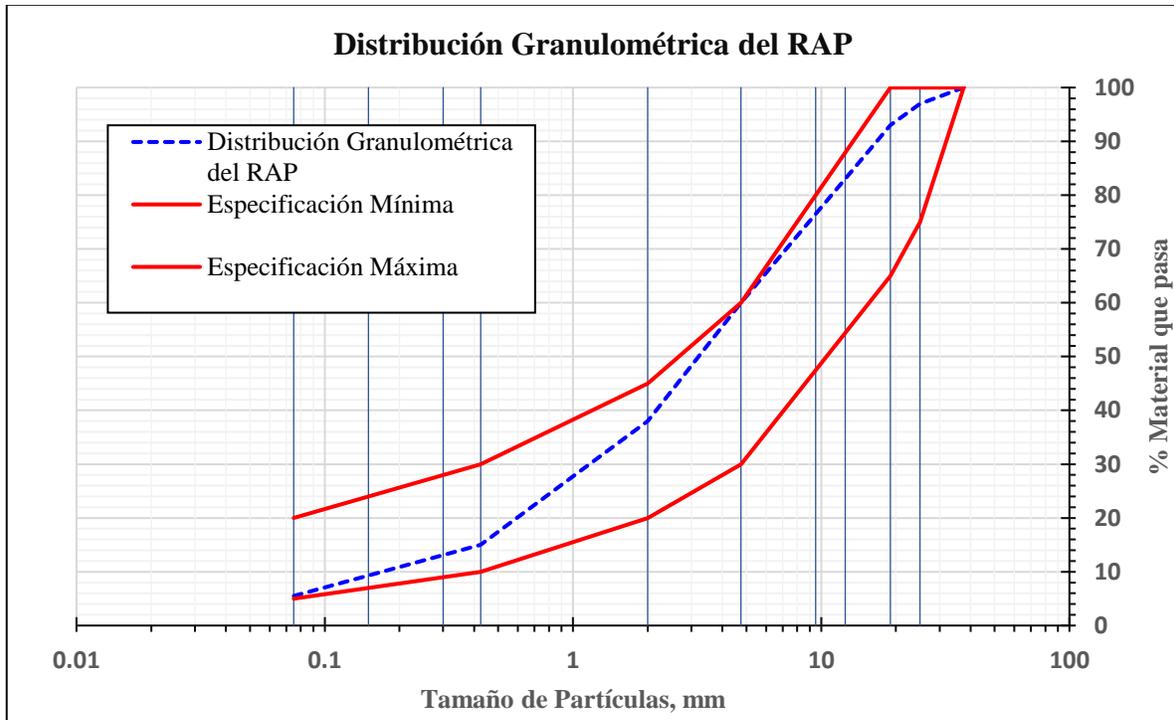


Gráfico 2. Distribución Granulométrica del RAP. Fuente; Propia.

4.3 Origen de los Agregados de Ajuste o Aporte

Los agregados propuestos como aportes son procedentes de trituración industrial de una de las fuentes de materiales basálticos más importante del país que se localiza en el sector de Veracruz (Managua, Nicaragua) y que son explotados por las empresas PROINCO, HOLCIM y AGRENIC, estas instituciones proporcionaron muestras del agregado (25.00 mm Monogranular, 25.00 mm Integral, 37.50 mm Base D), agregado (9.50 mm Fino Triturado) y agregado (37.5 mm (1 ½”)), respectivamente.

Debido a su origen geológico estos materiales poseen minerales de alta dureza y son resistentes al intemperismo. También se tiene registro que estos bancos han

sido explotados para la producción de materiales para diferentes capas (incluyendo mezclas asfálticas) en proyectos importantes de la zona y han tenido muy buen desempeño.

En el laboratorio se verificó la calidad de los agregados minerales mediante la ejecución de los diferentes ensayos recomendados por las diferentes metodologías para estabilización de materiales con emulsión asfáltica y las recomendaciones técnicas que solicita el Fondo de Mantenimiento Vial de Nicaragua.

A cada material propuesto como ajuste se le efectuó dos análisis granulométricos con el objetivo de cuantificar la variación debido al procedimiento de muestreo. Estos agregados no tienen especificación técnica que cumplir debido a que su función es modificar la graduación del material base (RAP).

El muestreo de los agregados se realizó el jueves 24 de octubre del 2019 en las instalaciones de las empresas citadas anteriormente. Los resúmenes de los resultados de ensayos de caracterización de los agregados utilizados en esta investigación se encuentran en la Tabla. 8-15

4.3.1 Material $\frac{3}{4}$ Monogranular (procedente de PROINCO)

El material 25.00 mm (monogranular) es un agregado triturado, explotado en la planta de trituración PROINCO. El tamaño máximo es de 25 mm y el tamaño máximo nominal es 19 mm, de su distribución granulométrica se concluye que es un material uniforme y mal graduado.

Tabla 8. Distribución Granulométrica del agregado monogranular. Fuente: Propia.

Tamices		Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Pulgadas	mm	%Pasa	%Pasa	%Pasa
1 ½	37.500	100	100	100
1	25.000	100	100	100
¾	19.000	93	93	93
½	12.500	17	10	14
3/8	9.500	5	2	3
No.4	4.750	2	2	2
No.10	2.000	2	2	2
No.40	0.425	2	2	2
No.200	0.075	1	1	1

En la tabla 9 se muestra las propiedades físicas individuales del agregado 25.0 mm (Monogranular).

Tabla 9. Propiedades Físicas individuales. Fuente: Propia.

Propiedad	Fracción Ensayada	Estándar	Unidad	Resultado
Partículas Planas	12.5 mm a 4.75 mm	ASTM D 4791	%	7
Partículas Alargadas	12.5 mm a 4.75 mm	ASTM D 4791	%	0
Resistencia al desgaste y abrasión	9.5 mm a 4.75 mm	AASHTO T 96	%	31.3

4.3.2 Material 19.0 mm Integral (procedente de PROINCO)

El material 25.00 mm (integral) es un agregado triturado, explotado en la planta de trituración PROINCO. El TM es de 25 mm y el TMN es de 19 mm, debido a que las partículas que lo constituyen se agrupan entre las mallas de 19 mm y 4.75 mm este material se considera uniforme y bien graduado. En la tabla 10 se muestra la graduación de este material.

Tabla 10. Distribución Granulométrica del agregado Integral de 25.00 mm. Fuente: Propia.

Tamices		Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Pulgadas	mm	%Pasa	%Pasa	%Pasa
1 ½	37.500	100	100	100
1	25.000	100	100	100
¾	19.000	95	98	97
½	12.500	71	82	77
3/8	9.500	55	67	61
No.4	4.750	11	15	13
No.10	2.000	3	3	3
No.40	0.425	2	3	3
No.200	0.075	2	2	2

4.3.3 Material Base Granular D (procedente de PROINCO)

La Base tipo D corresponde a un agregado triturado con TM igual a 37.50 mm y TMN de 25.00 mm, presenta una amplia variedad de tamaños de partículas y por tanto es un material no uniforme y bien graduado, además es no plástico y es una de las bases más utilizadas en el país. En la Tabla 11 se presenta el resultado de la distribución granulométrica.

Tabla 11. Distribución Granulométrica del material Base granular D. Fuente: Propia.

Tamices		Muestra 1	Muestra 2	Promedio	Especificaciones Técnicas (NIC-2000 Cuadro 1003-3)	
Pulgadas	mm	%Pasa	%Pasa	%Pasa	Mínima	Máxima
1 ½	37.500	100	100	100	100	-
1	25.000	96	97	97	97	100
¾	19.000	85	85	85	-	-
½	12.500	68	69	69	-	-
3/8	9.500	59	59	59	56	70
No.4	4.750	38	40	39	39	53
No.10	2.00	24	26	25	-	-
No.40	0.425	11	13	12	12	21
No.200	0.075	5	7	6	4	8

En la tabla 12 se muestra las propiedades físicas individuales del agregado 37.5 mm (Base D).

Tabla 12. Propiedades físicas individuales. Fuente: Propia.

Propiedad	Fracción Ensayada	Estándar	Unidad	Resultado
Partículas Planas	12.5 mm a 4.75 mm	ASTM D 4791	%	6.9
Partículas Alargadas	12.5 mm a 4.75 mm	ASTM D 4791	%	0
Resistencia al desgaste y abrasión	9.5 mm a 4.75 mm	AASHTO T 96	%	30

4.3.4 Material Fino Triturado (procedente de HOLCIM)

El material 9.50 mm es un agregado triturado, explotado en la planta de trituración HOLCIM. El TM es 9.5 mm y el TMN es 4.75 mm, este material se caracteriza por ser no uniforme y mal graduado debido a la amplia variedad de tamaños de partículas que lo constituyen. En la tabla 13 y en el anexo 3 se presenta la graduación del material.

Tabla 13. Distribución Granulométrica del Material Fino Triturado. Fuente: Propia.

Tamices		Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Pulgadas	Mm	% que pasa	% que pasa	% que pasa
1 1/2"	37.5	100	100	100
1"	25.000	100	100	100
3/4"	19.000	100	100	100
1/2"	12.500	100	100	100
3/8"	9.500	100	100	100
No. 4	4.750	99	99	99
No. 10	2.000	73	72	73
No. 40	0.425	36	36	36
No. 200	0.075	15	15	15

Se realizó el ensayo “Equivalente de Arena”, se tomó las lecturas de arcilla y arena en cada muestra, obteniendo un resultado promedio de 77% de arena, Por lo tanto el agregado es apto para la estabilización de la base con emulsión ya que la especificación del instituto del asfalto sugiere un mínimo es de 35%.

4.3.5 Material 37.5 mm (1 ½") (procedente de AGRENIC)

El material 37.50 mm (1 ½") es un agregado triturado, explotado en la planta de trituración AGRENIC. El TM es 37.5 mm y el TMN 25.0 mm, este material es uniforme y bien graduado debido a que la mayoría de sus partículas se agrupan entre las mallas de 25.0 mm y 9.50 mm. En la tabla 14 y en el anexo 3 se muestra la graduación del material.

Tabla 14. Granulometría del Material de 37.5 mm (1 ½"). Fuente: Propia.

Tamices		Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Pulgadas	mm	% que pasa	% que pasa	% que pasa
1 1/2"	37.5	100	100	100
1"	25.000	78	77	78
3/4"	19.000	48	47	48
1/2"	12.500	21	21	21
3/8"	9.500	12	12	12
No. 4	4.750	5	6	5
No. 10	2.000	2	3	3
No. 40	0.425	1	2	2
No. 200	0.075	1.0	1	1

En la tabla 15 se muestra las propiedades físicas individuales del agregado 37.5 mm (1 ½").

Tabla 15. Propiedades físicas individuales. Fuente: Propia.

Propiedad	Fracción Ensayada	Estándar	Unidad	Resultado
Partículas Planas	12.5 mm a 4.75 mm	ASTM D 4791	%	6.9
Partículas Alargadas	12.5 mm a 4.75 mm	ASTM D 4791	%	0
Resistencia al desgaste y abrasión	9.5 mm a 4.75 mm	AASHTO T 96	%	27

4.4 Graduaciones Propuestas

Para determinar la influencia que tiene la graduación del agregado mineral en la resistencia a compresión simple no confinada y tensión indirecta, en una mezcla de agregados + emulsión asfáltica + cemento (para la construcción de bases estabilizadas de pavimento), es necesario modificar la granulometría del material de referencia o principal, RAP en este caso, adicionando un aporte, de forma que se logren mezclas de agregados cuyas curvas de graduación estén por debajo (gruesa), sobre (densa) y por encima (fina) de la curva de máxima densidad.

A continuación, se presentan las combinaciones que se efectuaron en el laboratorio para alcanzar las graduaciones indicadas. Este procedimiento incluyó múltiples dosificaciones del RAP con los diferentes agregados de aporte, la selección de las proporciones adecuadas para cada caso se efectuó a través de análisis gráfico de las posiciones de las curvas granulométricas obtenidas respecto a la curva de máxima densidad.

4.4.1 Graduación Fina

La graduación “fina” se alcanzó a través de la incorporación de agregado fino triturado al RAP. Se efectuaron dos potenciales combinaciones y se seleccionó la mezcla 70% RAP y 30% Fino triturado. En la Tabla 16 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 16. Combinación RAP + Fino Triturado. Fuente: Propia.

Tamices		RAP	Fino Triturado	80% RAP - 20% Triturado	70% RAP- 30% Triturado
Pulgadas	mm	% que pasa	% que pasa	% que pasa	% que pasa
1 1/2"	37.5	100	100	100	100
1"	25.000	97	100	98	98
3/4"	19.000	93	100	94	95
1/2"	12.500	85	100	88	90
3/8"	9.500	79	100	83	85
No. 4	4.750	60	99	68	72
No. 10	2.000	38	73	45	49
No. 40	0.425	15	36	19	21
No. 200	0.075	6	15	7	8

En el Gráfico 3 se presenta la curva granulométrica de la mezcla fina seleccionada, la combinación propuesta corresponde a 70% RAP y 30% Agregado Fino Triturado, se eligió esta mezcla debido a que genera la curva más alejada hacia el sector de los finos (entre las opciones evaluadas). Del análisis al gráfico 3 se observa que la graduación propuesta no cumple con las especificaciones recomendadas por el FOMAV, esto se debe a que esta investigación no se restringe a estas especificaciones (solo son de referencias), por el contrario, se pretende mejorar los límites de especificaciones en base a los resultados de resistencias.

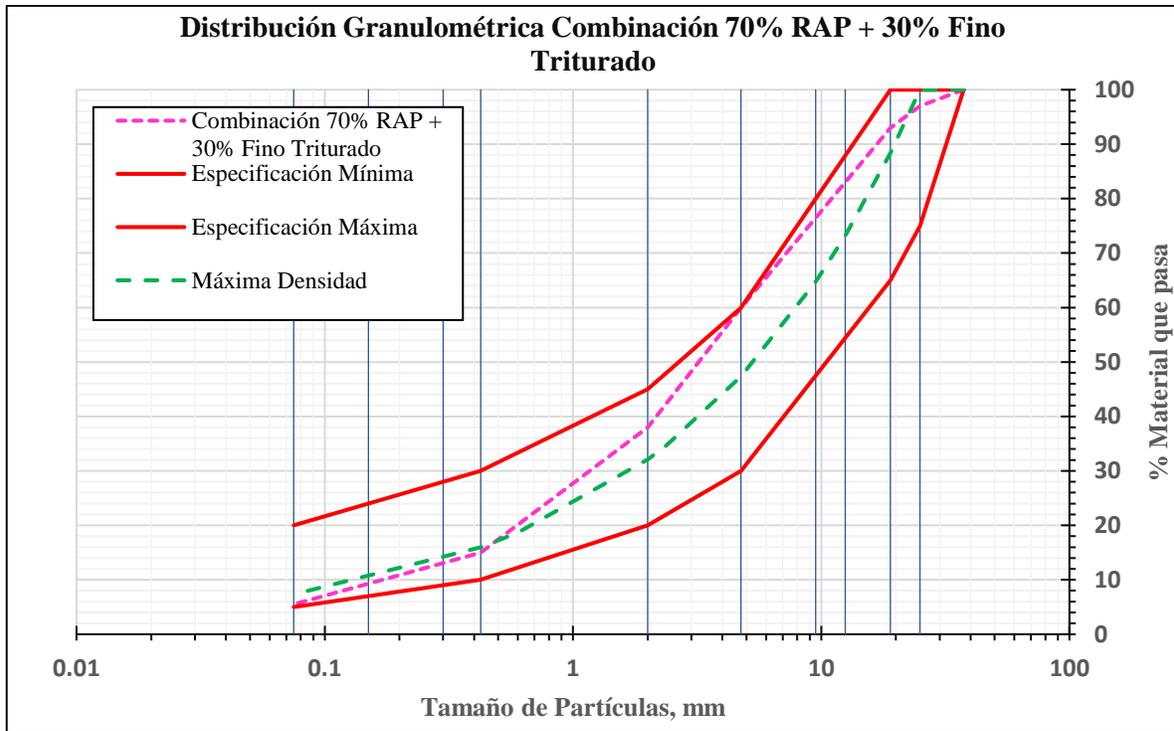


Gráfico 3. Distribución Granulométrica RAP + Fino Triturado. Fuente; Propia.

Es importante señalar que el RAP, utilizado en esta investigación, tiene una distribución granulométrica que cumple con las especificaciones que recomienda el Fomav. Sin embargo, con el objetivo de incrementar el contenido de polvo de rocas (material menor a 0.075 mm) se incorporó el material fino de aporte. El propósito principal de evaluar una graduación más fina, se basa en el hecho de que constructivamente el RAP puede resultar con muchos contenidos de finos cuando el pavimento que se está recuperando ha sido sujeto a tratamientos superficiales (tratamientos simples, micro-pavimentos, por ejemplo), esto ocurre debido a que estas intervenciones se efectúan con agregados con tamaños máximos por debajo de 9.50 o 4.75 mm. A medida que el material se vuelve más fino, la superficie específica aumenta.

4.4.2 Graduación Densa

La graduación “densa” se alcanzó a través de la incorporación al RAP de agregado de 37.5 mm (Base D). De las alternativas propuestas se escogió: 50% RAP + 50% Base D. En la Tabla 17 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 17. Combinaciones RAP + Base D. Fuente: Propia.

Tamices		RAP	Base D	50% RAP - 50% Base D	60% RAP - 40% Base D	65% RAP - 35% Base D
Pulgadas	mm	% que pasa	% que pasa	% que pasa	% que pasa	% que pasa
1 1/2"	37.500	100	100	100	100	100
1"	25.000	97	97	97	97	97
3/4"	19.000	93	85	89	90	90
1/2"	12.500	85	69	77	79	79
3/8"	9.500	79	59	69	71	72
No. 4	4.750	60	39	50	52	53
No. 10	2.000	38	25	32	33	34
No. 40	0.425	15	12	14	14	14
No. 200	0.075	6	6.0	6	6	6

La combinación 50% Rap - 50% Base D es la que mejores propiedades aporta para obtener una “Granulometría Densa”. En la actualidad existe evidencia que mezclas con graduaciones densas son deseables para disminuir los efectos de la deformación permanente. Cuando estas mezclas son compactadas adecuadamente, resultan con menos vacíos de aire y mayor contacto entre partículas lo que proporciona materiales más resistentes a las deformaciones permanentes.

En el Gráfico 4 se presenta la curva granulométrica de la mezcla densa seleccionada, la combinación propuesta se eligió debido a que genera la curva que mejor se ajusta sobre la curva de máxima densidad (entre las opciones evaluadas).

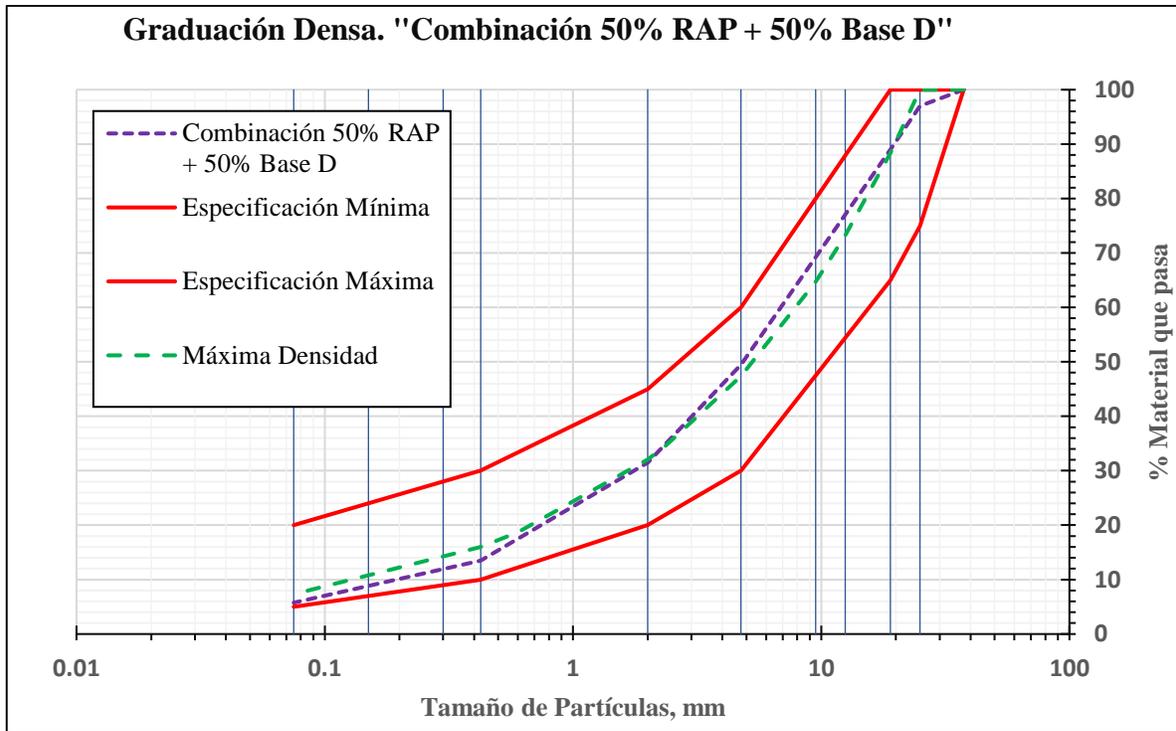


Gráfico 4. Distribución Granulométrica RAP + Base D. Fuente: Propia.

4.4.3 Granulometría Gruesa

Para alcanzar una graduación gruesa adecuada se requirió de la incorporación de dos tipos de materiales de ajuste, debido a que no solo fue necesario estar por debajo de la curva de máxima densidad, sino que además se consideró una mezcla de agregados con una alta variedad de tamaños de partículas (granulometría bien graduada y no uniforme). En la tabla 18 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 18. Combinaciones RAP + Monogranular + 1 1/2". Fuente: Propia.

Tamices		RAP	Monogranular	1 1/2"	40RAP%-30% Monogranular- 30% (37.5mm)	50%RAP-20% Monogranular- 30% (37.5mm)
Pulgadas	mm	% que pasa	% que pasa	% que pasa	% que pasa	% que pasa
1 1/2"	37.5	100	100	100	100	100
1"	25.000	97	100	78	92	92
3/4"	19.000	93	93	48	80	80
1/2"	12.500	85	14	21	45	52
3/8"	9.500	79	3	12	36	44
No. 4	4.750	60	2	5	26	32
No. 10	2.000	38	2	2	16	20
No. 40	0.425	15	2	1	7	8
No. 200	0.075	6	1	1.0	2.8	3.3

La combinación con la que se logró el objetivo en la graduación fue; 50% (RAP) + 20% (19.0 mm Monogranular) + 30% (37.5 mm).

En el Gráfico 5 se presenta la curva granulométrica de la mezcla gruesa seleccionada, la combinación propuesta corresponde a 50% RAP, 20% Agregado de 25.00 mm Monogranular y 30% Agregado de 37.5 mm, se eligió esta mezcla debido a que genera la curva más alejada hacia el sector de los gruesos (entre las opciones evaluadas).

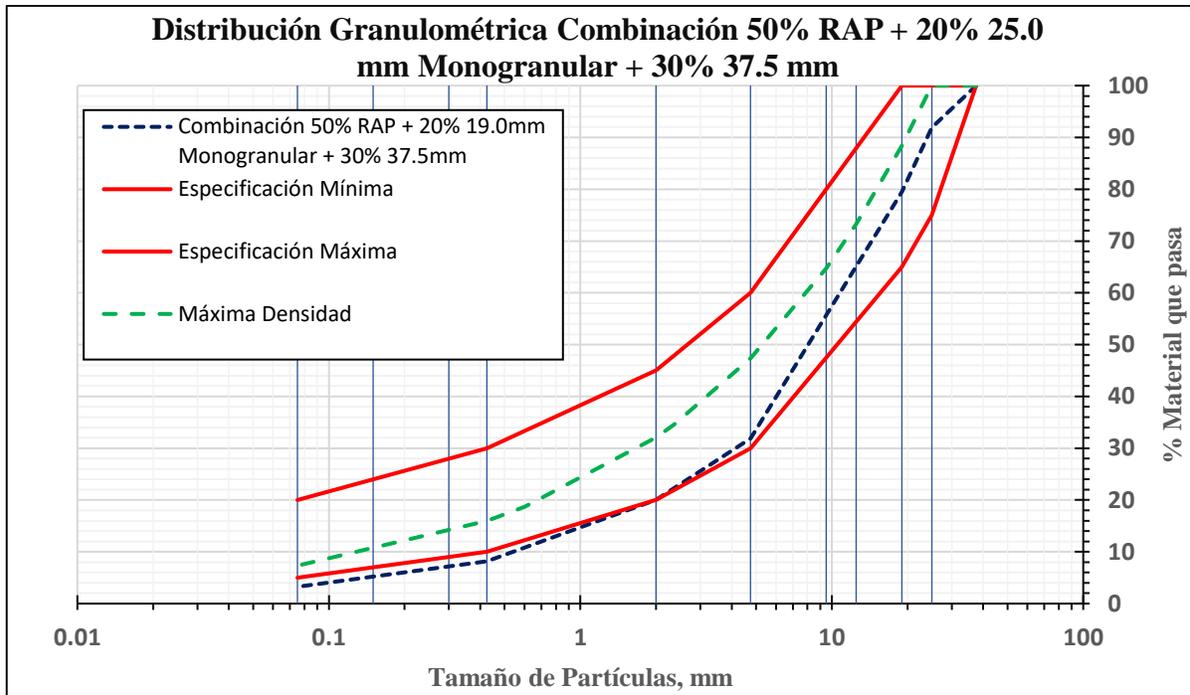


Gráfico 5. Distribución Granulométrica RAP + 25.00 mm Monogranular + Mat 37.5 mm. Fuente: Propia.

También se observa que la granulometría de la nueva combinación está fuera del límite de la especificación mínima, pero esto no representa un problema como tal, debido a que en esta investigación no se considera necesario cumplir con las especificaciones de referencias, por el contrario, el objetivo es mejorar estos rangos porque las especificaciones son demasiado amplias, se puede tener un material bien fino o una graduación bastante gruesa y se cumple también. Por tal razón se recomienda comparar las graduaciones con la curva de máxima densidad.

4.5 Origen de la Emulsión Asfáltica Tipo CSS-1.

La emulsión asfáltica catiónica de rompimiento lento utilizada para la estabilización de la base, fue creada en el laboratorio de emulsiones asfálticas de la empresa Asfaltos Industriales S.A “ASFISA”, ubicado en Sabana Grande, Managua – Nicaragua.

El procedimiento de creación de la emulsión asfáltica consiste en alimentar el molino coloidal con asfalto caliente (AC30), el cual es dividido en pequeñas gotitas. Al

mismo tiempo, se ingresa en el equipo dispersante el agua conteniendo el agente emulsivo.

En la figura 19 se observa la incorporación del agua y de la solución jabonosa al molino coloidal. Estas son dos actividades esenciales para producir la emulsión que luego se utiliza para la estabilización de bases u otras actividades.



Figura 19. Incorporación de Solución Jabonosa y Agua. Fuente: Propia.

Después de la producción de la emulsión asfáltica se realizó una serie de ensayos de laboratorio regidos por Normas Internacionales (AASHTO y ASTM) con el propósito de garantizar la calidad del material, durante este proceso de control se decide la aceptación o rechazo del asfalto emulsificado.

En la tabla 19 se presentan los ensayos realizados a la emulsión catiónica de rompimiento lento “CSS-1” utilizada en esta investigación. También se mencionan los métodos utilizados para cada ensayo.

Los resultados obtenidos de cada ensayo cumplen con las especificaciones técnicas requeridas según la Norma Internacional (**ASTM D 2397- 05**) y (**ASTM D - 244**).

Tabla 19. Ensayos realizados a la emulsión CSS-1. Fuente: Propia

Descripción de los ensayos	Método de Ensayo		Resultado	Especificaciones	
				Mínimo	Máximo
Composición de la Emulsión					
Contenido Asfáltico, (%)	ASTM D95	AASHTO T55	60	57	-
Carga de las Partículas	ASTM D244	AASHTO T59	Positivo	Positivo	Positivo
Ensayos de Consistencia					
Viscosidad, Saybolt Furol a 50 °C; seg	ASTM D244	AASHTO T59	80	20	100
Ensayos de Estabilidad					
Demulsibilidad, 35 ml de 0.8 (%)	ASTM D244	AASHTO T59	-	-	-
Mezcla con Cemento, (%)	ASTM D244	AASHTO T59	Bueno	-	-
Ensayo de Tamizado (%)	ASTM D244	AASHTO T59	0.05	-	0.1
Estabilidad de almacenamiento, 24 hrs (%)	ASTM D244	AASHTO T59	0.4	-	1
Ensayos al residuo de destilación					
Penetración a 25 °C, 100 g; 5 seg, (0,1 mm)	ASTM D5	AASHTO T49	110	100	250
Solubilidad en tricloetileno, (%)	ASTM D2042	AASHTO T44	99	97.5	-

4.5.1 Contenido Óptimo Teórico de Emulsión

La aproximación del contenido óptimo (teórico) de emulsión se determinó mediante tres métodos (Duriez, Instituto del Asfalto y Wirtgen). Es importante señalar que los cálculos efectuados son únicamente de referencia, no es una estimación precisa debido a que las ecuaciones utilizadas fueron desarrolladas para materiales con propiedades diferentes a las de Nicaragua. Para obtener resultados cercanos a la realidad nacional estos modelos se deberán calibrar en base a resultados de laboratorio.

En la tabla 20 se presenta la aproximación del contenido óptimo teórico de emulsión a través de los tres métodos mencionados.

Tabla 20. Aproximación del Contenido Óptimo de Emulsión. Fuente: Propia.

Aproximación del Contenido Óptimo Teórico de Emulsión		
Método	Ecuación	Resultado
Duriez	$E_1 = \frac{[(K * (SE)^{0.2}]}{L}$	8.10
Instituto del Asfalto	$E_2 = \frac{(0.035 * A + 0.045 * B + k * C + F)}{0.60}$	6.6
Wirtgen	Ver Tabla 1	3.7 - 6.2

Debido a que en el país no se cuenta con una guía de diseño o un modelo para realizar este tipo de trabajo, los diseñadores se ven obligados a hacer uso de su experiencia en el campo laboral para estimar el contenido óptimo de emulsión, aunque esta opción es válida, no es del todo la mejor, debido a que esta se vuelve una actividad empírica que no cuantifica las propiedades volumétricas de las mezclas ni las características físicas de los agregados.

En base a las recomendaciones del Manual de Reciclado en Frío de Wirtgen y a experiencias de proyectos desarrollados en Nicaragua en el año 2019, se propone la utilización de 2.0%, 2.5% y 3.0% de asfalto residual (% en masa de la mezcla) para la fabricación de las probetas para ensayos de resistencias.

4.6 Filler

En este trabajo se usó cemento Portland (Canal) de uso general como fillers activo en la mezcla.

Investigaciones han demostrado que añadir más de 2% en masa de cemento afecta negativamente las propiedades de fatiga de la capa estabilizada (Wirtgen 2004). Por tal razón es que la tasa de aplicación de cemento en este estudio está usualmente limitada a un máximo recomendado de 1.5% porque este porcentaje puede ser añadido sin aumentar significativamente la rigidez de la capa estabilizada, además el material estabilizado no sufre del fenómeno de agrietamiento por retracción y puede ser abierto al tránsito inmediatamente debido a su resistencia inicial.

El filler activo actúa con el asfalto como un catalizador de la dispersión y ayuda al quiebre cuando se utiliza una emulsión asfáltica. Es por ello por lo que es una práctica común utilizar cemento en conjunto con agentes estabilizadores asfálticos.

4.7 Recubrimiento y Adherencia de los Agregados

En la tabla 21 se presentan los resultados del ensayo de “Recubrimiento” realizado al RAP y a los agregados minerales.

Tabla 21. Ensayo de Recubrimiento. Fuente: Propia.

Ensayo	Asfalto Residual (%)	Agua (%)	Agregados			
			RAP	Monogranular	37.5mm	Base D
Recubrimiento	2.4	0	80	97	96	95
	2.4	1	90	98	98	96
	2.4	2	92	96	97	98
	2.4	3	90	95	95	94
	2.4	4	85	90	93	90
Promedio			87.4	95.2	95.8	94.6

Los resultados del ensayo de “Adherencia” se presentan en la tabla 22.

Tabla 22. Ensayo de Adherencia. Fuente: Propia.

Ensayo	Asfalto Residual (%)	Agua (%)	Agregados			
			RAP	Monogranular	37.5mm	Base D
Adherencia	2.4	0	75	95	94	93
	2.4	1	85	95	95	92
	2.4	2	85	90	93	94
	2.4	3	85	90	90	90
	2.4	4	80	85	85	85
Promedio			82	91	91.4	90.8

El objetivo del ensayo de recubrimiento es determinar el contenido de humedad a través del cual se logra la mejor dispersión de la emulsión asfáltica en el material pétreo. Tanto para el ensayo inicial de recubrimiento como para el de adherencia se espera un porcentaje mínimo de recubrimiento de 60% (Asphalt Institute, 1998). En estos dos ensayos se obtienen porcentajes de recubrimiento mayores al 60%, por lo tanto, se concluye que la emulsión tiene compatibilidad química con el agregado.

4.8 Preparación de los agregados para fabricar especímenes de Ensayo

La preparación de los agregados consistió en la separación de estos por diferentes tamices con el objetivo garantizar el cumplimiento de las graduaciones propuestas. En la Tabla 23 se presentan las mallas recomendadas en el manual de Wirtgen para esta etapa. Sin embargo, debido a que el objetivo de la investigación es identificar los cambios en resistencias debido a la graduación no se eliminó el material con diámetros mayores a 19 mm en ninguno de los casos. En el caso de la graduación fina, el porcentaje de material retenido en la malla de 19 mm es de 5%, para la graduación densa se retuvo 11% y en la graduación gruesa fue 20%. Es importante aclarar que el fundamento principal de la condición de utilizar todo el material se basa en que en obra los materiales no pasan por un proceso de separación, excepto para el caso de partículas de 50 mm (2”).

Tabla 23. Tamices para preparación de especímenes. Fuente: Propia.

Pasa (%)		Retiene (%)	
Tamices		Tamices	
Mm	Plg	mm	plg
---	---	19	3/4
19	3/4	12.5	1/2
12.5	1/2	4.75	4
4.75	4	---	---

4.9 Contenido de Fluidos en la mezcla

Cuando se trabaja con emulsiones asfálticas, el “Contenido Total de Fluidos” es utilizado en lugar del Contenido de Humedad al momento de definir la relación densidad - humedad. La densidad máxima se alcanza con el Contenido Óptimo de Fluido Total (COFT), y es la combinación del agua de compactación y emulsión asfáltica en la mezcla. Antes del rompimiento, la emulsión asfáltica es un fluido con viscosidad ligeramente mayor a la del agua. El agua y el asfalto en la emulsión actúan como un lubricante que favorece la compactación, por lo que ambos deben

ser considerados como un solo fluido (Wirtgen GmbH, 2004). En la Figura 20 se presenta el concepto de COFT.

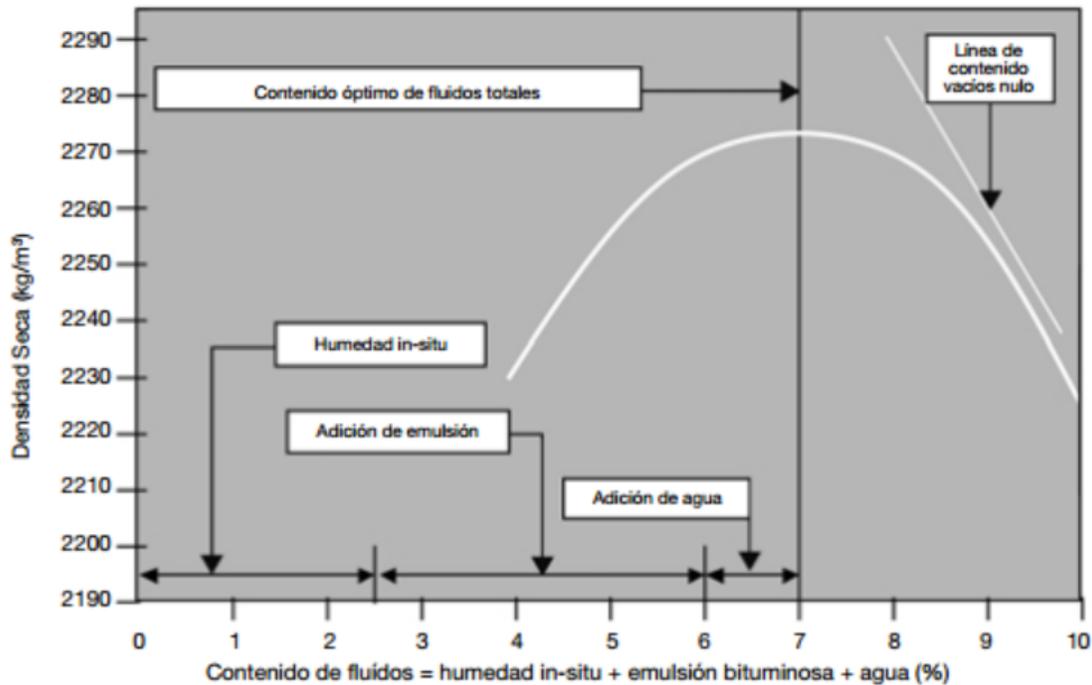


Figura 20. COFT, (Fuente: Wirtgen Group 2004).

El contenido óptimo de fluidos totales se determina adicionando un porcentaje constante de emulsión asfáltica mientras varía la cantidad de agua y se realiza el ensayo de relación densidad-humedad (Próctor modificado, Método de ensayo AASHTO T 180). En esta investigación, para determinar el contenido óptimo de fluidos totales se partió de un contenido de humedad igual a cero (materiales totalmente secos), luego se procedió a agregar el agua de premezclado (4.5%) y 4.7% de emulsión asfáltica para todos los casos (contenido de emulsión constante), durante el proceso de compactación se efectuaron incrementos de agua entre 0.5% y 1.0% hasta alcanzar la máxima densidad seca de acuerdo con el método estándar AASHTO T 180. En los apartados 4.9.1., 4.9.2 y 4.9.3 se presentan los resultados obtenidos.

4.9.1 Contenido de Fluidos para Granulometría Fina

Tabla 24. COFT. Granulometría Fina. Fuente: Propia.

Densidad Seca Máxima, kg/m ³	1,996
Contenido Óptimo de Fluidos, %	9.8
Humedad Óptima, %	9.5

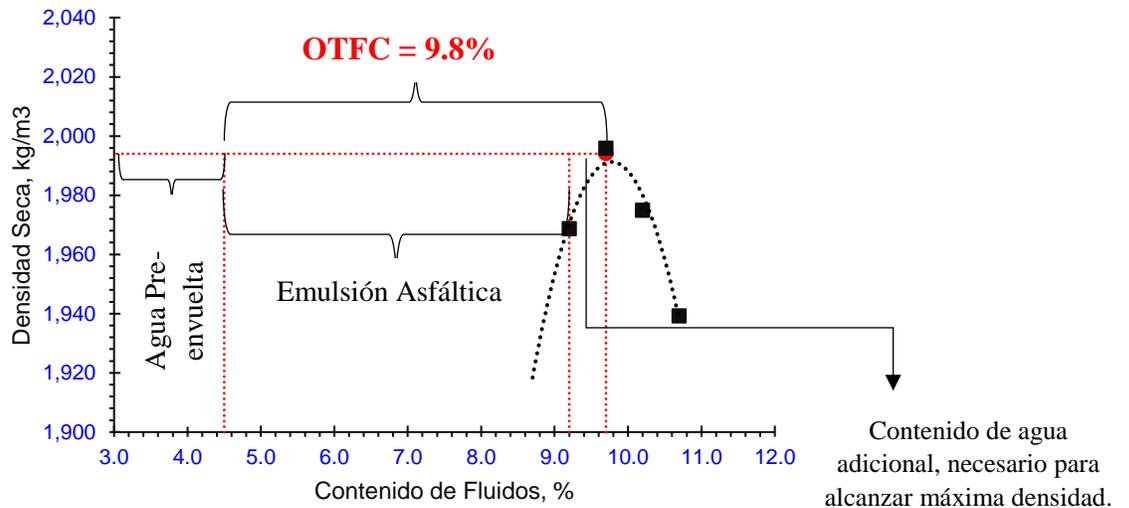


Gráfico 6. Contenido de Fluidos, Granulometría Fina. Fuente: Propia

4.9.2 Contenido de Fluidos para Granulometría Densa

Tabla 25. COFT, Granulometría Densa. Fuente: Propia.

Densidad Seca Máxima, kg/m ³	2,085
Contenido Óptimo de Fluidos, %	9.7
Humedad Óptima, %	9.8

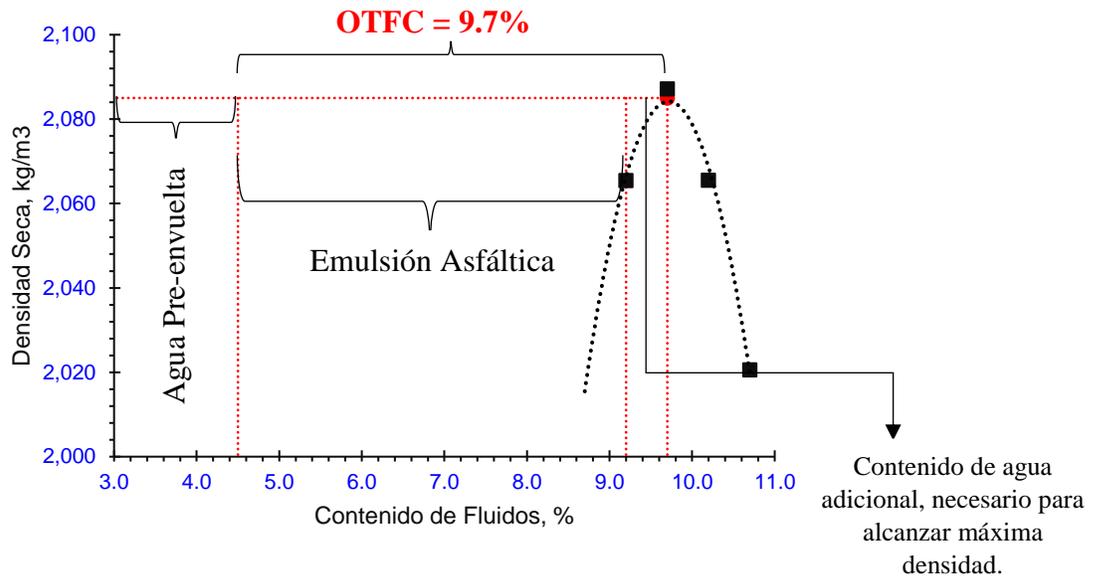


Gráfico 7. Contenido de Fluidos, Granulometría Densa. Fuente: Propia.

4.9.3 Contenido de Fluidos para “Granulometría Gruesa”

Tabla 26. COFT, Granulometría Gruesa. Fuente: Propia.

Densidad Seca Máxima, kg/m ³	2,067
Contenido Óptimo de Fluidos, %	9.7
Humedad Óptima, %	9.4

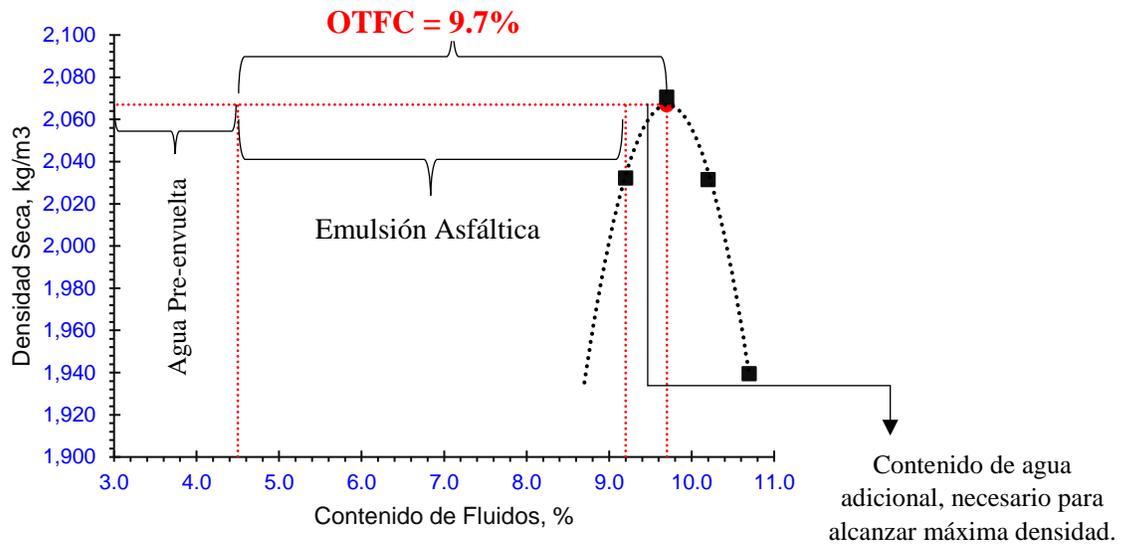


Gráfico 8. Contenido de Fluidos, Granulometría Gruesa. Fuente: Propia.

4.10 Mezclado y Compactación de Especímenes de Ensayo

Se prepararon 54 especímenes para ensayo a compresión simple no confinada y 54 especímenes para ensayo a tensión indirecta. El procedimiento de mezclado fue similar para estos dos grupos, en términos generales se calcularon las masas requeridas de cada material (agregados, emulsión asfáltica), como primer paso se mezclaron los agregados y el cemento Portland, posteriormente se humedecieron los materiales con el porcentaje de agua de premezclado, seguido se adicionó la cantidad de emulsión asfáltica y finalmente el agua adicional necesaria para alcanzar el COFT.

La compactación de las probetas para ensayo compresión simple no confinada se efectuó de forma similar a la forma en que se fabrican las probetas para ensayo de suelo cemento "método ASTM D 1632", los especímenes consisten en cilindros de 101 mm (4") de diámetro y 118 mm de altura aproximadamente. Las probetas de ensayo a tensión indirecta se fabricaron de acuerdo con el método de compactación Marshall (AASHTO T 245), Los especímenes consisten en cilindros de 101 mm (4") de diámetro y 63 mm de espesor.

En la Tabla 27 se presenta un detalle de la cantidad de especímenes preparado para cada contenido de emulsión asfáltica y por cada tipo de granulometría.

Tabla 27. Detalle de la cantidad de especímenes realizados. Fuente: Propia.

Graduación	Asfalto Residual (%)	Cantidad de Especímenes (Compresión Simple)	Cantidad de Especímenes (Tensión Indirecta)
Fina	2.0	6	6
	2.5	6	6
	3.0	6	6
Sub Total		18	18
Densa	2.0	6	6
	2.5	6	6
	3.0	6	6
Sub Total		18	18
Gruesa	2.0	6	6
	2.5	6	6
	3.0	6	6
Sub Total		18	18
Total		54	54

4.11 Resistencia a Compresión Simple no Confinada

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos de los ensayos a compresión simple no confinada para cada grupo de probetas. En las tablas 31, 32 y 33 se muestran los parámetros de estadística descriptiva más importante para los datos de las graduaciones Fina, Densa y Gruesa respectivamente. Los parámetros calculados indican que la dispersión de los datos de las graduaciones finas y densas son pequeños (Coeficiente de Variación menor a 10%), en el caso de la graduación gruesa la dispersión se incrementó hasta un valor promedio de 15%, esto se explica por el hecho al existir mayor contenido de partículas gruesas, la fabricación de probetas tiene a ser ligeramente más cambiante. En el gráfico 9 se

presentan los resultados obtenidos en el laboratorio de resistencias a compresión simple no confinada para las tres graduaciones:

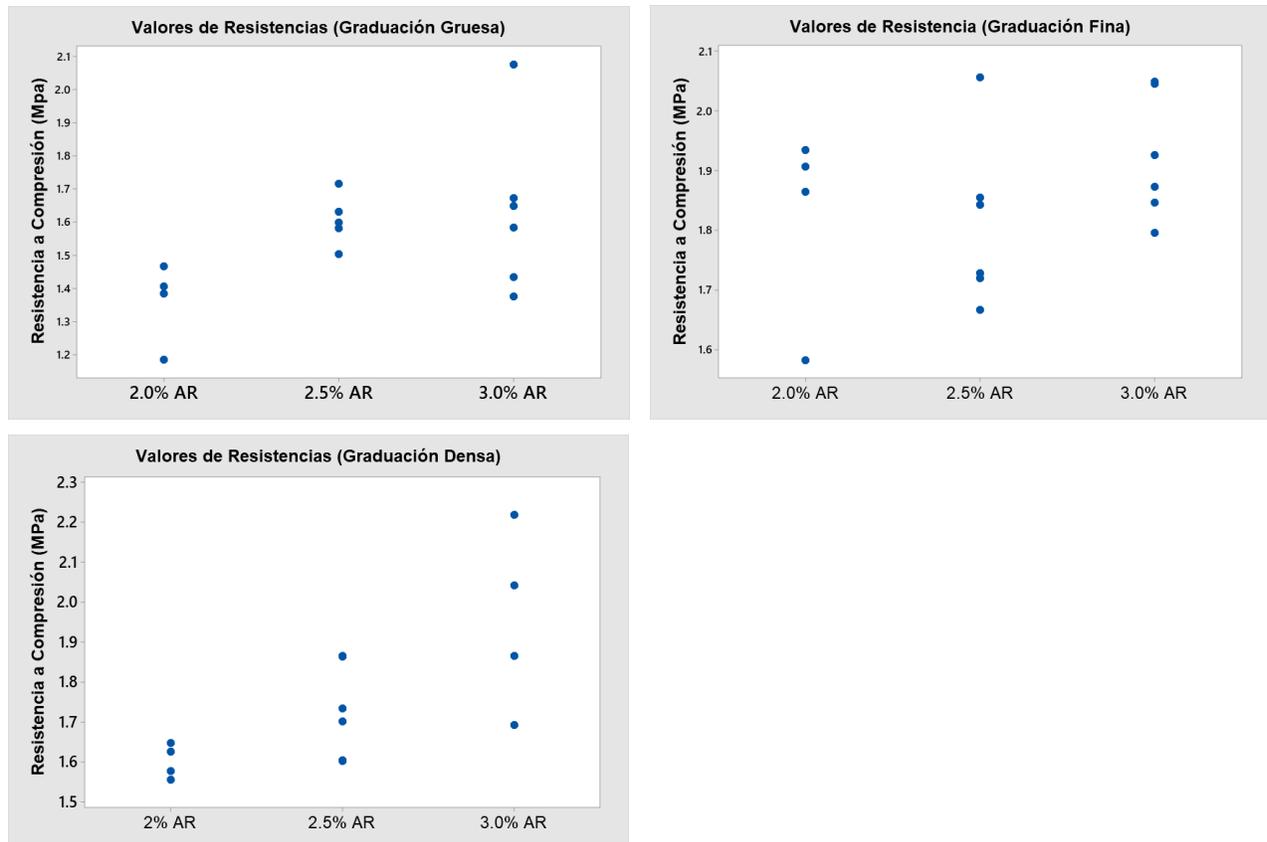


Gráfico 9. Resistencia a Compresión Simple no Confinada. Fuente: Propia.

Con el objetivo de detectar la presencia de datos anómalos “outliers”, se evaluaron los resultados a través de la prueba de Grubbs para un nivel de confiabilidad de 95%, los valores encontrados para los tres casos indican que todos los valores provienen de la misma población normal (se acepta la hipótesis nula), por lo tanto, todos los datos se pueden utilizar en el análisis. Los resultados se presentan en las Tablas 28, 29 y 30.

En el gráfico 10 se presenta los resultados promedio de resistencia a compresión simple no confinada para las tres graduaciones (Fina, Densa y Gruesa).

4.11.1 Pruebas de Grubbs Resistencia a Compresión Simple no Confinada.

Graduación Fina

Tabla 28. Prueba Grubbs, Graduación Fina. Fuente: Propia.

Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
2.0% AR	4	1.8216	0.1626	1.5814	1.9339	1.48	0.061
2.5% AR	6	1.8114	0.1408	1.6666	2.0565	1.74	0.186
3.0% AR	6	1.9226	0.1054	1.7958	2.0496	1.20	1.000

Graduación Densa

Tabla 29. Prueba Grubbs. Graduación Densa. Fuente: Propia.

Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
2% AR	4	1.6017	0.0427	1.5553	1.6477	1.09	1.000
2.5% AR	6	1.7287	0.1177	1.6031	1.8658	1.17	1.000
3.0% AR	6	1.9547	0.1847	1.6919	2.2195	1.43	0.719

Graduación Guesa

Tabla 30. Prueba de Grubbs, Graduación Guesa. Fuente: Propia.

Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
2.0% AR	4	1.3598	0.1225	1.1837	1.4661	1.44	0.166
2.5% AR	5	1.6067	0.0777	1.5034	1.7172	1.42	0.539
3.0% AR	6	1.632	0.248	1.376	2.077	1.79	0.126

4.11.2 Parámetros de Estadística Descriptiva Resistencia a Compresión Simple No confinada

Tabla 31. Estadística Descriptiva. Resistencia a la Compresión; Graduación Fina. Fuente: Propia.

Resistencia a la Compresión Simple No Confinada (Graduación Fina)							
Asfalto Residual (%)	n	Media	S	C.V	Min.	M	Máx.
	-	%	%	%	%	%	%
2.0	4.0	1.822	0.163	8.928	1.581	1.886	1.934
2.5	6.0	1.811	0.141	7.776	1.667	1.785	2.056
3.0	6.0	1.923	0.105	5.484	1.796	1.900	2.050

Tabla 32. Estadística Descriptiva, Resistencia a la Compresión, Graduación Densa. Fuente: Propia.

Resistencia a la Compresión Simple No Confinada (Graduación Densa)							
Asfalto Residual (%)	n	Media	S	C.V	Min.	M	Máx.
	-	%	%	%	%	%	%
2	4.0	1.602	0.043	2.663	1.555	1.602	1.648
2.5	6.0	1.729	0.118	6.806	1.603	1.718	1.866
3	6.0	1.955	0.185	9.449	1.692	1.954	2.219

Tabla 33. Estadística Descriptiva. Resistencia a la Compresión, Graduación Gruesa. Fuente: Propia.

Resistencia a la Compresión Simple No Confinada (Graduación Gruesa)							
Asfalto Residual (%)	n	Media	S	C.V	Min.	M	Máx.
	-	%	%	%	%	%	%
2	4.0	1.360	0.122	9.008	1.184	1.395	1.466
2.5	6.0	1.608	0.081	5.037	1.503	1.633	1.717
3	6.0	1.632	0.248	15.204	1.376	1.616	2.077

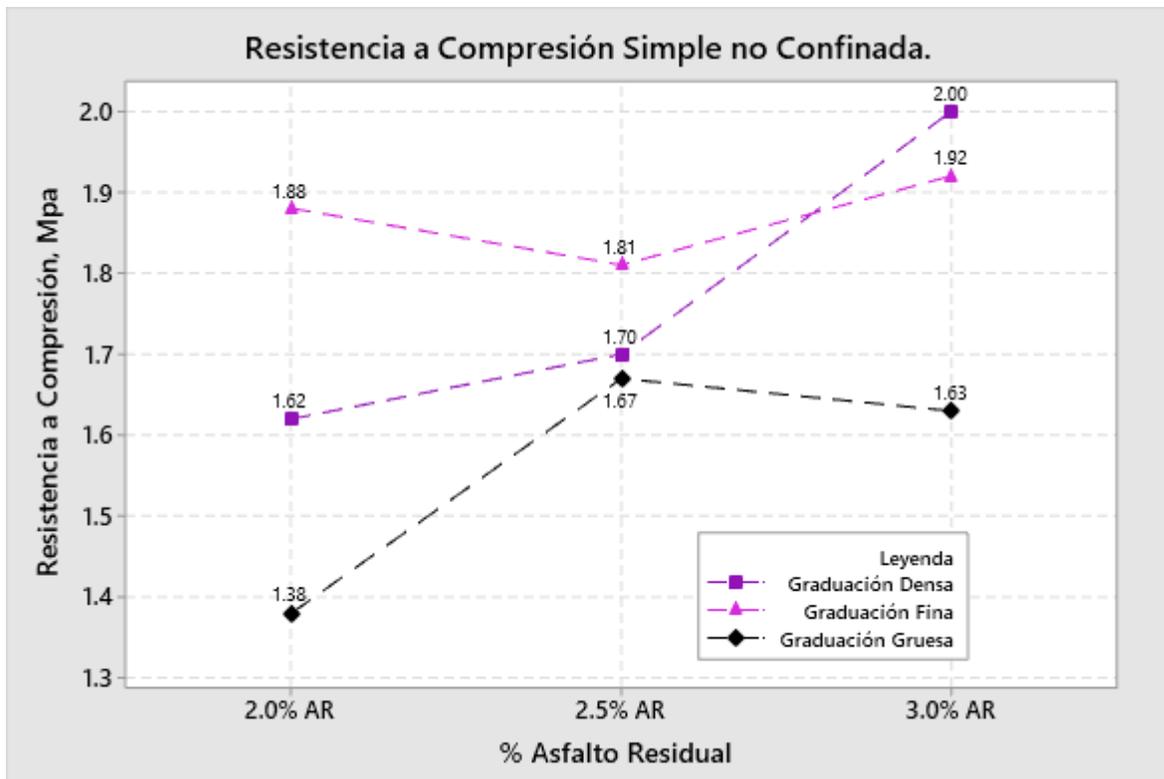


Gráfico 10. Resistencia a Compresión Simple no Confinada. Fuente: Propia.

4.12 Resistencia a Tensión Diametral Indirecta

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos de los ensayos a tensión indirecta para las probetas moldeadas por cada granulometría. En las Tablas 37, 38 y 39 muestran los parámetros de estadística descriptiva más importante para los datos de las graduaciones Fina, Densa y Gruesa respectivamente. Los parámetros calculados indican que las dispersiones de los datos de las tres graduaciones son pequeños (Coeficiente de Variación menor a 10%), En el gráfico 11 se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio de resistencia a tensión diametral Indirecta.

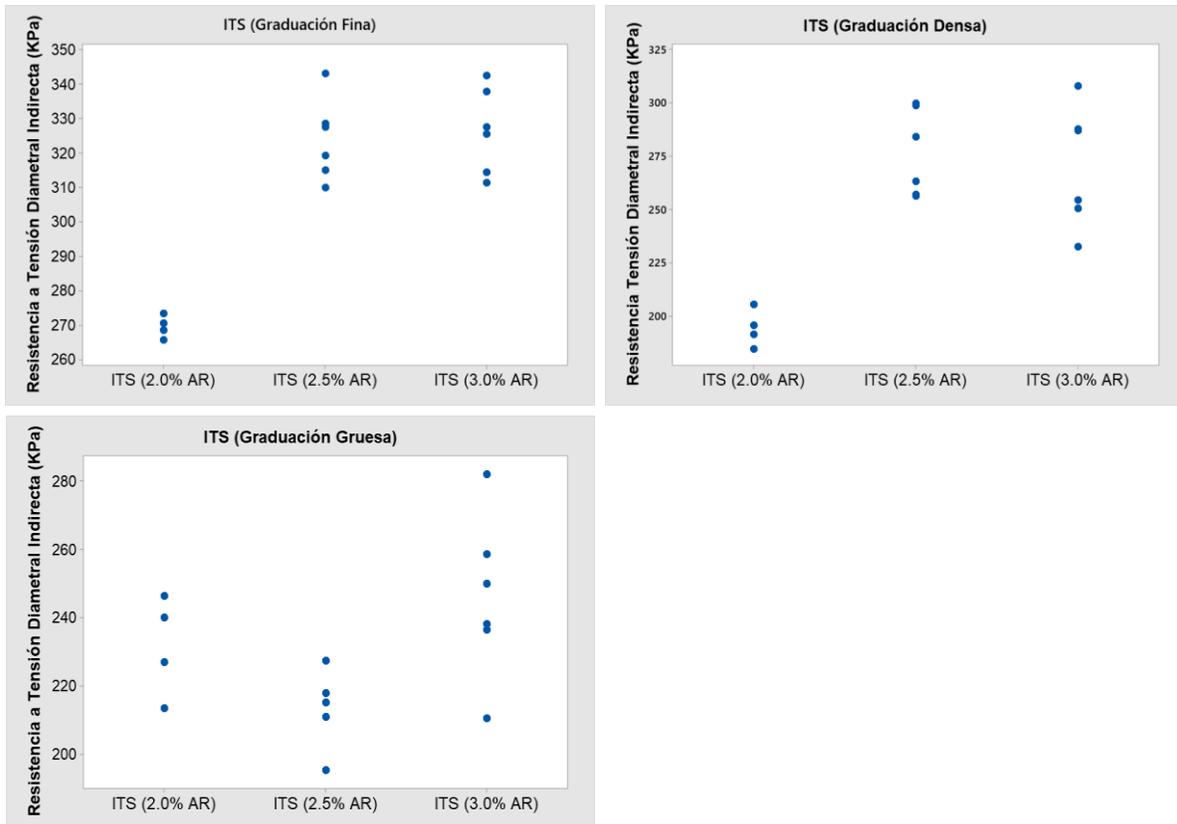


Gráfico 11. Resistencia a la Tensión Diametral. Fuente: Propia.

Con el objetivo de detectar la presencia de datos anómalos “outliers”, se evaluaron los resultados a través de la prueba de Grubbs para un nivel de confiabilidad de 95%, los valores encontrados para los tres casos indican que todos los valores provienen de la misma población normal (se acepta la hipótesis nula), por lo tanto, todos los datos se pueden utilizar en el análisis. Los resultados se presentan en las Tablas 34, 35 y 36.

En el Grafico 12 se presenta los resultados obtenidos en el laboratorio de resistencia a Tensión Diametral Indirecta.

4.12.1 Prueba de Grubbs Resistencia a la Tensión Diametral indirecta

Graduación Fina

Tabla 34. Prueba de Grubbs, Graduación Fina. Fuente: Propia.

Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
ITS (2.0% AR)	4	269.61	3.25	265.73	273.44	1.19	0.819
ITS (2.5% AR)	6	324.06	11.84	310.06	343.27	1.62	0.352
ITS (3.0% AR)	6	326.68	12.33	311.56	342.57	1.29	1.000

Graduación Densa

Tabla 35. Prueba de Grubbs, Graduación Densa. Fuente: Propia.

Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
ITS (2.0% AR)	4	194.35	8.74	184.56	205.44	1.27	0.617
ITS (2.5% AR)	6	276.54	20.25	256.33	299.65	1.14	1.000
ITS (3.0% AR)	6	270.1	28.5	232.6	308.0	1.33	0.965

Graduación Guesa

Tabla 36. Prueba de Grubbs, Graduación Guesa. Fuente: Propia.

Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
ITS (2.0% AR)	4	231.79	14.67	213.42	246.51	1.25	0.660
ITS (2.5% AR)	5	213.37	11.77	195.30	227.38	1.54	0.313
ITS (3.0% AR)	6	246.00	24.04	210.61	282.14	1.50	0.569

4.12.2 Parámetros de Estadística Descriptiva Resistencia a la Tensión Diametral

Tabla 37. Estadística descriptiva; Tensión Indirecta, Graduación Fina. Fuente: Propia.

Resistencia a la Tensión Diametral Indirecta (Graduación Fina)							
Asfalto	N	Media	S	C.V	Min.	M	Máx.
Residual (%)	-	%	%	%	%	%	%
2.0	4.0	269.615	3.280	1.217	265.733	269.644	273.437
2.5.0	6.0	322.739	9.745	3.020	310.056	322.773	337.909
3.0	6.0	325.478	14.513	4.459	306.688	324.120	345.313

Tabla 38. Estadística descriptiva; Tensión Indirecta, Graduación Densa. Fuente: Propia.

Resistencia a la Tensión Diametral Indirecta (Graduación Densa)							
Asfalto	N	Media	S	C.V	Min.	M	Máx.
Residual (%)	-	%	%	%	%	%	%
2.0	4.0	194.351	8.744	4.499	184.565	193.697	205.444
2.5	6.0	276.542	20.253	7.324	256.329	273.695	299.651
3.0	6.0	270.065	28.527	10.563	232.626	270.827	308.011

Tabla 39. Estadística descriptiva; Tensión Indirecta, Graduación Gruesa. Fuente: Propia.

Resistencia a la Tensión Diametral Indirecta (Graduación Gruesa)							
Asfalto	n	Media	S	C.V	Min.	M	Máx.
Residual (%)	-	%	%	%	%	%	%
2.0	4.0	231.792	14.668	6.328	213.421	233.617	246.513
2.5	6.0	232.103	9.646	4.156	215.000	234.200	240.100
3.0	6.0	245.995	24.035	9.771	210.606	244.051	282.142

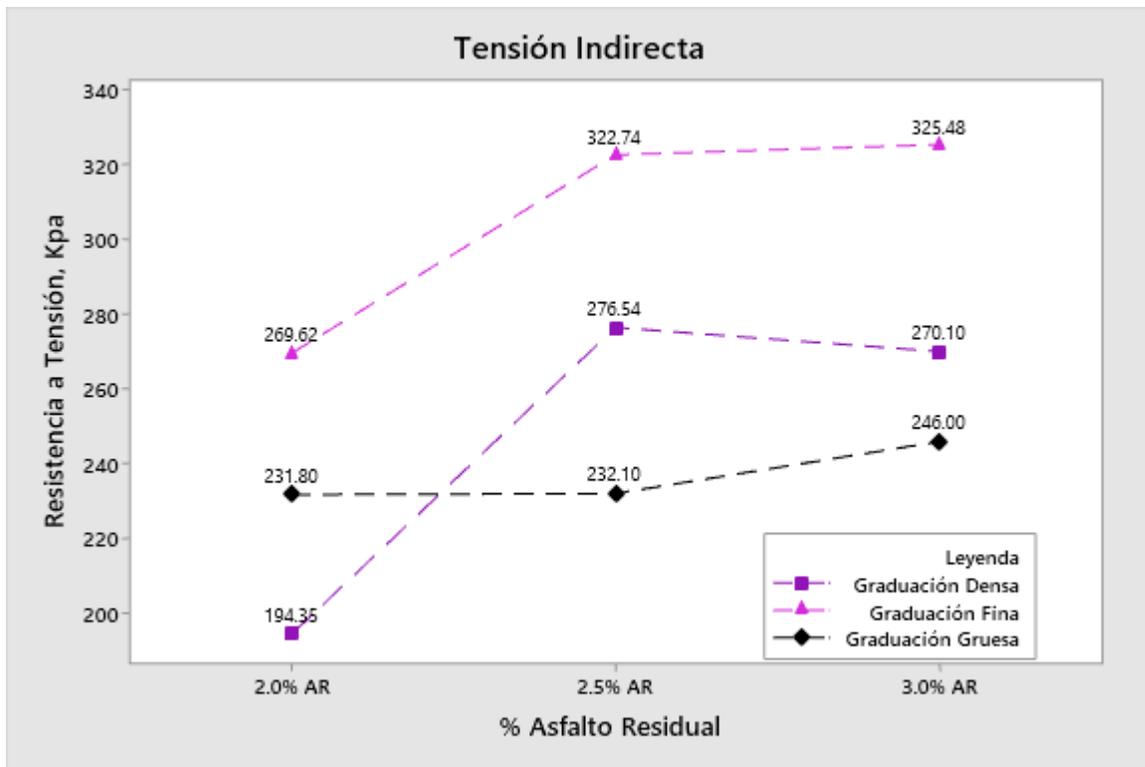


Gráfico 12. Tensión Indirecta. Fuente: Propia.

CAPITULO V.

5.1 Conclusiones

Se evaluó la influencia que tiene la graduación del material pétreo en la resistencia a compresión simple no confinada y tensión indirecta de una mezcla de agregados minerales, emulsión asfáltica CSS1 y cemento Portland, los agregados minerales utilizados en el estudio consistieron en una combinación de: Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP), Agregados triturados de origen basáltico con tamaños máximos de 37.50 mm, 25.00 mm, y 9.50 mm.

El RAP fue recuperado del segmento de carretera delimitado por los estacionamientos 64+494.29 a km 65+228.82 del tramo: “Empalme El Guanacaste - El Grajinan” (NIC-04). Este material está constituido por la capa bituminosa que existía (10 cm aproximadamente) y 5 cm de la base del pavimento.

Se determinaron en el laboratorio las propiedades físicas más importante de los agregados. Del análisis granulométrico del RAP se concluye que este corresponde a un material No Uniforme y Bien Graduado, debido a que está constituido por una amplia variedad de tamaños de partículas que varían desde los 25.00 mm, el contenido de asfalto resultó 4.1%. Por otro lado, todos los materiales de ajustes son de origen basálticos y proceden de un mismo manto rocoso y por lo tanto comparten propiedades mecánicas similares, en el laboratorio se confirmó que estos materiales son durables, libres de partículas perjudiciales, resistentes al intemperismo y sus minerales son de alta dureza (resistentes al desgaste).

Se propuso la dosificación de la mezcla con 2.0%, 2.5% y 3.0% de asfalto residual, la selección de estos contenidos se fundamentó en las recomendaciones de la bibliografía especializada y en informes de diseños desarrollados por consultores nacionales.

Se desarrollaron a escala de laboratorio tres graduaciones: Fina, Densa y Gruesa, tomando como referencia la curva de máxima densidad de 25 mm desarrollada con la ecuación de la potencia de 0.45. Las granulometrías se alcanzaron a través de la

incorporación al RAP de materiales de ajuste en porcentajes variables. La selección de las combinaciones óptimas se efectuó de forma gráfica. Las mezclas definitivas fueron: 70% RAP + 30% Fino triturado TM 9.50 mm (Mezcla Fina), 50% RAP + 50% Base D TM 37.50 mm (Mezcla Densa) y a 50% RAP 20% Agregado Monogranular TM 25.00 mm y 30% Agregado TM 37.5 mm.

Se propuso cemento Portland de uso general como Filler activo, se utilizó un valor constante de 1.50% sobre la masa total de la mezcla en todos los casos (este valor se tomó de la recomendación del manual de reciclado en frío de Wirtgen), con este valor de cemento se logró una resistencia retenida a la tensión diametral (TSR) de 105% para la mezcla fina, 97% para la mezcla densa y 97% para la mezcla gruesa, estos valores demuestran que todas las mezclas fabricadas son de alta durabilidad, no susceptible al daño inducido por la humedad y adecuadas para zonas de altas precipitaciones.

De los ensayos de resistencia a tensión indirecta y compresión no confinada se concluye lo siguiente:

Para las tres graduaciones y para todos los contenidos de asfalto residual, a excepción del 2.0% (graduación densa), la base estabilizada puede clasificarse como tipo BEA1, es decir un material de alta resistencia, adecuado para estructuras de pavimentos donde se esperen repeticiones de cargas por encima de 6 Millones de ESALs.

La granulometría fina presentó mayores valores de resistencia a la tensión indirecta para todos los contenidos de asfalto residual, esto coincide con el resultado de TSR, en el cual esta misma graduación resultó ser la mezcla más durable (el agua no causó ningún daño), de otra forma se logró un empaquetamiento muy cerrado de los agregados que permitió mayores resistencias.

La mezcla fina presentó un contenido de asfalto total (Asfalto Residual + Asfalto del RAP) mayor que las otras dos graduaciones por el hecho que en este caso el contenido de RAP es de 70% y para los otros casos fue de 50%

(50% restante lo aportó el material o materiales de ajuste), este hecho, además de la buena graduación del RAP, contribuyó en los altos valores de resistencias.

Por encima de 2.5% de asfalto residual no se logra incrementos importantes en la resistencia a la tensión diametral, esto concuerda con la bibliografía especializada que indica que los valores típicos de emulsión están por debajo de 3.0% usualmente. También se observa una disminución en la resistencia a la tensión diametral para el caso de la mezcla densa, este comportamiento es normal y está asociado a la flexibilidad de la mezcla, esto coincide con la investigación del Lanamme UCR en 2019.

La resistencia a la compresión simple no confinada se evaluó debido a que es el parámetro de aceptación que actualmente rige en el país, sin embargo, es importante aclarar que todos los documentos citados hacen referencia a la tensión diametral como criterio de diseño. No existe una correlación clara entre la resistencia a compresión simple no confinada y la resistencia a la tensión diametral.

Las mayores resistencias a compresión simple no confinada, al igual que en los ensayos de resistencia a tensión diametral, se obtuvieron con la graduación fina, sin embargo, en el caso de la compresión las diferencias determinadas no son importantes (aplica para todos los casos). Este comportamiento confirma la razón del porqué no es considerado como un criterio de diseño en metodologías internacionales.

Del análisis anterior se concluye que es posible utilizar RAP en porcentajes altos (al menos 70%) para la construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica sin comprometer la resistencia a la tensión diametral. Se concluye además que la graduación fina es la que mejor desempeño tiene. Se aclara que esto no es una generalización, corresponde para el caso específico del RAP estudiado, para las características propias de este material (contenido de asfalto, granulometría obtenida, forma, textura, dureza de partículas, etc.).

La compactación Marshall es la más común en los laboratorios y es más fácil su implementación; dónde se compactan especímenes de 101 mm de diámetro con 75 golpes por cara. No obstante, la compactación Marshall es la que es menos representativa del proceso de compactación en sitio. Se sugiere compactar al 100% de la densidad máxima obtenida con el Proctor modificado.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda el uso del RAP, en porcentajes de al menos 70%, para la construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica en carreteras de alto tráfico, el diseño se debe desarrollar tomando como criterio la resistencia indirecta a la tensión diametral y la evaluación de durabilidad se debe efectuar a través del cálculo de la resistencia retenida a la tensión diametral. (método AASHTO T 283, con las variaciones del método anotadas en esta investigación).

Garantizar que el material pétreo sea No Uniforme y Bien Graduado para lograr un empaquetamiento adecuado en la matriz o esqueleto de la mezcla que contribuya en la resistencia de la base. También se recomienda que los materiales de aportes sean de buena calidad, similares a los utilizados en este estudio, para alcanzar una mezcla del tipo BEA1, se hace énfasis en esta recomendación porque para todas las mezclas desarrolladas cumplió con el criterio de resistencia a tensión.

Efectuar una caracterización adecuada del RAP, incluyendo una delimitación física en obra de segmentos homogéneos, que garantice la homogeneidad del material. Esto es de vital importancia debido a que las características del RAP dependen en gran medida de los materiales que constituyen la estructura de pavimento que se recupere.

Desarrollar futuras investigaciones enfocadas al cálculo del módulo resiliente y su relación con la tensión diametral indirecta, de forma que se pueda tener una comprensión más completa del comportamiento del material durante su vida de servicio.

Referencias Bibliográficas

- Academy, A. (2009). *Technical Guideline. Bitumen Stabilised Materials*. Asphalt Academy.
- Al-Harty, A., Al-Shamsi, K., Al-Zubeidi, M., Taha, R. . (2002). *Cement stabilization of reclaimed asphalt pavement aggregate for road bases and subbases*. Estados Unidos : Journal of Materials in Civil Engineering.
- Al-Qadi, I., Carpenter, S., Elseifi, M. . (2007). *Reclaimed asphalt pavement: a literature review*. . Estados Unidos : Illinois Center for Transportation, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.
- Arash, M., Solomon, N., S., Karki, P. & Bashin . (2014). *Fatigue and Fracture Properties of Aged Binders in the Context of Reclaimed Asphalt Mixes. Final Report*. . Texas : A&M Transportation Institute.
- Badillo Juarez; Rodríguez Rico. (2005). *Mecánica de suelo I*. Mexico.
- Cass, D., & Mukherjee, A. (2011). *Calculation of Greenhouse Gas Emissions for a Highway Construction Operations by Using a Hybrid Life-Cycle Assessment Approach*: .
- Crespo Villalaz , C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Mexico.
- Eddy, R. (2011, Junio 16). *ingenierocivilinfo.com*. Retrieved from [ingenierocivilinfo.com:
https://www.ingenierocivilinfo.com/2011/06/emulsiones-asfalticas-y-su-composicion.html](https://www.ingenierocivilinfo.com/2011/06/emulsiones-asfalticas-y-su-composicion.html)
- Engineers), E. C. (1984). *Guía de diseño para estabilización de suelos para pavimentos*. Estados Unidos.
- González, W. (2007). *Guía Básica para el uso de Emulsiones Asfálticas en la Estabilización de Bases en camios de baja intensidad en el Salvador*. . El Salvador : Universidad de el Salvador.
- Han, J., Thakur, S., Chong, O., & Parsons, R. . (2011). *Laboratory Evaluation of Characteristics of Recycled Asphalt Pavement in Kansas*. Kansas : Kansas Department of Transportation.
- Hernández, F. (2014). *Control de calidad de mezcla asfáltica de alto desempeño*. Colombia.
- Hernández, I. O. (2019). *Diseño de Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica (CSS-1)*. Managua, Nicaragua.: Soluciones Viales S.A.
- Huntington, G., Khaled, K., Koch, S. . (2011). *Performance of Reclaimed Asphalt Pavement on Unpaved Roads*. *Universidad de Wyoming*, . Estados Unidos: Centro de Transferencia de Tecnológica de Wyoming.

- Kang, S., Yang, R., Ozer, H., & Al-Qadi, I. . (2014). *Life-Cycle greenhouse gases and energy consumption for material and construction phases of pavement with traffic delay*. Transportation Research Record , 2428, 27-34.
- Kennedy, T. W., Tam, W. O. & Solaimanian, M. . (1998). "Optimizing Use of Reclaimed Asphalt Pavement with the SuperPave System. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 67, pp. 311-333. .
- Méndez, A. (2015). *Evaluación técnica y económica del uso de pavimento asfáltico reciclado (RAP) en vías colombianas. Tesis de grado*. Universidad Militar Nueva Granada, Colombia .
- Mohod Rosi Mohd, H., & You, Z. . (2015). *Estimation of cumulative energy demand and green house gas emissions of* . Construction and Building Materials, 93, 117-124.
- Mukherjee, A., Stawowy, B. & Cass, D. . (2013). *Project Emission Estimator. Tool for Contractors and Agencies for Assessing Greenhouse Gas Emissions of Highway Construction Projects*. Transportation Research Record, 2366, 3-12. .
- Pavimentos., U. d. (2019). *Metodología de Diseño para Materiales Granulares Estabilizados con Emulsión*. San José, Costa Rica: LANAMME.
- PITRA-Lanamme UCR. (2019, Enero). *Guía para el diseño de materiales estabilizados con emulsion*. Retrieved from Guía para el diseño de materiales estabilizados con emulsion.
- Ramos, Muñiz. (2013, Mayo). *Propuesta de diseño de mezclas asfálticas en frío de graduación densa como alternativa para mantenimiento de pavimentos* .
- Rica, U. d. (2013). *Procedimiento de Diseño de Mezcla. Guía para el Diseño de Materiales Granulares Estabilizados con Emulsion*. San José, Costa Rica.
- Rico, I. J. (2012). *Diseño de Base Estabilizada Emulsión Asfáltica y Cemento Portland a partir de material de firme existente. Carretera Duitama Belén*, . Bogotá: Consorcio Vial Duitama. Retrieved 31 1, 2012
- Transportation), E. D. (2012). *Guía de diseño y construcción para bases estabilizadas con emulsión o asfalto espumado utilizando materiales reciclados en frío (Full Depth)*. Pensilvania.
- Tufino, D. (2009). *Variación de Resistencias VS Edades y Relación A/C con Cemento Portland Tipo I*. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma.
- U. S. Department of Energy. (2017, Febrero 24). *Energy Systems*. Retrieved from <https://greet.es.anl.gov>

Unidad de Investigacion (UI). (2008, Noviembre). *Evaluacion de factibilidad de mezclas en frio para superficies de rodamiento* .

Wiedmann, T., & Minx, J. . (2008). *A Definition of 'Carbon Footprint*. En *Economics Research Trends* (págs. 1-11). Hauppauge NY: Nova Science Publishers.

UNAN - MANAGUA

ANEXO 1

Evaluación de la influencia que tiene la graduación del material pétreo en la resistencia a compresión simple no confinada y tensión indirecta de una mezcla de agregados minerales, emulsión asfáltica CSS1 y cemento Portland.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN-MANAGUA

Curva de Máxima Densidad

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN Managua
CONTROL DE CALIDAD Y DISEÑOS DE MATERIALES



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

CURVA DE MÁXIMA DENSIDAD

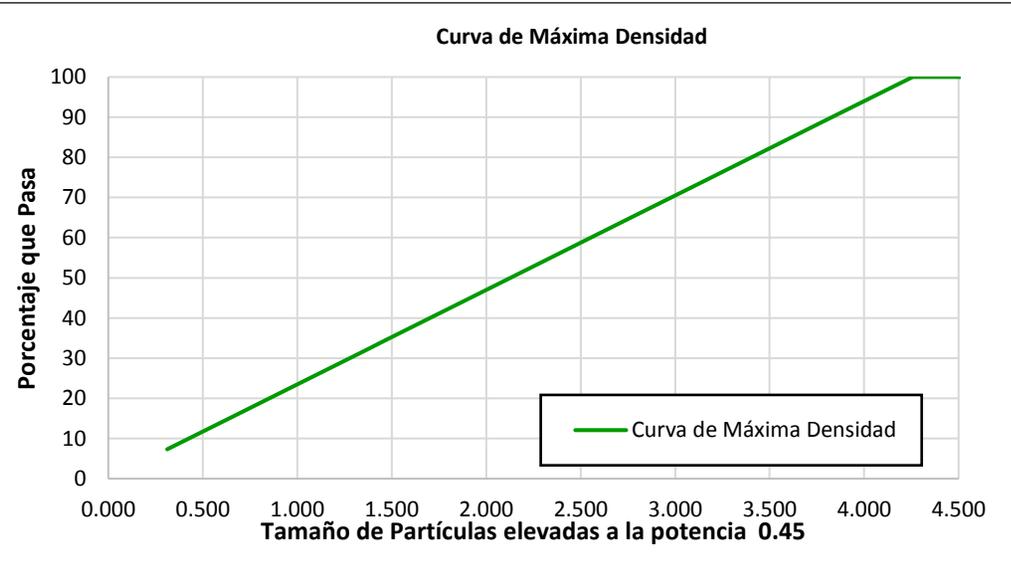
Proyecto: **Trabajo Monográfico UNAN - Managua** Fecha: **25/05/20** Código: **---**

Actividad: **Curva de Máxima Densidad** Diseñó: **Jarling R, Karen R** Revisó: **Ing. Oscar C.**

Curva de máxima densidad

Tamaño Máximo Agregado, mm 25.000

Tamices			Curva
Pulgadas	mm	$\wedge_{0.45}$	Máx
1 1/2"	37.500	5.109	100
1"	25.000	4.257	100
3/4"	19.000	3.762	88
1/2"	12.500	3.116	73
3/8"	9.500	2.754	65
No. 4	4.750	2.016	47
No. 8	2.360	1.472	35
No. 10	2.000	1.366	32
No. 30	0.600	0.795	19
No. 40	0.425	0.680	16
No. 200	0.075	0.312	7



UNAN - MANAGUA

ANEXO 2

Evaluación de la influencia que tiene la graduación del material pétreo en la resistencia a compresión simple no confinada y tensión indirecta de una mezcla de agregados minerales, emulsión asfáltica CSS1 y cemento Portland.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN-MANAGUA

Análisis granulométrico del Material Pétreo “RAP”

(AASHTO T 11 - T 27)

Evaluación de Granulometría de Agregado Pétreo "RAP"

Realizó: Br. Jarling R - Br. Karen R

Fecha: 10/07/19

Revisó: Ing. Oscar Cerda

Material menor a 75- μ m (No. 200) en suelos (por lavado); AASHTO T-11.

Número de Muestra	1	2	3
ID. Recipiente	A	B	C
M. Inicial Húmeda, g	7,252.3	6,500.0	5,360.0

Descripción del Agregado:

RAP

Cálculo de Humedad

ID. Recipiente	T-1	T-2	T-3
Masa Húmeda, g	985.3	450.0	320.0
Masa Seca, g	969.0	443.1	314.5
Humedad, %	1.7	1.6	1.7
Masa Inicial Seca, g	7,131.1	6,397.6	5,270.4

Cálculo de pérdidas por lavado

Número de Muestra	1	2	3
Masa de muestra lavada y seca, g	6,796.0	6,095.0	4,974.0
Masa de pérdidas por lavado, g	335.1	302.6	296.4
Masa cribada menor a 75- μ m, g	88.2	70.0	20.5
Masa total menor a 75- μ m, g	423.3	372.6	316.9

Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos; AASHTO T-27

ASTM E11		M. retenidas de cada muestra analizada			Muestra # 1		Muestra # 2		Muestra # 3		PROMEDIO
Tamices		1	2	3	M. Ret. Acum.	Material Pasa	M. Ret. Acum.	Material Pasa	M. Ret. Acum.	Material Pasa	MAT. PASA
Pulgadas	mm	g	g	g	%	%	%	%	%	%	%
1 1/2"	37.5	0.0	0.0	0.0	0.0	100	0.0	100			100
1"	25.000	246.7	220.3	160.0	3.5	97	3.4	97	3.0	97	97
3/4"	19.000	246.2	245.6	200.4	7.0	93	7.2	93	6.8	93	93
1/2"	12.500	575.5	530.0	485.4	15.1	85	15.5	85	16.0	84	85
3/8"	9.500	409.1	386.8	329.4	20.8	79.0	21.5	79	22.3	78	79
No. 4	4.750	1,394.0	1,290.0	896.9	40.3	60.0	41.7	58	39.3	61	60
No. 10	2.000	1,550.0	1,280.5	1,200.6	62.0	38.0	61.7	38	62.1	38	38
No. 40	0.425	1,650.7	1,525.6	1,200.7	85.1	15.0	85.5	15	84.9	15	15
No. 200	0.075	635.0	545.7	479.1	94.0	6.0	94.0	6.0	94.0	6.0	6.0
Fondo	-	88.2	70.0	20.5	99.9	-	99.8	-	100.0	-	-
Verificación de ensayo (AASHTO T-27; Sección 11)				(1S)<0.27	-	0.01	-	0.01		0.02	-

Evaluación de Granulometría de Agregado Pétreo "RAP"

Realizó: Br. Jarling R - Br. Karen R

Fecha: 10/07/19

Revisó Ing. Oscar Cerda

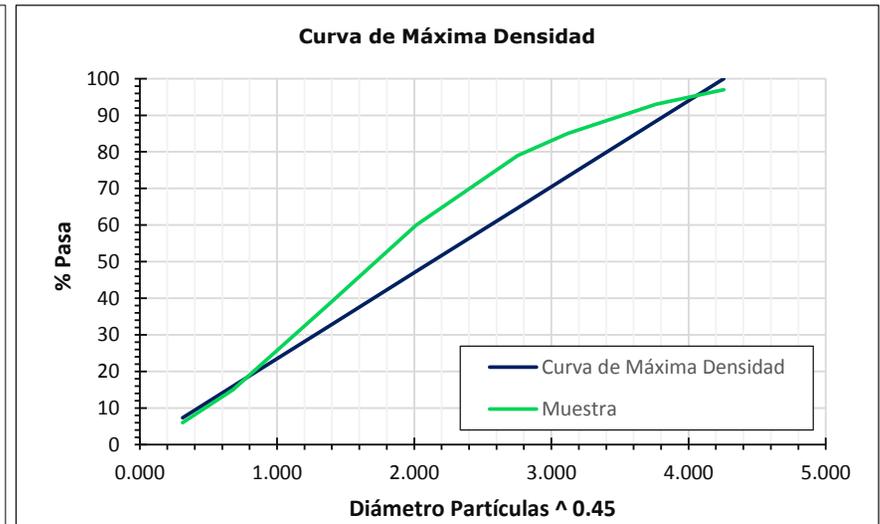
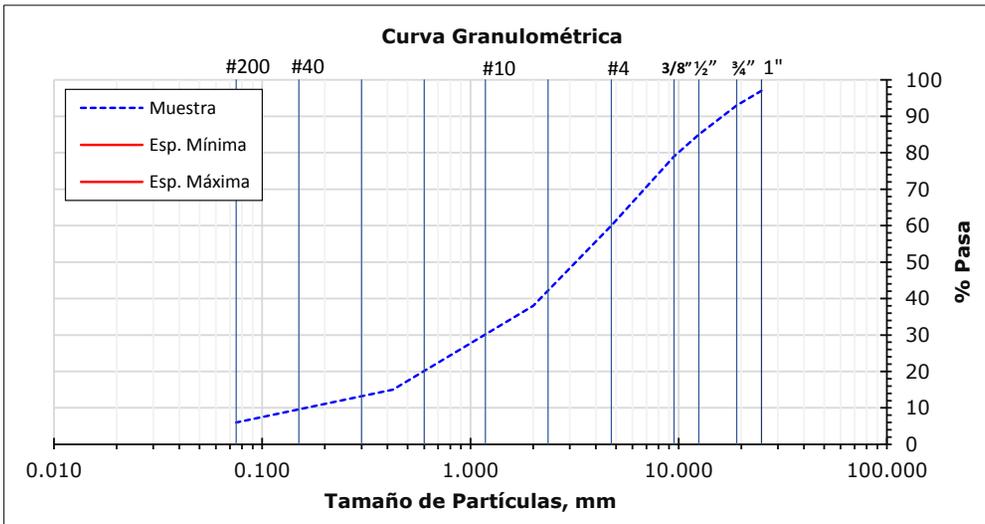
Curva granulométrica evaluada y curva de máxima densidad

ASTM E11			Máxima Densidad	Resultado	REQUERIMIENTOS DE GRADUACION		
Pulgadas	mm	$\wedge 0.45$		Muestra	Tol. Mín.	Curva ideal	Tol. Máx.
1 1/2"	37.5	5.109	100	100			
1"	25.000	4.257	100	97			
3/4"	19.000	3.762	88	93			
1/2"	12.500	3.116	73	85			
3/8"	9.500	2.754	65	79			
No. 4	4.750	2.016	47	60			
No. 10	2.000	1.366	32	38			
No. 40	0.425	0.680	16	15			
No. 200	0.075	0.312	7	6			

Notas Generales

Tamaño Máximo, mm **25.000**

RAP



UNAN - MANAGUA

ANEXO 3

Evaluación de la influencia que tiene la graduación del material pétreo en la resistencia a compresión simple no confinada y tensión indirecta de una mezcla de agregados minerales, emulsión asfáltica CSS1 y cemento Portland.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

**Granulometría de los Agregados de Ajuste o Aporte “ Monogranular, Integral,
Base D, Fino Triturado, 37.5 mm”
(AASHTO T 11 - T 27)**

Evaluación de Granulometría de Agregado Propuesto "Monogranular"

Realizó: Br. Jarling R - Br. Karen R

Fecha: 11/10/19

Revisó: Ing. Oscar Cerda

Material menor a 75- μ m (No. 200) en suelos (por lavado); AASHTO T-11.

Número de Muestra	1	2	3
ID. Recipiente	A	B	
M. Inicial Húmeda, g	3,012.2	2,615.2	

Descripción del Agregado:

Agregado 25.00 mm, Monogranular (PROINCO)

Cálculo de Humedad

ID. Recipiente	T-1	T-2	
Masa Húmeda, g	437.4	462.6	
Masa Seca, g	430.2	455.2	
Humedad, %	1.7	1.6	
Masa Inicial Seca, g	2,961.8	2,574.0	

Cálculo de pérdidas por lavado

Número de Muestra	1	2	3
Masa de muestra lavada y seca, g	2,927.3	2,547.0	
Masa de pérdidas por lavado, g	34.5	27.0	
Masa cribada menor a 75- μ m, g	4.9	1.0	
Masa total menor a 75- μ m, g	39.4	28.0	

Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos; AASHTO T-27

ASTM E11		M. retenidas de cada muestra analizada			Muestra # 1		Muestra # 2		Muestra # 3		PROMEDIO
Tamices		1	2	3	M. Ret. Acum.	Material Pasa	M. Ret. Acum.	Material Pasa	M. Ret. Acum.	Material Pasa	MAT. PASA
Pulgadas	mm	g	g	g	%	%	%	%	%	%	%
1 1/2"	37.5	0.0	0.0		0.0	100	0.0	100			100
1"	25.000	0.0	0.0		0.0	100	0.0	100			100
3/4"	19.000	221.6	173.0		7.5	93	6.7	93			93
1/2"	12.500	2,231.6	2,138.8		82.8	17	89.8	10			14
3/8"	9.500	364.8	216.2		95.1	4.9	98.2	2			3
No. 4	4.750	86.6	9.0		98.0	2.0	98.5	2			2
No. 10	2.000	1.4	0.4		98.0	2.0	98.5	2			2
No. 40	0.425	1.6	0.8		98.1	1.9	98.5	2			2
No. 200	0.075	14.8	7.8		98.6	1.4	98.8	1.2			1.3
Fondo	-	4.9	1.0		99.9	-	99.9	-			-
Verificación de ensayo (AASHTO T-27; Sección 11)				(1S)<0.27	-	0.00	-	0.00			-



Evaluación de Granulometría de Agregado Propuesto "Monogranular"

Realizó: Br. Jarling R - Br. Karen R

Fecha: 11/10/19

Revisó Ing. Oscar Cerda

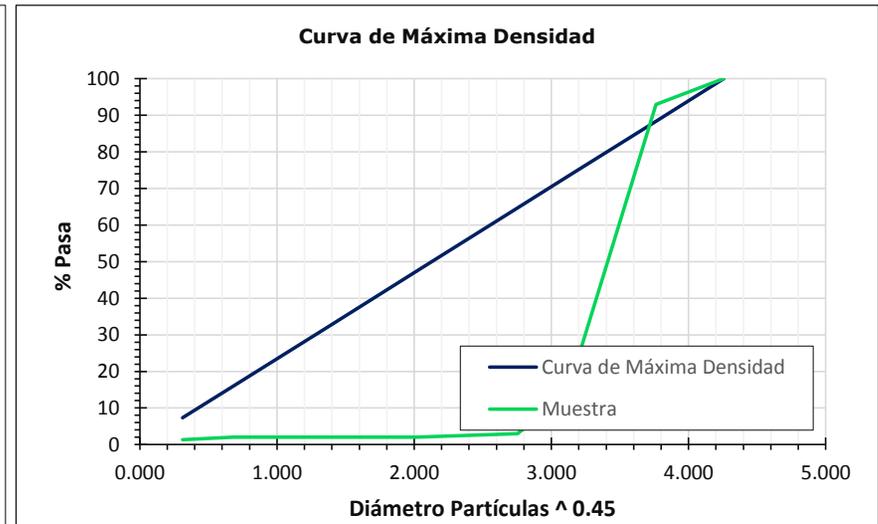
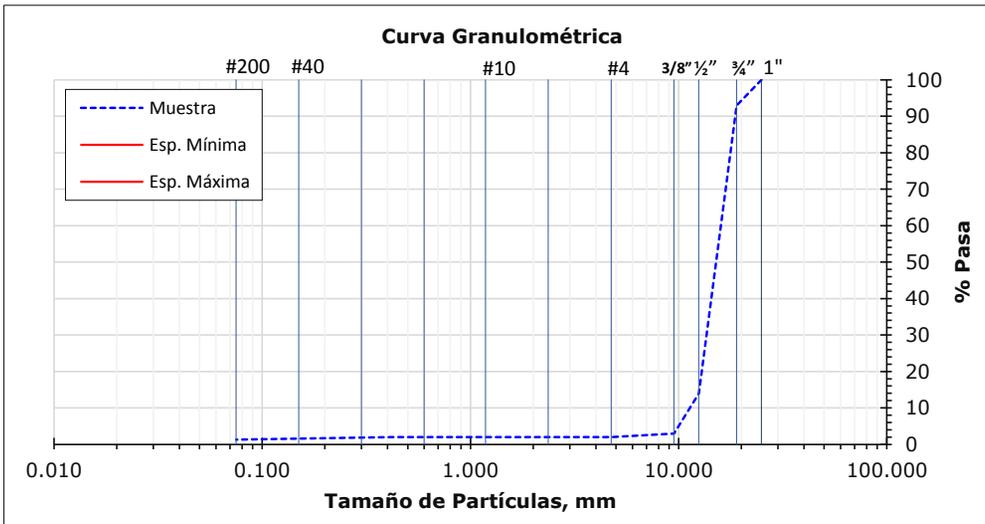
Curva granulométrica evaluada y curva de máxima densidad

ASTM E11			Máxima Densidad	Resultado	REQUERIMIENTOS DE GRADUACION		
Pulgadas	mm	$\wedge 0.45$		Muestra	Tol. Mín.	Curva ideal	Tol. Máx.
1 1/2"	37.5	5.109	100	100			
1"	25.000	4.257	100	100			
3/4"	19.000	3.762	88	93			
1/2"	12.500	3.116	73	14			
3/8"	9.500	2.754	65	3			
No. 4	4.750	2.016	47	2			
No. 10	2.000	1.366	32	2			
No. 40	0.425	0.680	16	2			
No. 200	0.075	0.312	7	1			

Notas Generales

Tamaño Máximo, mm **25.000**

Agregado 25.00 mm, Monogranular (PROINCO)



Evaluación de Granulometría de Agregado Propuesto "Integral"

Realizó: Br. Jarling R - Br. Karen R

Fecha: 11/10/19

Revisó: Ing. Oscar Cerda

Material menor a 75- μ m (No. 200) en suelos (por lavado); AASHTO T-11.

Número de Muestra	1	2	3
ID. Recipiente	A	B	
M. Inicial Húmeda, g	3,523.0	2,931.2	

Descripción del Agregado:

Agregado 25.00 mm, Integral (PROINCO)

Cálculo de Humedad

ID. Recipiente	T-1	T-2	
Masa Húmeda, g	406.4	345.6	
Masa Seca, g	397.8	338.4	
Humedad, %	2.2	2.1	
Masa Inicial Seca, g	3,447.2	2,870.9	

Cálculo de pérdidas por lavado

Número de Muestra	1	2	3
Masa de muestra lavada y seca, g	3,380.0	2,803.8	
Masa de pérdidas por lavado, g	67.2	67.1	
Masa cribada menor a 75- μ m, g	3.6	4.8	
Masa total menor a 75- μ m, g	70.8	71.9	

Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos; AASHTO T-27

ASTM E11		M. retenidas de cada muestra analizada			Muestra # 1		Muestra # 2		Muestra # 3		PROMEDIO
Tamices		1	2	3	M. Ret. Acum.	Material Pasa	M. Ret. Acum.	Material Pasa	M. Ret. Acum.	Material Pasa	MAT. PASA
Pulgadas	mm	g	g	g	%	%	%	%	%	%	%
1 1/2"	37.5	0.0	0.0		0.0	100	0.0	100			100
1"	25.000	0.0	0.0		0.0	100	0.0	100			100
3/4"	19.000	190.2	49.6		5.5	95	1.7	98			97
1/2"	12.500	816.0	475.4		29.2	71	18.3	82			77
3/8"	9.500	553.6	416.8		45.3	55.0	32.8	67			61
No. 4	4.750	1,508.0	1,507.2		89.0	11.0	85.3	15			13
No. 10	2.000	292.0	328.6		97.5	2.5	96.7	3			3
No. 40	0.425	5.2	9.6		97.7	2.3	97.0	3			3
No. 200	0.075	11.4	11.8		98.0	2.0	97.4	2.6			2.3
Fondo	-	3.6	4.8		100.1	-	99.9	-			-
Verificación de ensayo (AASHTO T-27; Sección 11)				(1S)<0.27	-	0.00	-	0.00			-



Evaluación de Granulometría de Agregado Propuesto "Integral"

Realizó: Br. Jarling R - Br. Karen R

Fecha: 11/10/19

Revisó Ing. Oscar Cerda

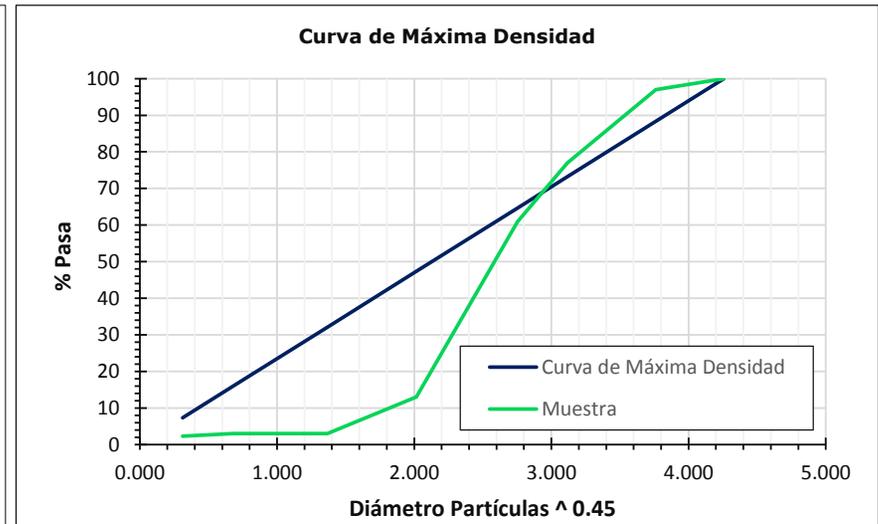
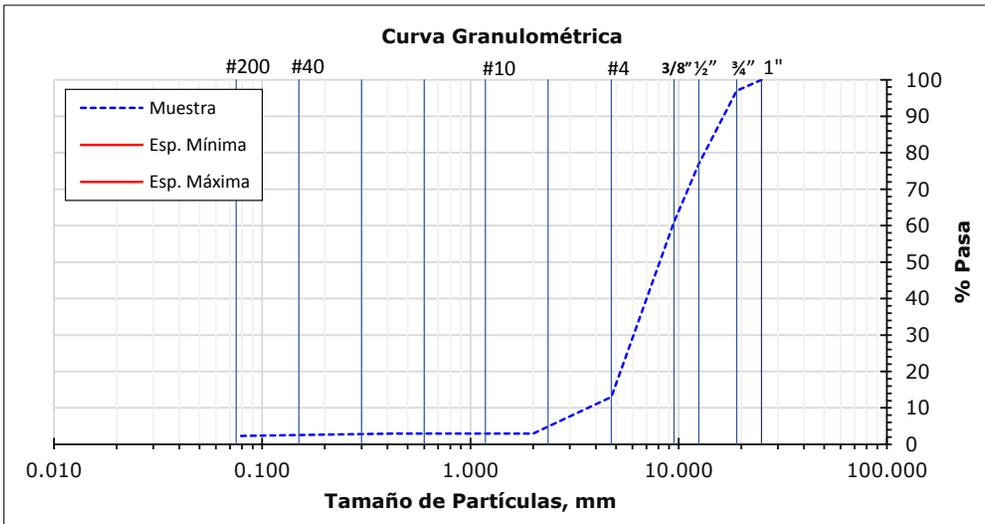
Curva granulométrica evaluada y curva de máxima densidad

ASTM E11			Máxima Densidad	Resultado	REQUERIMIENTOS DE GRADUACION		
Pulgadas	mm	$\wedge 0.45$		Muestra	Tol. Mín.	Curva ideal	Tol. Máx.
1 1/2"	37.5	5.109	100	100			
1"	25.000	4.257	100	100			
3/4"	19.000	3.762	88	97			
1/2"	12.500	3.116	73	77			
3/8"	9.500	2.754	65	61			
No. 4	4.750	2.016	47	13			
No. 10	2.000	1.366	32	3			
No. 40	0.425	0.680	16	3			
No. 200	0.075	0.312	7	2			

Notas Generales

Tamaño Máximo, mm **25.000**

Agregado 25.00 mm, Integral (PROINCO)



Evaluación de Granulometría de Agregado Propuesto "Base D"

Realizó: Br. Jarling R - Br. Karen R

Fecha: 11/10/19

Revisó: Ing. Oscar Cerda

Material menor a 75- μ m (No. 200) en suelos (por lavado); AASHTO T-11.

Número de Muestra	1	2	3
ID. Recipiente	A	B	
M. Inicial Húmeda, g	3,829.2	3,760.2	

Descripción del Agregado:

Agregado, Base D (PROINCO)

Cálculo de Humedad

ID. Recipiente	T-1	T-2	
Masa Húmeda, g	488.6	560.0	
Masa Seca, g	468.2	541.8	
Humedad, %	4.4	3.4	
Masa Inicial Seca, g	3,667.8	3,636.6	

Cálculo de pérdidas por lavado

Número de Muestra	1	2	3
Masa de muestra lavada y seca, g	3,503.5	3,456.0	
Masa de pérdidas por lavado, g	164.3	180.6	
Masa cribada menor a 75- μ m, g	40.0	52.0	
Masa total menor a 75- μ m, g	204.3	232.6	

Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos; AASHTO T-27

ASTM E11		M. retenidas de cada muestra analizada			Muestra # 1		Muestra # 2		Muestra # 3		PROMEDIO
Tamices		1	2	3	M. Ret. Acum.	Material Pasa	M. Ret. Acum.	Material Pasa	M. Ret. Acum.	Material Pasa	MAT. PASA
Pulgadas	mm	g	g	g	%	%	%	%	%	%	%
1 1/2"	37.5	0.0	0.0		0.0	100	0.0	100			100
1"	25.000	139.4	109.2		3.8	96	3.0	97			97
3/4"	19.000	410.0	440.6		15.0	85	15.1	85			85
1/2"	12.500	611.4	570.5		31.7	68	30.8	69			69
3/8"	9.500	357.8	378.4		41.5	59.0	41.2	59			59
No. 4	4.750	743.0	699.6		61.8	38.0	60.4	40			39
No. 10	2.000	521.8	502.4		76.0	24.0	74.2	26			25
No. 40	0.425	479.8	458.8		89.1	11.0	86.8	13			12
No. 200	0.075	200.0	244.4		94.6	5.4	93.5	6.5			6.0
Fondo	-	40.0	52.0		100.2	-	99.9	-			-
Verificación de ensayo (AASHTO T-27; Sección 11)				(1S)<0.27	-	0.01	-	0.00			-



Evaluación de Granulometría de Agregado Propuesto "Base D"

Realizó: Br. Jarling R - Br. Karen R

Fecha: 11/10/19

Revisó Ing. Oscar Cerda

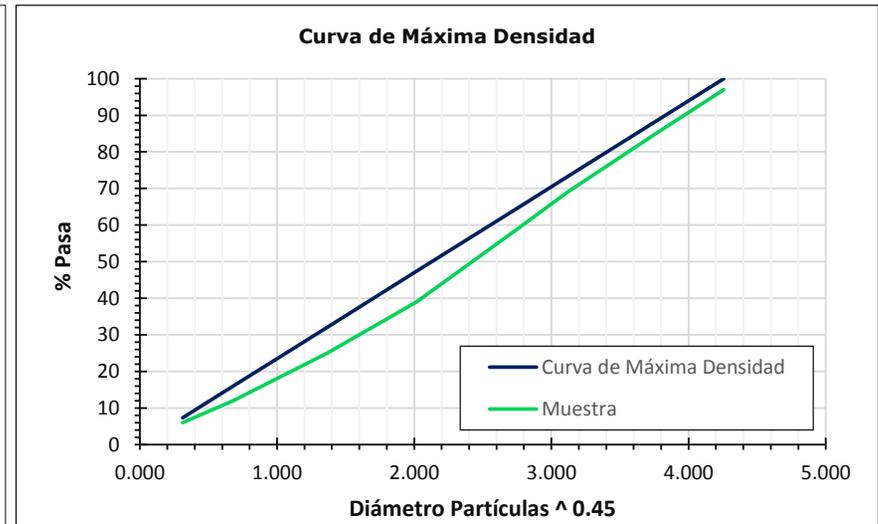
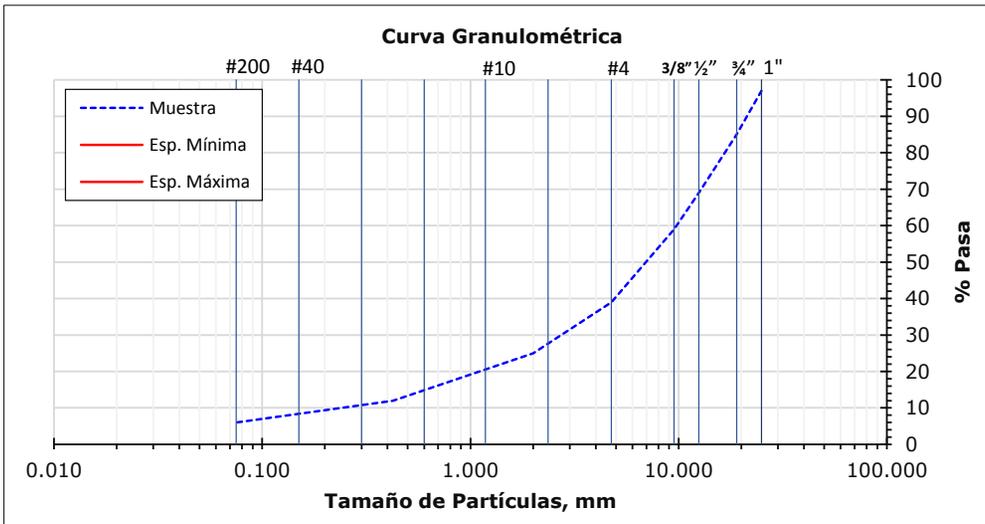
Curva granulométrica evaluada y curva de máxima densidad

ASTM E11			Máxima Densidad	Resultado	REQUERIMIENTOS DE GRADUACION		
Pulgadas	mm	$\wedge 0.45$		Muestra	Tol. Mín.	Curva ideal	Tol. Máx.
1 1/2"	37.5	5.109	100	100			
1"	25.000	4.257	100	97			
3/4"	19.000	3.762	88	85			
1/2"	12.500	3.116	73	69			
3/8"	9.500	2.754	65	59			
No. 4	4.750	2.016	47	39			
No. 10	2.000	1.366	32	25			
No. 40	0.425	0.680	16	12			
No. 200	0.075	0.312	7	6			

Notas Generales

Tamaño Máximo, mm 25.000
(Curva Máxima D.)

Agregado, Base D (PROINCO)



Evaluación de Granulometría de Agregado Propuesto "Fino Triturado"

Realizó: Br. Jarling R - Br. Karen R

Fecha: 11/10/2019

Revisó: Ing. Oscar Cerda

Material menor a 75- μ m (No. 200) en suelos (por lavado); AASHTO T-11.

Número de Muestra	1	2	3
ID. Recipiente	A	B	
M. Inicial Húmeda, g	1,414.1	1,613.0	

Descripción del Agregado:

Agregado 9.5 mm, Fino Triturado (HOLCIM)

Cálculo de Humedad

ID. Recipiente	T-1	T-2	
Masa Húmeda, g	662.0	462.6	
Masa Seca, g	659.3	460.0	
Humedad, %	0.4	0.6	
Masa Inicial Seca, g	1,408.5	1,603.4	

Cálculo de pérdidas por lavado

Número de Muestra	1	2	3
Masa de muestra lavada y seca, g	1,408.5	1,603.4	
Masa de pérdidas por lavado, g	0.0	0.0	
Masa cribada menor a 75- μ m, g	207.0	238.0	
Masa total menor a 75- μ m, g	207.0	238.0	

Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos; AASHTO T-27

ASTM E11		M. retenidas de cada muestra analizada			Muestra # 1		Muestra # 2		Muestra # 3		PROMEDIO
Tamices		1	2	3	M. Ret. Acum.	Material Pasa	M. Ret. Acum.	Material Pasa	M. Ret. Acum.	Material Pasa	MAT. PASA
Pulgadas	mm	g	g	g	%	%	%	%	%	%	%
1 1/2"	37.5	0.0	0.0		0.0	100	0.0	100			100
1"	25.000	0.0	0.0		0.0	100	0.0	100			100
3/4"	19.000	0.0	0.0		0.0	100	0.0	100			100
1/2"	12.500	0.0	0.0		0.0	100	0.0	100			100
3/8"	9.500	0.0	0.0		0.0	100.0	0.0	100			100
No. 4	4.750	17.7	24.6		1.3	99.0	1.5	99			99
No. 10	2.000	366.2	430.2		27.3	73.0	28.3	72			73
No. 40	0.425	521.1	570.3		64.3	36.0	63.9	36			36
No. 200	0.075	295.8	340.0		85.3	15.0	85.1	15.0			15.0
Fondo	-	207.0	238.0		100.0	-	99.9	-			-
Verificación de ensayo (AASHTO)		1,407.8	(1S)<0.27		-	0.05	-	0.02			-

Evaluación de Granulometría de Agregado Propuesto "Fino Triturado"

Realizó: Br. Jarling R - Br. Karen R

Fecha: 11/10/2019

Revisó: Ing. Oscar Cerda

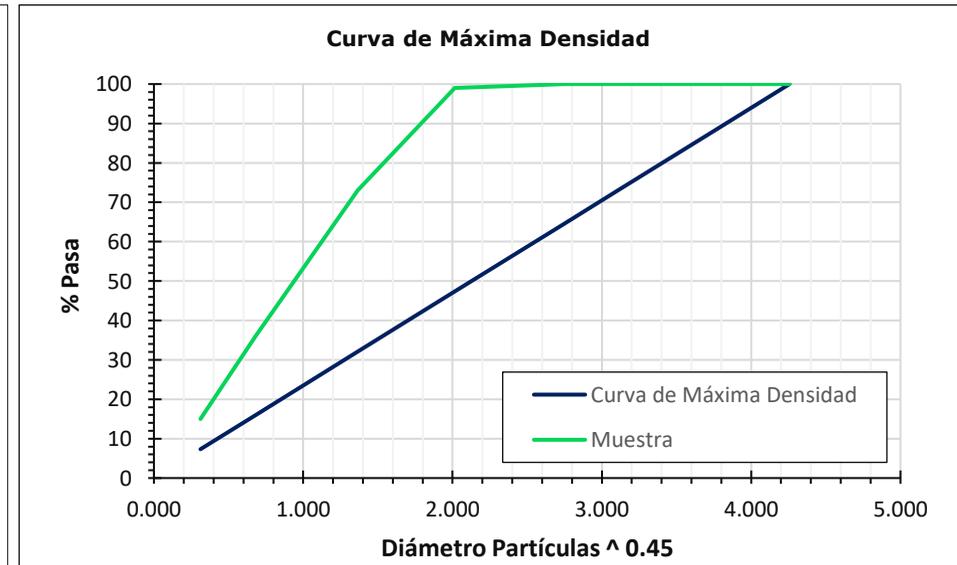
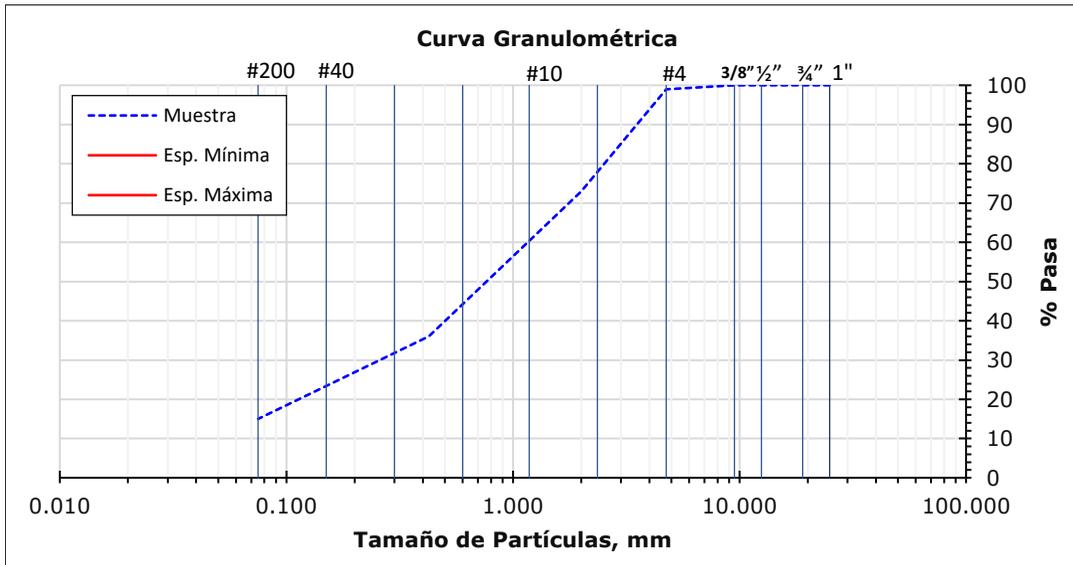
Curva granulométrica evaluada y curva de máxima densidad

ASTM E11			Máxima Densidad	Resultado	REQUERIMIENTOS DE GRADUACION		
Pulgadas	mm	$\wedge 0.45$		Muestra	Tol. Mín.	Curva ideal	Tol. Máx.
1 1/2"	37.5	5.109	100	100			
1"	25.000	4.257	100	100			
3/4"	19.000	3.762	88	100			
1/2"	12.500	3.116	73	100			
3/8"	9.500	2.754	65	100			
No. 4	4.750	2.016	47	99			
No. 10	2.000	1.366	32	73			
No. 40	0.425	0.680	16	36			
No. 200	0.075	0.312	7	15			

Notas Generales

Tamaño Máximo, mm 25.000
(Curva de Máxima Densidad)

Agregado 9.5 mm, Fino Triturado (HOLCIM)



Evaluación de Granulometría de Agregado Propuesto "37.5 mm"

Realizó: Br. Jarling R - Br. Karen R

Fecha: 11/10/19

Revisó: Ing. Oscar Cerda

Material menor a 75- μ m (No. 200) en suelos (por lavado); AASHTO T-11.

Número de Muestra	1	2	3
ID. Recipiente	A	B	
M. Inicial Húmeda, g	5,643.6	4,786.5	

Descripción del Agregado:

Agregado 37.5mm, (AGRENIC)

Cálculo de Humedad

ID. Recipiente	T-1	T-2	
Masa Húmeda, g	598.6	462.5	
Masa Seca, g	598.0	461.9	
Humedad, %	0.1	0.1	
Masa Inicial Seca, g	5,638.0	4,781.7	

Cálculo de pérdidas por lavado

Número de Muestra	1	2	3
Masa de muestra lavada y seca, g	5,600.7	4,736.0	
Masa de pérdidas por lavado, g	37.3	45.7	
Masa cribada menor a 75- μ m, g	13.6	16.0	
Masa total menor a 75- μ m, g	50.9	61.7	

Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos; AASHTO T-27

ASTM E11		M. retenidas de cada muestra analizada			Muestra # 1		Muestra # 2		Muestra # 3		PROMEDIO
Tamices		1	2	3	M. Ret. Acum.	Material Pasa	M. Ret. Acum.	Material Pasa	M. Ret. Acum.	Material Pasa	MAT. PASA
Pulgadas	mm	g	g	g	%	%	%	%	%	%	%
1 1/2"	37.5	0.0	0.0		0.0	100	0.0	100			100
1"	25.000	1,244.9	1,080.3		22.1	78	22.6	77			78
3/4"	19.000	1,675.7	1,460.8		51.8	48	53.1	47			48
1/2"	12.500	1,561.2	1,250.5		79.5	21	79.3	21			21
3/8"	9.500	491.4	400.4		88.2	12.0	87.7	12			12
No. 4	4.750	370.6	320.5		94.8	5.2	94.4	6			5
No. 10	2.000	160.8	140.0		97.7	2.3	97.3	3			3
No. 40	0.425	50.9	27.0		98.6	1.4	97.9	2			2
No. 200	0.075	31.6	40.2		99.2	0.8	98.7	1.3			1.1
Fondo	-	13.6	16.0		100.1	-	100.0	-			-
Verificación de ensayo (AASHTO T-27; Sección 11)				(1S)<0.27	-	0.00	-	0.01			-



Evaluación de Granulometría de Agregado Propuesto "37.5 mm"

Realizó: Br. Jarling R - Br. Karen R

Fecha: 11/10/19

Revisó Ing. Oscar Cerda

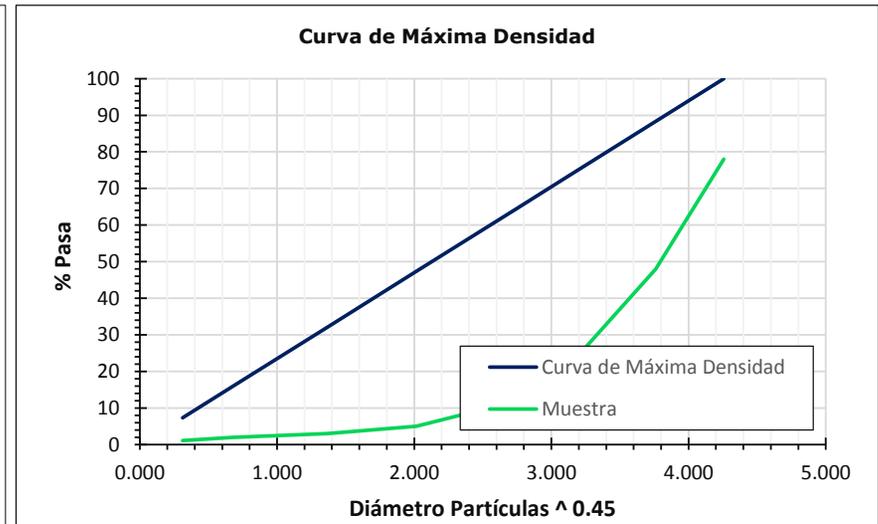
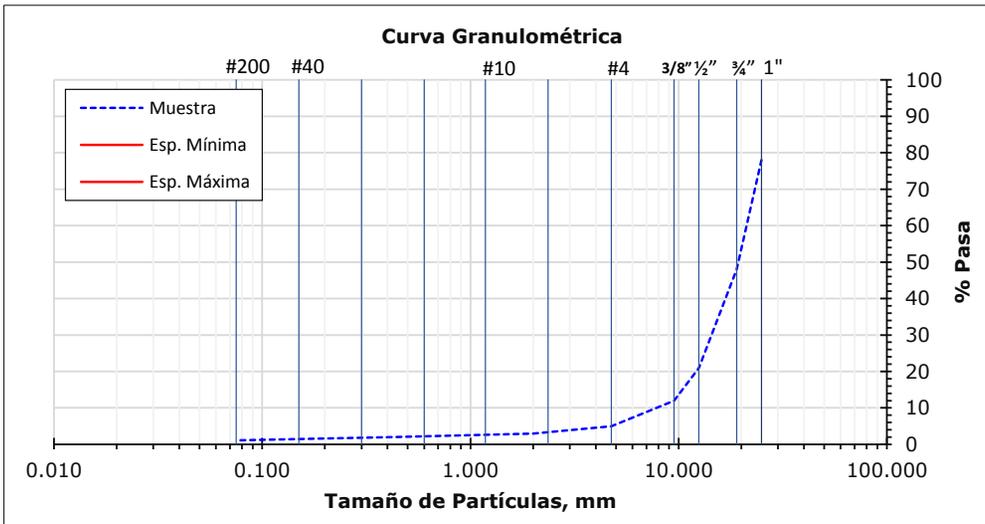
Curva granulométrica evaluada y curva de máxima densidad

ASTM E11			Máxima Densidad	Resultado	REQUERIMIENTOS DE GRADUACION		
Pulgadas	mm	$\wedge 0.45$		Muestra	Tol. Mín.	Curva ideal	Tol. Máx.
1 1/2"	37.5	5.109	100	100			
1"	25.000	4.257	100	78			
3/4"	19.000	3.762	88	48			
1/2"	12.500	3.116	73	21			
3/8"	9.500	2.754	65	12			
No. 4	4.750	2.016	47	5			
No. 10	2.000	1.366	32	3			
No. 40	0.425	0.680	16	2			
No. 200	0.075	0.312	7	1			

Notas Generales

Tamaño Máximo, mm **25.000**

Agregado 37.5mm, (AGRENIC)



UNAN - MANAGUA

ANEXO 4

Evaluación de la influencia que tiene la graduación del material pétreo en la resistencia a compresión simple no confinada y tensión indirecta de una mezcla de agregados minerales, emulsión asfáltica CSS1 y cemento Portland.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN-MANAGUA

Combinación de Agregados (Graduación Fina)



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua Fecha: 25/05/20 Código: ---

Actividad: Base estabilizada con emulsión asfáltica Diseño: Jarling R, Karen R Revisó: Ing. Oscar C.

Resumen de Propiedades de Agregados Minerales Propuestos Para Combinación

ASTM E11		% de material que pasa		
Pulgadas	mm	RAP	Fino Triturado	
1 1/2"	37.500	100	100	
1"	25.000	97	100	
3/4"	19.000	93	100	
1/2"	12.500	85	100	
3/8"	9.500	79	100	
No. 4	4.750	60	99	
No. 8	2.360	41	77	
No. 10	2.000	38	73	
No. 30	0.600	19	41	
No. 40	0.425	15	36	
No. 200	0.075	6	15.0	

Notas:

Densidad Relativa, Absorción y Pesos Unitarios de Agregados			
Propiedad	RAP	Fino Triturado	
G _{sb}			
G _{ssd}			
G _{sa}			
Absorción, %			
PVSS, kg/m ³			
PVSC, kg/m ³			
Vacíos, %			

Notas

PVSS (Peso Volumétrico Seco Suelto) [AASHTO T 19]

PVSC (Peso Volumétrico Seco Compacto) [AASHTO T 19]

Vacíos calculados a partir de PVSS [AASHTO T 19]

Composición de Emulsión Asfáltica	
Contenido de agua, %	0.4
Contenido de asfalto residual, %	0.6

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN Managua

CONTROL DE CALIDAD Y DISEÑOS DE MATERIALES



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: **Trabajo Monografico UNAN - Managua** Fecha: **25/05/20** Código: **---**

Combinaciones teóricas

Fracción	T. Máximo	Combinación 1	Combinación 2	Combinación 3	Combinación 4	Combinación 5	Combinación 6	Notas
Fino	RAP	70	80					Combinaciones propuestas por método analítico
Intermedio	Fino Triturado	30	20					
Grueso								
Combinación	100%	100	100					
G_{sb} de Agregados Combinados								
G_{sa} de Agregados Combinados								
Absorción Combinada, %								
Superficie Específica Agregados								

ASTM E-11		Combinaciones de Pruebas						Especificaciones FOMAV	
Pulgadas	mm	% de Material que pasa						Tol. Mínima	Tol. Máxima
1 1/2"	37.500	100	100					100	100
1"	25.000	98	98					75	100
3/4"	19.000	95	94					65	100
1/2"	12.500	90	88					---	---
3/8"	9.500	85	83					---	---
No. 4	4.750	72	68					30	60
No. 8	2.360	52	48					---	---
No. 10	2.000	49	45					20	45
No. 30	0.600	26	23					---	---
No. 40	0.425	21	19					10	30
No. 200	0.075	8.4	7.4					5	20



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

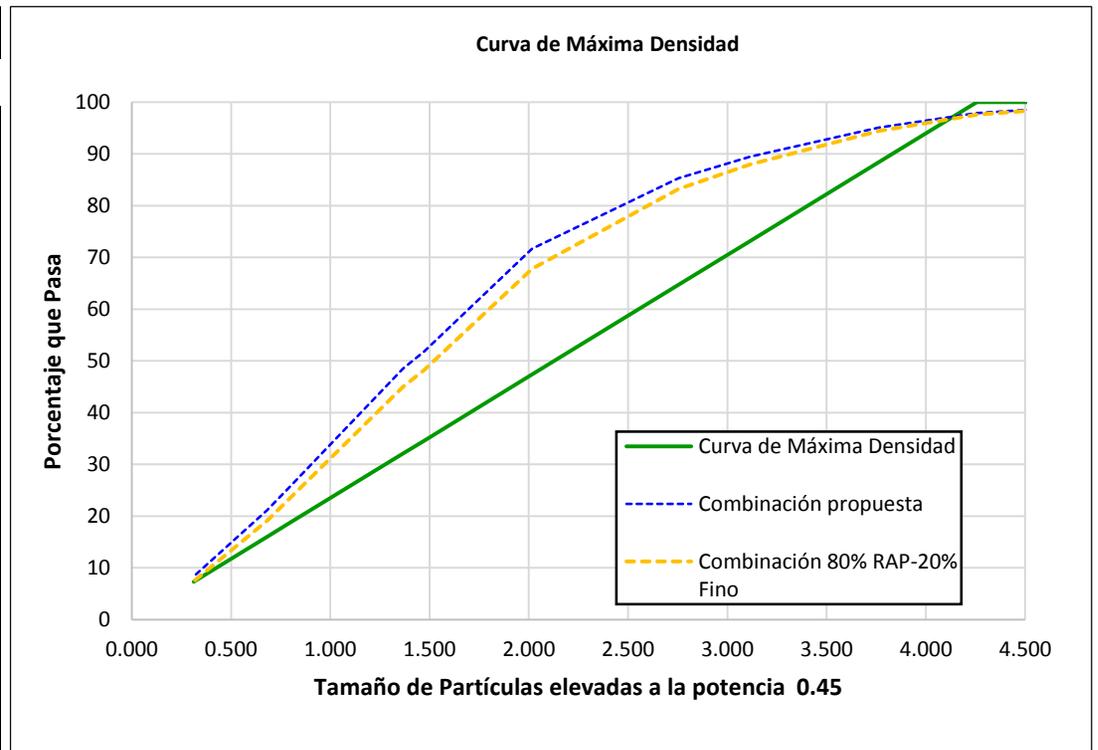
Fecha: 25/05/20

Código: ---

Curva de máxima densidad

Tamaño Máximo Agregado, mm 25.000

Tamices			Curva
Pulgadas	mm	$\wedge 0.45$	Máx
1 1/2"	37.500	5.109	100
1"	25.000	4.257	100
3/4"	19.000	3.762	88
1/2"	12.500	3.116	73
3/8"	9.500	2.754	65
No. 4	4.750	2.016	47
No. 8	2.360	1.472	35
No. 10	2.000	1.366	32
No. 30	0.600	0.795	19
No. 40	0.425	0.680	16
No. 200	0.075	0.312	7



Notas:



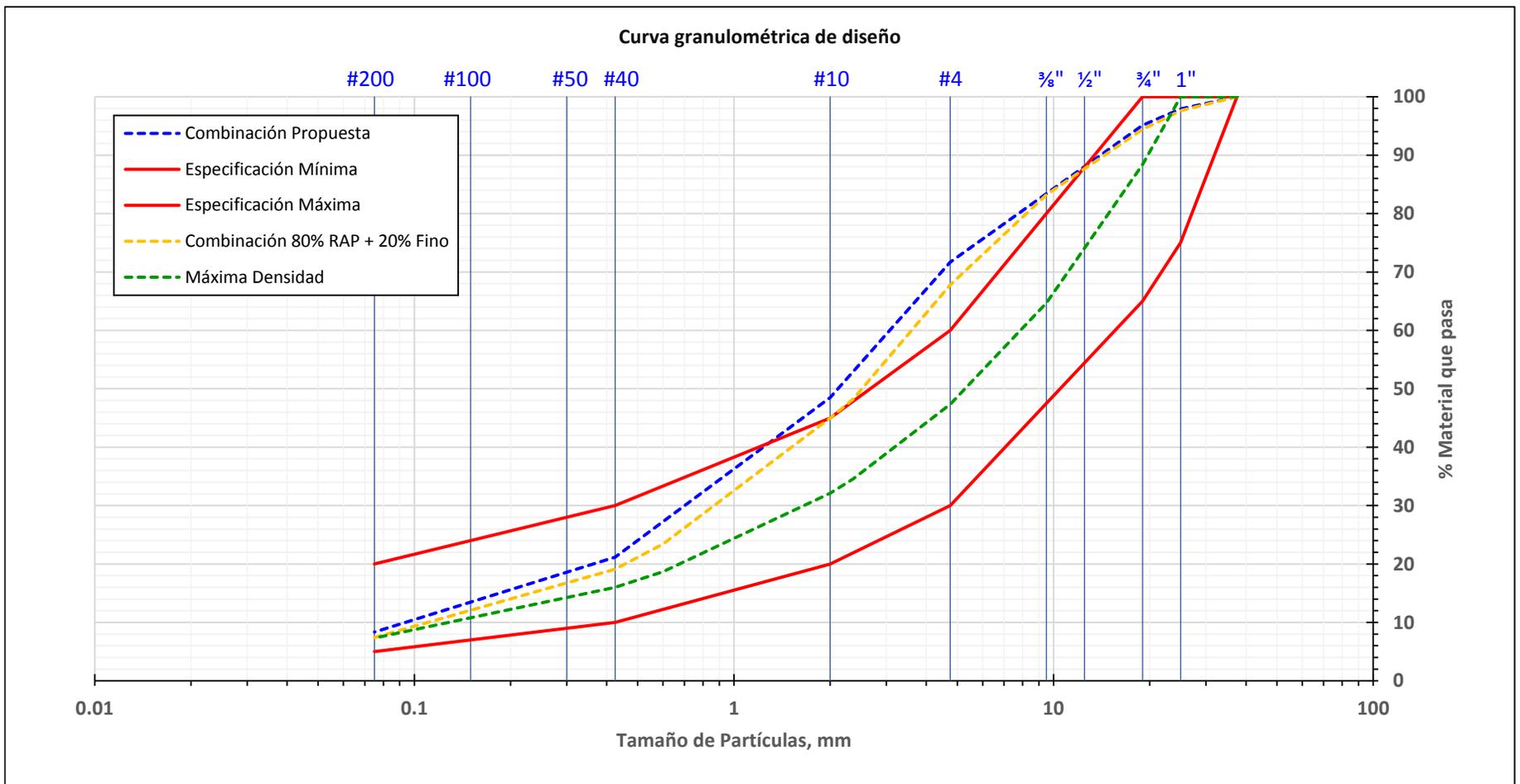
COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Curvas granulométricas de combinaciones propuestas





COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Cálculo de bachadas de pruebas para laboratorio

Tipo de Especímen	φ Molde, mm	Altura Molde, mm	Volumen cm ³	Cantidad Especímenes	Desperdicio, %	Factor Desperdicio	ρ Seca Máxima Estimada, kg/m ³	Masa para bachada, g
Compresión simple	101.0	118.0	952	1	30.00	1.300	2,300	2,846.5

No. Fracción	Fracción de Agregados		Materiales, %	
			RAP	Fino Triturado
1	Ret. 3/4"	Ret. 19.0 mm	7	0
3	3/4"(19.0 mm)	1/2"(12.50 mm)	8	0
4	1/2"(12.50 mm)	No.4 (4.75 mm)	25	1
6	Pasa No. 4	Pasa 4.75 mm	60	99
-----	% total por agregados		100	100

Materiales, masas en g		
RAP	Fino Triturado	
130.8	0.0	
149.5	0.0	
467.3	8.0	
1,121.4	793.0	
1,869.0	801.0	

Granulometría de diseño:	Combinación 1	% materiales [Masa]	Masa de materiales g
Componentes	% Agregados		
Emulsión Asfáltica	-----	4.7	133.8
Contenido de Agregados, [P _s]	-----	93.8	2,670.0
RAP	70	65.7	1,869.0
Fino Triturado	30	28.1	801.0
	0	0.0	0.0
Cemento Portland	-----	1.5	42.7

Resumen:

RAP	1,869.0
Fino Triturado	801.0
	0.0
Cemento Portland	42.7
Emulsión Asfáltica	133.8
Total de Mezcla:	2,846.5



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Cálculo del contenido óptimo de fluidos

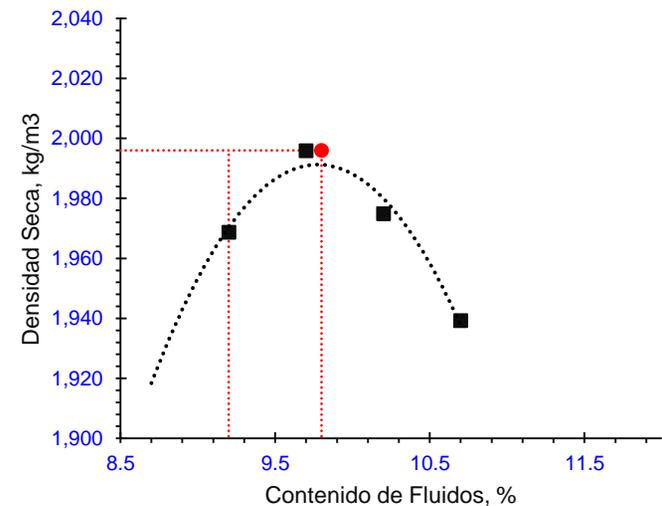
No. de punto	1	2	3	4
Agua de premezclado, %	4.5	4.5	4.5	4.5
Agua adicional, %	0.0	0.5	1.0	1.5
Agua de premezclado, g	122.1	122.1	122.1	122.1
Contenido de Agregados [P_s], g	2,670.0	2,670.0	2,670.0	2,670.0
Cemento Portland	42.7	42.7	42.7	42.7
Emulsión Asfáltica, g	133.8	133.8	133.8	133.8
Agua adicional, g	0.0	13.6	27.1	40.7
Humedad teórica, %	6.5	7.0	7.5	8.0
Contenido Total de Fluidos, %	9.2	9.7	10.2	10.7

Características del molde	
Masa, g	3,950.1
Volumen, cm ³	952.0

Densidad Seca Máxima, kg/m ³	1,996
Contenido Óptimo de Fluidos, %	9.8
Humedad Óptima, %	9.5

Masa húmeda del material, g	205.1	174.8	199.9	206.5
Masa seca del material, g	189.3	158.8	180.6	186.0
Contenido de agua, %	8.3	10.1	10.7	11.0

Molde + Material Húmedo, g	5,981.1	6,041.6	6,031.6	6,000.0
Material húmedo, g	2,031.0	2,091.5	2,081.5	2,049.9
Densidad húmeda, kg/m ³	2,133	2,197	2,186	2,153
Densidad seca, kg/m ³	1,969	1,996	1,975	1,939





COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Dosificación para ensayo de resistencia a compresión simple

No. de punto	1
Asfalto residual, %	2.0
Agua de premezclado, %	4.5
Contenido de Cemento, %	1.5
Emulsión Asfáltica, % Mezcla	3.3
Contenido de Agregados [P_s], %	95.2
Total	100
Agua para alcanzar OFC, %	2.0
Evaluación	Agregar

Fracción de Agregados		Materiales, %		
-----	-----	RAP	Fino Triturado	
Ret. 3/4"	Ret. 19.0 mm	116.6	0.0	
3/4"(19.0 mm)	1/2"(12.50 mm)	133.2	0.0	
1/2"(12.50 mm)	No.4 (4.75 mm)	416.3	7.2	
Pasa No. 4	Pasa 4.75 mm	999.0	707.9	
Total agregados		1,665.1	715.1	

Masa para una bachada, g	2,500	ok
--------------------------	--------------	-----------

Granulometría de diseño:	Combinación 1	% materiales [Masa]	Masa de materiales g
Componentes	% Agregados		
Emulsión Asfáltica	-----	3.3	82.5
Contenido de Agregados, [P_s]	-----	95.2	2,380.0
RAP	70	66.6	1,665.0
Fino Triturado	30	28.6	715.0
	0	0.0	0.0
Cemento Portland	-----	1.5	37.5

Resumen:

RAP	1,665.0
Fino Triturado	715.0
	0.0
Cemento Portland	37.5
Emulsión Asfáltica	82.5
Total de Mezcla:	2,500.0

Agua Preenvuelta: 108.8

Agua Adicional: 48.4



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Dosificación para ensayo de resistencia a compresión simple

No. de punto	2
Asfalto residual, %	2.5
Agua de premezclado, %	4.5
Contenido de Cemento, %	1.5
Emulsión Asfáltica, % Mezcla	4.2
Contenido de Agregados [P_s], %	94.3
Total	100
Agua para alcanzar OFC, %	1.1
Evaluación	Agregar

Fracción de Agregados		Materiales, %		
-----	-----	RAP	Fino Triturado	
Ret. 3/4"	Ret. 19.0 mm	115.5	0.0	
3/4"(19.0 mm)	1/2"(12.50 mm)	132.0	0.0	
1/2"(12.50 mm)	No.4 (4.75 mm)	412.5	7.1	
Pasa No. 4	Pasa 4.75 mm	990.0	700.4	
Total agregados		1,650	708	

Masa para una bachada, g	2,500	ok
--------------------------	--------------	-----------

Granulometría de diseño:	Combinación 1	% materiales [Masa]	Masa de materiales g
Componentes	% Agregados		
Emulsión Asfáltica	-----	4.2	105.0
Contenido de Agregados, [P_s]	-----	94.3	2,357.5
RAP	70	66.0	1,650.0
Fino Triturado	30	28.3	707.5
	0	0.0	0.0
Cemento Portland	-----	1.5	37.5

Resumen:

RAP	1,650.0
Fino Triturado	707.5
	0.0
Cemento Portland	37.5
Emulsión Asfáltica	105.0
Total de Mezcla:	2,500.0

Agua Preenvuelta: 107.8

Agua Adicional: 26.3



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto:

Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha:

25/05/20

Código:

Resistencia a la compresión simple no confinada

	GRUPO SECO				GRUPO CONDICIONADO	
	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020
Fecha de Moldeo	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020
Edad (días)	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020
Masa de molde, g	3,661.0	3,671.2	3,950.1	4,297.8	4,297.8	3,671.2
Volumen de molde cm ³	939.7	939.7	952.0	937.4	937.4	939.7
Masa Muestra + Molde, g	5,777.7	5,745.6	6,015.5	6,381.2	6,357.9	5,740.9
Masa Húmeda, g	336.5	336.5	336.5	336.5	336.5	336.5
Masa Seca, g	306.3	306.3	306.3	306.3	306.3	306.3
Humedad, %	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
ρ Seca, kg/m ³	2,050	2,009	1,975	2,023	2,000	2,005
G. Compactación, %	102.7	100.7	98.9	101.4	100.2	100.4
φ de espécimen, mm	102.0	102.0	102.0	101.0	101.0	102.0
Área de espécimen, cm ²	81.7	81.7	81.7	80.1	80.1	81.7
Carga Máxima, KN	12.922	15.239	15.576	15.494	16.219	16.321
Carga Máxima, lbf	2,905	3,426	3,502	3,483	3,646	3,669
Carga Máxima, kgf	1,320	1,557	1,592	1,583	1,657	1,668
R. Compresión, Mpa	1.6	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0
R. Compresión, kg/cm ²	16	19	19	20	21	20
R. Compresión, psi	230	271	277	281	294	290

Composición de la mezcla: 70% RAP + 30% Fino Triturado + 0% + 2% de asfalto residual + 1.5% de cemento Portland



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Resistencia a la compresión simple no confinada

	GRUPO SECO					
Fecha de Moldeo	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020
Edad (días)	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020
Masa de molde, g	3,661.0	3,671.2	3,950.1	4,297.8	3,661.0	3,671.2
Volumen de molde cm ³	939.7	939.7	952.0	937.4	939.7	939.7
Masa Muestra + Molde, g	5,744.7	5,718.9	6,012.8	6,356.7	5,684.0	5,724.2
Masa Húmeda, g	267.8	267.8	267.8	267.8	267.8	267.8
Masa Seca, g	244.4	244.4	244.4	244.4	244.4	244.4
Humedad, %	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6
ρ Seca, kg/m ³	2,024	1,989	1,977	2,004	1,965	1,994
G. Compactación, %	101.4	99.6	99.1	100.4	98.4	99.9
φ de espécimen, mm	102.0	102.0	102.0	101.0	102.0	102.0
Área de espécimen, cm ²	81.7	81.7	81.7	80.1	81.7	81.7
Carga Máxima, KN	13.618	14.051	15.053	16.476	15.158	14.124
Carga Máxima, lbf	3,061	3,159	3,384	3,704	3,408	3,175
Carga Máxima, kgf	1,392	1,436	1,538	1,684	1,549	1,443
R. Compresión, Mpa	1.7	1.7	1.8	2.1	1.9	1.7
R. Compresión, kg/cm ²	17	18	19	21	19	18
R. Compresión, psi	242	250	267	299	269	251

Composición de la mezcla: 70% RAP + 30% Fino Triturado + 0% + 2.5% de asfalto residual + 1.5% de cemento Portland



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: **Trabajo Monografico UNAN - Managua**

Fecha: **25/05/20**

Código: **---**

Resistencia a la compresión simple no confinada

	GRUPO SECO					
Fecha de Moldeo	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020
Edad (días)	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020
Masa de molde, g	3,661.0	3,671.2	3,950.1	4,297.8	3,661.0	3,671.2
Volumen de molde cm ³	939.7	939.7	952.0	937.4	939.7	939.7
Masa Muestra + Molde, g	5,746.2	5,725.7	5,997.4	6,366.4	5,735.6	5,694.3
Masa Húmeda, g	302.2	302.2	302.2	302.2	302.2	302.2
Masa Seca, g	276.1	276.1	276.1	276.1	276.1	276.1
Humedad, %	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
ρ Seca, kg/m ³	2,027	1,998	1,965	2,016	2,017	1,967
G. Compactación, %	101.6	100.1	98.4	101.0	101.1	98.5
ϕ de espécimen, mm	102.0	102.0	102.0	101.0	102.0	102.0
Área de espécimen, cm ²	81.7	81.7	81.7	80.1	81.7	81.7
Carga Máxima, KN	16.712	15.736	15.308	14.788	14.674	16.748
Carga Máxima, lbf	3,757	3,538	3,441	3,324	3,299	3,765
Carga Máxima, kgf	1,708	1,608	1,564	1,511	1,499	1,711
R. Compresión, Mpa	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	2.0
R. Compresión, kg/cm ²	21	20	19	19	18	21
R. Compresión, psi	297	280	272	268	261	298

Composición de la mezcla: 70% RAP + 30% Fino Triturado + 0% + 3% de asfalto residual + 1.5% de cemento Portland



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Resistencia a la Tensión Indirecta

	GRUPO SECO				GRUPO ACONDICIONADO	
	26/04/20	26/04/20	26/04/20	26/04/20	26/04/20	26/04/20
Fecha de Moldeo	26/04/20	26/04/20	26/04/20	26/04/20	26/04/20	26/04/20
Edad (días)	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	10/05/20	10/05/20	10/05/20	10/05/20	10/05/20	10/05/20
Masa de molde, g	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Volumen de molde cm ³	504.75	504.75	500.74	508.75	504.75	500.74
Masa Muestra + Molde, g	4130	4130	4130	4130	4130	4130
Masa Húmeda, g	325	325	325	325	325	325
Masa Seca, g	296.4	296.4	296.4	296.4	296.4	296.4
Humedad, %	9.65	9.65	9.65	9.65	9.65	9.65
ρ Seca, kg/m ³	2041.7	2041.7	2058.1	2025.7	2041.7	2058.1
G. Compactación, %	102.3	102.3	103.1	101.5	102.3	103.1
φ de espécimen, mm	101	101	101	101	101	101
Altura del Especímen, mm	63	63	62.5	63.5	63	62.5
Área de espécimen, cm ²	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1
Carga Máxima, KN	2.656	2.733	2.685	2.705	2.877	2.784
Carga Máxima, lbf	597.1	614.4	603.6	608.1	646.8	625.9
Carga Máxima, kgf	271.4	279.3	274.4	276.4	294.0	284.5
R. Tensión, Kpa	265.7	273.4	270.8	268.5	287.8	280.8
R. Tensión, kg/cm ²	3.4	3.5	3.4	3.5	3.7	3.6
R. Tensión, psi	48.1	49.5	48.7	49.0	52.1	50.4

Composición de la mezcla: 70%RAP + 30%Fino Triturado + 2%de asfalto residual + 1.5%de cemento Portland



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Resistencia a la Tensión Indirecta

	GRUPO SECO					
Fecha de Moldeo	26/04/20	26/04/20	26/04/20	26/04/20	26/04/20	26/04/20
Edad (días)	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	10/05/20	10/05/20	10/05/20	10/05/20	10/05/20	10/05/20
Masa de molde, g	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Volumen de molde cm ³	512.76	504.75	504.75	504.75	512.76	500.74
Masa Muestra + Molde, g	4130	4130	4130	4130	4130	4130
Masa Húmeda, g	302.4	302.4	302.4	302.4	302.4	302.4
Masa Seca, g	275.3	275.3	275.3	275.3	275.3	275.3
Humedad, %	9.84	9.84	9.84	9.84	9.84	9.84
ρ Seca, kg/m ³	2006.3	2038.1	2038.1	2038.1	2006.3	2054.4
G. Compactación, %	100.5	102.1	102.1	102.1	100.5	102.9
φ de espécimen, mm	101	101	101	101	101	101
Altura de Epecímen, mm	64	63	63	63	64	62.5
Área de espécimen, cm ²	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1
Carga Máxima, KN	3.431	3.15	3.276	3.099	3.285	3.193
Carga Máxima, lbf	771.3	708.1	736.5	696.7	738.5	717.8
Carga Máxima, kgf	350.6	321.9	334.8	316.7	335.7	326.3
R. Tensión, Kpa	337.9	315.2	327.8	310.1	323.5	322.0
R. Tensión, kg/cm ²	4.4	4.0	4.2	4.0	4.2	4.1
R. Tensión, psi	62.2	57.1	59.4	56.2	59.5	57.9

Composición de la mezcla: 70%RAP+30%Fino Triturado+2.5%de asfalto residual+1.5%de cemento Portland



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Resistencia a la Tensión Indirecta

	GRUPO SECO					
Fecha de Moldeo	26/04/20	26/04/20	26/04/20	26/04/20	26/04/20	26/04/20
Edad (días)	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	10/05/20	10/05/20	10/05/20	10/05/20	10/05/20	10/05/20
Masa de molde, g	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Volumen de molde cm ³	504.75	504.75	512.76	500.74	504.75	512.76
Masa Muestra + Molde, g	4130	4130	4130	4130	4130	4130
Masa Húmeda, g	296.1	296.1	296.1	296.1	296.1	296.1
Masa Seca, g	269.9	269.9	269.9	269.9	269.9	269.9
Humedad, %	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7
ρ Seca, kg/m ³	2040.6	2040.6	2008.8	2057.0	2040.6	2008.8
G. Compactación, %	102.2	102.2	100.6	103.1	102.2	100.6
φ de espécimen, mm	101	101	101	101	101	101
Altura de espécimen, mm	63	63	64	62.5	63	64
Área de espécimen, cm ²	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1
Carga Máxima, KN	3.144	3.379	3.114	3.424	3.275	3.255
Carga Máxima, lbf	706.8	759.6	700.1	769.7	736.2	731.8
Carga Máxima, kgf	321.3	345.3	318.2	349.9	334.7	332.6
R. Tensión, Kpa	314.6	338.1	306.7	345.3	327.7	320.6
R. Tensión, kg/cm ²	4.0	4.3	4.0	4.4	4.2	4.2
R. Tensión, psi	57.0	61.2	56.4	62.0	59.3	59.0

Composición de la mezcla: 70%RAP + 30%Fino Triturado + 3%de asfalto residual + 1.5%de cemento Portland

UNAN - MANAGUA

ANEXO 5

Evaluación de la influencia que tiene la graduación del material pétreo en la resistencia a compresión simple no confinada y tensión indirecta de una mezcla de agregados minerales, emulsión asfáltica CSS1 y cemento Portland.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN-MANAGUA

Combinación de Agregados (Graduación Densa)



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monográfico UNAN - Managua Fecha: 25/05/20 Código: ---

Actividad: Base estabilizada con emulsión asfáltica Diseño: Jarling R, Karen R Revisó: Ing. Oscar C.

Resumen de Propiedades de Agregados Minerales Propuestos Para Combinación

ASTM E11		% de material que pasa		
Pulgadas	mm	RAP	Base D	
1 1/2"	37.500	100	100	
1"	25.000	97	97	
3/4"	19.000	93	85	
1/2"	12.500	85	69	
3/8"	9.500	79	59	
No. 4	4.750	60	39	
No. 8	2.360	41	29	
No. 10	2.000	38	25	
No. 30	0.600	19	16	
No. 40	0.425	15	12	
No. 200	0.075	6	6.0	

Notas:

Densidad Relativa, Absorción y Pesos Unitarios de Agregados			
Propiedad	RAP	Base D	
G _{sb}			
G _{ssd}			
G _{sa}			
Absorción, %			
PVSS, kg/m ³			
PVSC, kg/m ³			
Vacíos, %			

Notas

PVSS (Peso Volumétrico Seco Suelto) [AASHTO T 19]

PVSC (Peso Volumétrico Seco Compacto) [AASHTO T 19]

Vacíos calculados a partir de PVSS [AASHTO T 19]

Composición de Emulsión Asfáltica	
Contenido de agua, %	0.4
Contenido de asfalto residual, %	0.6

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN Managua

CONTROL DE CALIDAD Y DISEÑOS DE MATERIALES



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monográfico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Combinaciones teóricas

Fracción	T. Máximo	Combinación 1	Combinación 2	Combinación 3	Combinación 4	Combinación 5	Combinación 6	Notas
Fino	RAP	50	60	65				Combinaciones propuestas por método analítico
Intermedio	Base D	50	40	35				
Grueso								
Combinación	100%	100	100	100				
G_{sb} de Agregados Combinados								
G_{sa} de Agregados Combinados								
Absorción Combinada, %								
Superficie Específica Agregados								

ASTM E-11		Combinaciones de Pruebas						Especificaciones FOMAV	
Pulgadas	mm	% de Material que pasa						Tol. Mínima	Tol. Máxima
1 1/2"	37.500	100	100	100				100	100
1"	25.000	97	97	97				75	100
3/4"	19.000	89	90	90				65	100
1/2"	12.500	77	79	79				---	---
3/8"	9.500	69	71	72				---	---
No. 4	4.750	50	52	53				30	60
No. 8	2.360	35	36	37				---	---
No. 10	2.000	32	33	33				20	45
No. 30	0.600	18	18	18				---	---
No. 40	0.425	14	14	14				10	30
No. 200	0.075	5.8	5.7	5.7				5	20



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monográfico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

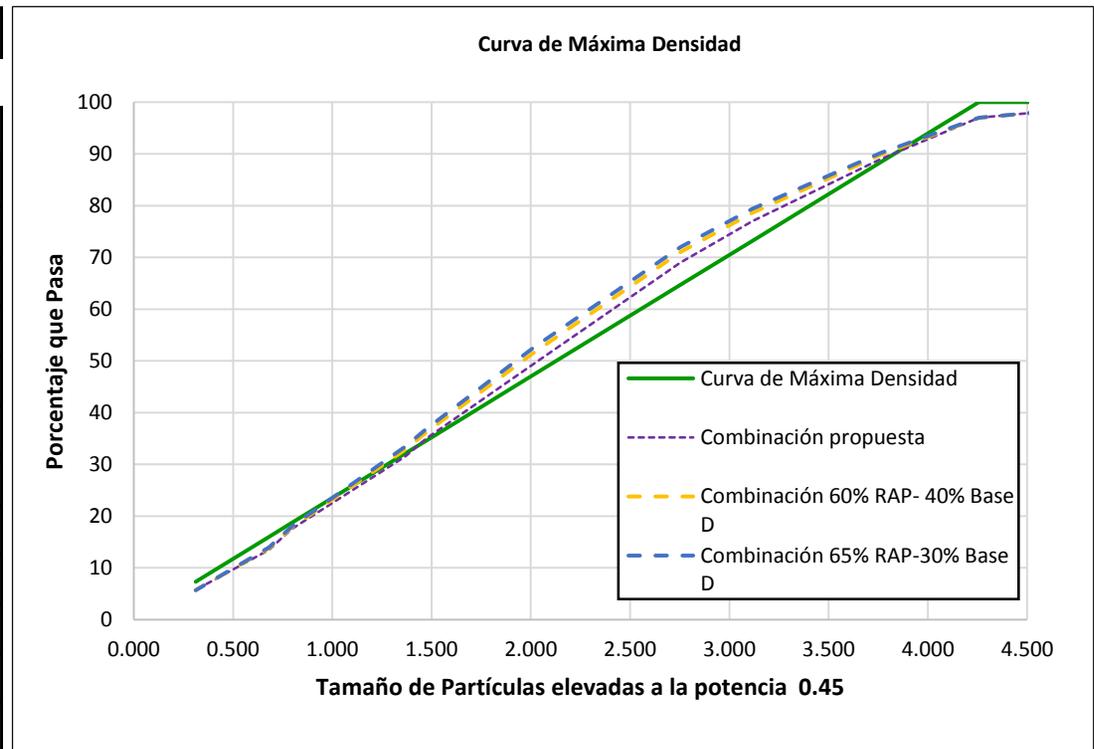
Código: ---

Curva de máxima densidad

Tamaño Máximo Agregado, mm

25.000

Tamices			Curva
Pulgadas	mm	$\wedge 0.45$	Máx
1 1/2"	37.500	5.109	100
1"	25.000	4.257	100
3/4"	19.000	3.762	88
1/2"	12.500	3.116	73
3/8"	9.500	2.754	65
No. 4	4.750	2.016	47
No. 8	2.360	1.472	35
No. 10	2.000	1.366	32
No. 30	0.600	0.795	19
No. 40	0.425	0.680	16
No. 200	0.075	0.312	7



Notas:



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto:

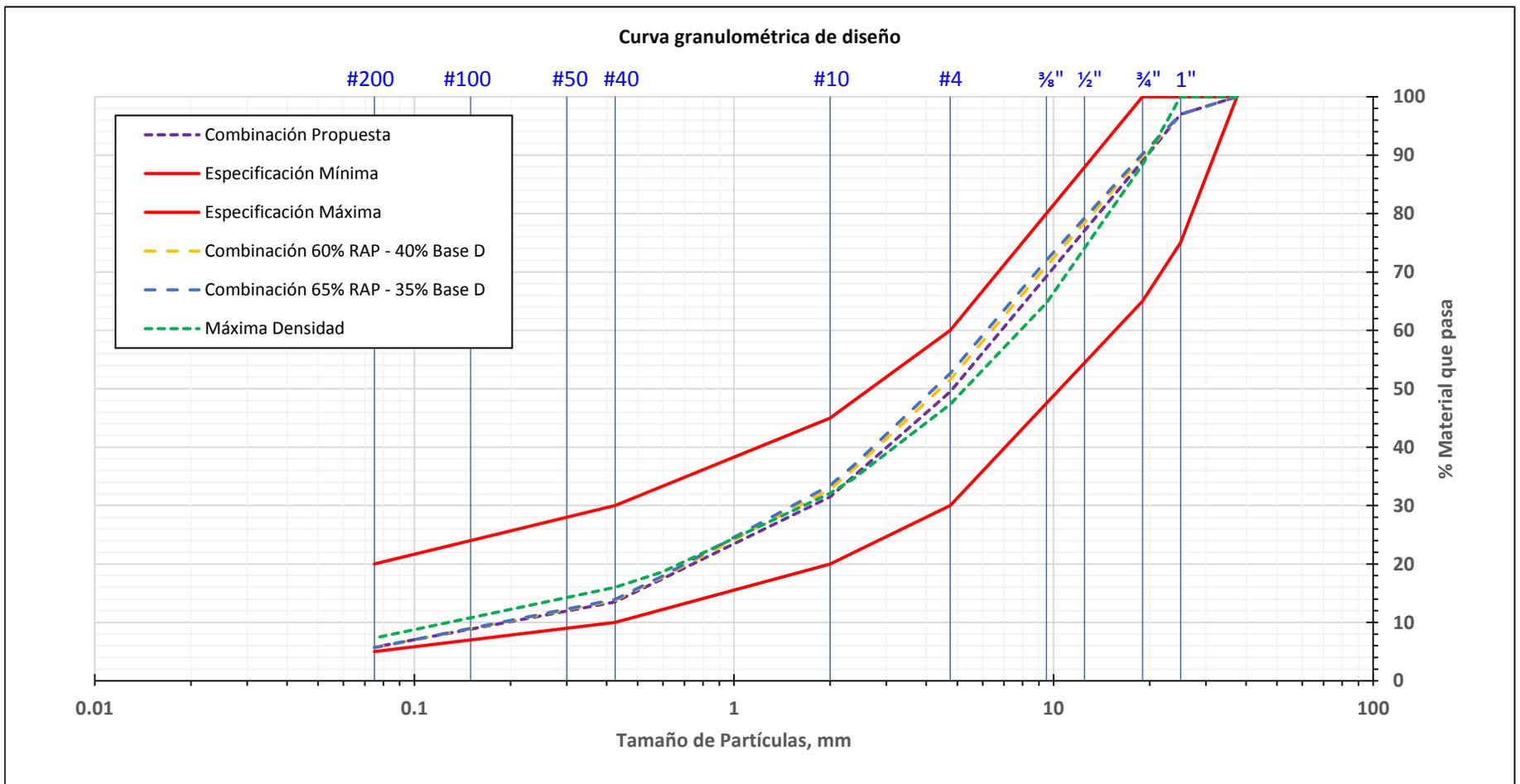
Trabajo Monográfico UNAN - Managua

Fecha:

25/05/20

Código:

Curvas granulométricas de combinaciones propuestas





COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monográfico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Cálculo de bachadas de pruebas para laboratorio

Tipo de Especímen	φ Molde, mm	Altura Molde, mm	Volumen cm ³	Cantidad Especímenes	Desperdicio, %	Factor Desperdicio	ρ Seca Máxima Estimada, kg/m ³	Masa para bachada, g
Compresión simple	101.0	118.0	952	1	30.00	1.300	2,300	2,846.5

No. Fracción	Fracción de Agregados		Materiales, %		
			RAP	Base D	
1	Ret. 3/4"	Ret. 19.0 mm	7	15	
3	3/4"(19.0 mm)	1/2"(12.50 mm)	8	16	
4	1/2"(12.50 mm)	No.4 (4.75 mm)	25	30	
6	Pasa No. 4	Pasa 4.75 mm	60	39	
-----	% total por agregados		100	100	

Materiales, masas en g		
RAP	Base D	
93.5	200.3	
106.8	213.6	
333.8	400.5	
801.0	520.7	
1,335.1	1,335.1	

Granulometría de diseño:	Combinación 1	% materiales [Masa]	Masa de materiales g
Componentes	% Agregados		
Emulsión Asfáltica	-----	4.7	133.8
Contenido de Agregados, [P _s]	-----	93.8	2,670.0
RAP	50	46.9	1,335.0
Base D	50	46.9	1,335.0
	0	0.0	0.0
Cemento Portland	-----	1.5	42.7

Resumen:

RAP	1,335.0
Base D	1,335.0
	0.0
Cemento Portland	42.7
Emulsión Asfáltica	133.8
Total de Mezcla:	2,846.5



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monográfico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Cálculo del contenido óptimo de fluidos

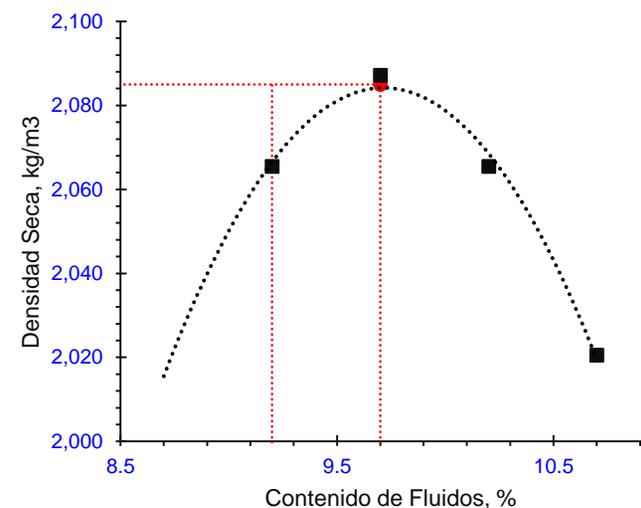
No. de punto	1	2	3	4
Agua de premezclado, %	4.5	4.5	4.5	4.5
Agua adicional, %	0.0	0.5	1.0	1.5
Agua de premezclado, g	122.1	122.1	122.1	122.1
Contenido de Agregados [P_s], g	2,670.0	2,670.0	2,670.0	2,670.0
Cemento Portland	42.7	42.7	42.7	42.7
Emulsión Asfáltica, g	133.8	133.8	133.8	133.8
Agua adicional, g	0.0	13.6	27.1	40.7
Humedad teórica, %	6.5	7.0	7.5	8.0
Contenido Total de Fluidos, %	9.2	9.7	10.2	10.7

Características del molde	
Masa, g	3,950.1
Volumen, cm ³	952.0

Densidad Seca Máxima, kg/m ³	2,085
Contenido Óptimo de Fluidos, %	9.7
Humedad Óptima, %	9.8

Masa húmeda del material, g	222.5	228.4	218.0	230.6
Masa seca del material, g	205.9	207.9	196.2	204.9
Contenido de agua, %	8.1	9.9	11.1	12.5

Molde + Material Húmedo, g	6,075.0	6,133.0	6,135.0	6,115.4
Material húmedo, g	2,124.9	2,182.9	2,184.9	2,165.3
Densidad húmeda, kg/m ³	2,232	2,293	2,295	2,274
Densidad seca, kg/m ³	2,065	2,087	2,066	2,021





COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monográfico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Dosificación para ensayo de resistencia a compresión simple

No. de punto	1
Asfalto residual, %	2.0
Agua de premezclado, %	4.5
Contenido de Cemento, %	1.5
Emulsión Asfáltica, % Mezcla	3.3
Contenido de Agregados [P_s], %	95.2
Total	100
Agua para alcanzar OFC, %	1.9
Evaluación	Agregar

Fracción de Agregados		Materiales, %		
-----	-----	RAP	Base D	
Ret. 3/4"	Ret. 19.0 mm	83.3	178.5	
3/4"(19.0 mm)	1/2"(12.50 mm)	95.2	190.4	
1/2"(12.50 mm)	No.4 (4.75 mm)	297.5	357.0	
Pasa No. 4	Pasa 4.75 mm	714.0	464.1	
Total agregados		1,190.0	1,190.0	

Masa para una bachada, g	2,500	ok
--------------------------	--------------	-----------

Granulometría de diseño:	Combinación 1	% materiales [Masa]	Masa de materiales g
Componentes	% Agregados		
Emulsión Asfáltica	-----	3.3	82.5
Contenido de Agregados, [P_s]	-----	95.2	2,380.0
RAP	50	47.6	1,190.0
Base D	50	47.6	1,190.0
	0	0.0	0.0
Cemento Portland	-----	1.5	37.5

Resumen:

RAP	1,190.0
Base D	1,190.0
	0.0
Cemento Portland	37.5
Emulsión Asfáltica	82.5
Total de Mezcla:	2,500.0

Agua Preenvuelta: 108.8

Agua Adicional: 45.9



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monográfico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Dosificación para ensayo de resistencia a compresión simple

No. de punto	2
Asfalto residual, %	2.5
Agua de premezclado, %	4.5
Contenido de Cemento, %	1.5
Emulsión Asfáltica, % Mezcla	4.2
Contenido de Agregados [P_s], %	94.3
Total	100
Agua para alcanzar OFC, %	1.0
Evaluación	Agregar

Fracción de Agregados		Materiales, %		
-----	-----	RAP	Base D	
Ret. 3/4"	Ret. 19.0 mm	82.6	177.0	
3/4"(19.0 mm)	1/2"(12.50 mm)	94.4	188.8	
1/2"(12.50 mm)	No.4 (4.75 mm)	295.0	354.0	
Pasa No. 4	Pasa 4.75 mm	708.0	460.2	
Total agregados		1,180	1,180	

Masa para una bachada, g	2,500	revisar
--------------------------	--------------	----------------

Granulometría de diseño:	Combinación 1	% materiales [Masa]	Masa de materiales g
Componentes	% Agregados		
Emulsión Asfáltica	-----	4.2	105.0
Contenido de Agregados, [P_s]	-----	94.3	2,357.5
RAP	50	47.2	1,180.0
Base D	50	47.2	1,180.0
	0	0.0	0.0
Cemento Portland	-----	1.5	37.5

Resumen:

RAP	1,180.0
Base D	1,180.0
	0.0
Cemento Portland	37.5
Emulsión Asfáltica	105.0
Total de Mezcla:	2,502.5

Agua Preenvuelta: 107.9

Agua Adicional: 24



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monográfico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Dosificación para ensayo de resistencia a compresión simple

No. de punto	3
Asfalto residual, %	3.0
Agua de premezclado, %	4.5
Contenido de Cemento, %	1.5
Emulsión Asfáltica, % Mezcla	5.0
Contenido de Agregados [P_s], %	93.5
Total	100
Agua para alcanzar OFC, %	0.2
Evaluación	Agregar

Fracción de Agregados		Materiales, %		
-----	-----	RAP	Base D	
Ret. 3/4"	Ret. 19.0 mm	81.9	175.5	
3/4"(19.0 mm)	1/2"(12.50 mm)	93.6	187.2	
1/2"(12.50 mm)	No.4 (4.75 mm)	292.5	351.0	
Pasa No. 4	Pasa 4.75 mm	702.0	456.3	
Total agregados		1,170	1,170	

Masa para una bachada, g	2,500	revisar
--------------------------	--------------	----------------

Granulometría de diseño:	Combinación 1	% materiales [Masa]	Masa de materiales g
Componentes	% Agregados		
Emulsión Asfáltica	-----	5.0	125.0
Contenido de Agregados, [P_s]	-----	93.5	2,337.5
RAP	50	46.8	1,170.0
Base D	50	46.8	1,170.0
	0	0.0	0.0
Cemento Portland	-----	1.5	37.5

Resumen:

RAP	1,170.0
Base D	1,170.0
	0.0
Cemento Portland	37.5
Emulsión Asfáltica	125.0
Total de Mezcla:	2,502.5

Agua Preenvuelta: 107

Agua Adicional: 4.7



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monográfico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Resistencia a la compresión simple no confinada

	GRUPO SECO				GRUPO CONDICIONADO	
	22/04/2020	22/04/2020	22/04/2020	22/04/2020	22/04/2020	22/04/2020
Fecha de Moldeo	22/04/2020	22/04/2020	22/04/2020	22/04/2020	22/04/2020	22/04/2020
Edad (días)	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	06/05/2020	06/05/2020	06/05/2020	06/05/2020	06/05/2020	06/05/2020
Masa de molde, g	3,661.0	3,671.2	3,950.1	4,297.8	3,661.0	4,297.8
Volumen de molde cm ³	939.7	939.7	952.0	937.4	939.7	937.4
Masa Muestra + Molde, g	5,780.1	5,790.9	6,072.0	6,411.6	5,776.6	6,409.5
Masa Húmeda, g	313.4	313.4	313.4	313.4	313.4	313.4
Masa Seca, g	286.4	286.4	286.4	286.4	286.4	286.4
Humedad, %	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4
ρ Seca, kg/m ³	2,061	2,061	2,037	2,061	2,057	2,059
G. Compactación, %	98.8	98.9	97.7	98.8	98.7	98.7
ϕ de espécimen, mm	102.0	102.0	102.0	101.0	101.0	102.0
Área de espécimen, cm ²	81.7	81.7	81.7	80.1	80.1	81.7
Carga Máxima, KN	12.890	12.709	13.289	13.201	13.235	13.596
Carga Máxima, lbf	2,898	2,857	2,987	2,968	2,975	3,057
Carga Máxima, kgf	1,317	1,299	1,358	1,349	1,352	1,389
R. Compresión, Mpa	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7
R. Compresión, kg/cm ²	16	16	17	17	17	17
R. Compresión, psi	229	226	236	239	240	242

Composición de la mezcla: 50% RAP + 50% Base D + 0% + 2% de asfalto residual + 1.5% de cemento Portland



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monográfico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Resistencia a la compresión simple no confinada

	GRUPO SECO					
Fecha de Moldeo	22/04/2020	22/04/2020	22/04/2020	22/04/2020	22/04/2020	22/04/2020
Edad (días)	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	06/05/2020	06/05/2020	06/05/2020	06/05/2020	06/05/2020	06/05/2020
Masa de molde, g	3,661.0	3,671.2	3,950.1	4,297.8	3,661.0	3,671.2
Volumen de molde cm ³	939.7	939.7	952.0	937.4	939.7	939.7
Masa Muestra + Molde, g	5,766.1	5,790.2	6,063.5	6,422.7	5,761.3	5,783.9
Masa Húmeda, g	369.9	369.9	369.9	369.9	369.9	369.9
Masa Seca, g	337.8	337.8	337.8	337.8	337.8	337.8
Humedad, %	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
ρ Seca, kg/m ³	2,046	2,059	2,027	2,070	2,041	2,053
G. Compactación, %	98.1	98.8	97.2	99.3	97.9	98.5
φ de espécimen, mm	102.0	102.0	102.0	101.0	102.0	102.0
Área de espécimen, cm ²	81.7	81.7	81.7	80.1	81.7	81.7
Carga Máxima, KN	15.246	13.900	13.099	13.897	13.106	15.230
Carga Máxima, lbf	3,427	3,125	2,945	3,124	2,946	3,424
Carga Máxima, kgf	1,558	1,420	1,339	1,420	1,339	1,556
R. Compresión, Mpa	1.9	1.7	1.6	1.7	1.6	1.9
R. Compresión, kg/cm ²	19	17	16	18	16	19
R. Compresión, psi	271	247	233	252	233	271

Composición de la mezcla: 50% RAP + 50% Base D + 0% + 2.5% de asfalto residual + 1.5% de cemento Portland



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monográfico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Resistencia a la compresión simple no confinada

	GRUPO SECO					
Fecha de Moldeo	22/04/2020	22/04/2020	22/04/2020	22/04/2020	22/04/2020	22/04/2020
Edad (días)	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	06/05/2020	06/05/2020	06/05/2020	06/05/2020	06/05/2020	06/05/2020
Masa de molde, g	3,661.0	3,671.2	3,950.1	4,297.8	3,661.0	3,671.2
Volumen de molde cm ³	939.7	939.7	952.0	937.4	939.7	939.7
Masa Muestra + Molde, g	5,853.0	5,800.9	6,099.7	6,447.0	5,859.1	5,785.7
Masa Húmeda, g	457.5	457.5	457.5	457.5	457.5	457.5
Masa Seca, g	417.1	417.1	417.1	417.1	417.1	417.1
Humedad, %	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7
ρ Seca, kg/m ³	2,127	2,066	2,059	2,090	2,133	2,051
G. Compactación, %	102.0	99.1	98.7	100.3	102.3	98.4
φ de espécimen, mm	102.0	102.0	102.0	101.0	102.0	102.0
Área de espécimen, cm ²	81.7	81.7	81.7	80.1	81.7	81.7
Carga Máxima, KN	13.825	15.239	16.695	17.782	15.250	16.690
Carga Máxima, lbf	3,108	3,426	3,753	3,998	3,428	3,752
Carga Máxima, kgf	1,413	1,557	1,706	1,817	1,558	1,705
R. Compresión, Mpa	1.7	1.9	2.0	2.2	1.9	2.0
R. Compresión, kg/cm ²	17	19	21	23	19	21
R. Compresión, psi	246	271	297	322	271	297

Composición de la mezcla: 50% RAP + 50% Base D + 0% + 3% de asfalto residual + 1.5% de cemento Portland



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monográfico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Tensión Indirecta

	GRUPO SECO			GRUPO ACONDICIONADO		
Fecha de Moldeo	29/04/20	29/04/20	29/04/20	29/04/20	29/04/20	29/04/20
Edad (días)	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	13/05/20	13/05/20	13/05/20	13/05/20	13/05/20	13/05/20
Masa de molde, g	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Volumen de molde cm ³	504.75	512.76	512.76	504.75	504.75	504.75
Masa Muestra + Molde, g	4185	4185	4185	4185	4185	4185
Masa Húmeda, g	296.5	296.5	296.5	296.5	296.5	296.5
Masa Seca, g	270.6	270.6	270.6	270.6	270.6	270.6
Humedad, %	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6
ρ Seca, kg/m ³	2142.6	2109.1	2109.1	2142.6	2142.6	2142.6
G. Compactación, %	102.8	101.2	101.2	102.8	102.8	102.8
φ de espécimen, mm	101	101	101	101	101	101
Altura de espécimen, mm	63	64	64	63	63	63
Área de espécimen, cm ²	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1
Carga Máxima, KN	1.914	1.874	2.086	1.958	1.832	1.938
Carga Máxima, lbf	430.3	421.3	469.0	440.2	411.8	435.7
Carga Máxima, kgf	195.6	191.5	213.2	200.1	187.2	198.0
R. Tensión, Kpa	191.5	184.6	205.4	195.9	183.3	193.9
R. Tensión, kg/cm ²	2.4	2.4	2.7	2.5	2.3	2.5
R. Tensión, psi	34.7	34.0	37.8	35.5	33.2	35.1

Composición de la mezcla: 50%RAP+50%Base D+2%de asfalto residual+1.5%de cemento Portland



COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monográfico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Tensión Indirecta

	GRUPO SECO					
Fecha de Moldeo	29/04/20	29/04/20	29/04/20	29/04/20	29/04/20	29/04/20
Edad (días)	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	13/05/20	13/05/20	13/05/20	13/05/20	13/05/20	13/05/20
Masa de molde, g	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Volumen de molde cm ³	504.75	512.76	512.76	504.75	504.75	504.75
Masa Muestra + Molde, g	4185	4185	4185	4185	4185	4185
Masa Húmeda, g	327.7	327.7	327.7	327.7	327.7	327.7
Masa Seca, g	298.5	298.5	298.5	298.5	298.5	298.5
Humedad, %	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
ρ Seca, kg/m ³	2138.5	2105.1	2105.1	2138.5	2138.5	2138.5
G. Compactación, %	102.6	101.0	101.0	102.6	102.6	102.6
φ de espécimen, mm	101	101	101	101	101	101
Altura de espécimen, mm	63	64	64	63	63	63
Área de espécimen, cm ²	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1
Carga Máxima, KN	2.57	2.672	2.886	2.986	2.562	2.995
Carga Máxima, lbf	577.8	600.7	648.8	671.3	576.0	673.3
Carga Máxima, kgf	262.6	273.0	294.9	305.1	261.8	306.0
R. Tensión, Kpa	257.1	263.2	284.2	298.8	256.3	299.7
R. Tensión, kg/cm ²	3.3	3.4	3.7	3.8	3.3	3.8
R. Tensión, psi	46.6	48.4	52.3	54.1	46.4	54.3

Composición de la mezcla: 50%RAP+50%Base D+2.5%de asfalto residual+1.5%de cemento Portland

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN Managua

CONTROL DE CALIDAD Y DISEÑOS DE MATERIALES



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: **Trabajo Monográfico UNAN - Managua** Fecha: **25/05/20** Código: **---**

Tensión Indirecta

	GRUPO SECO					
	29/04/20	29/04/20	29/04/20	29/04/20	29/04/20	29/04/20
Fecha de Moldeo	29/04/20	29/04/20	29/04/20	29/04/20	29/04/20	29/04/20
Edad (días)	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	13/05/20	13/05/20	13/05/20	13/05/20	13/05/20	13/05/20
Masa de molde, g	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Volumen de molde cm ³	504.75	508.75	512.76	512.76	508.75	504.75
Masa Muestra + Molde, g	4185	4185	4185	4185	4185	4185
Masa Húmeda, g	301.6	301.6	301.6	301.6	301.6	301.6
Masa Seca, g	274.9	274.9	274.9	274.9	274.9	274.9
Humedad, %	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7
ρ Seca, kg/m ³	2139.9	2123.0	2106.4	2106.4	2123.0	2139.9
G. Compactación, %	102.6	101.8	101	101	101.8	102.6
φ de espécimen, mm	101	101	101	101	101	101
Altura del espécimen, mm	63	63.5	64	64	63.5	63
Área de espécimen, cm ²	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1
Carga Máxima, KN	2.87	3.103	2.543	2.362	2.564	2.875
Carga Máxima, lbf	645.2	697.6	571.7	531.0	576.4	646.3
Carga Máxima, kgf	293.3	317.1	259.9	241.4	262.0	293.8
R. Tensión, Kpa	287.1	308.0	250.5	232.6	254.5	287.6
R. Tensión, kg/cm ²	3.7	4.0	3.2	3.0	3.3	3.7
R. Tensión, psi	52.0	56.2	46.1	42.8	46.5	52.1

Composición de la mezcla: 50%RAP+ 50%Base D+ 3%de asfalto residual+1.5%de cemento Portland

UNAN - MANAGUA

ANEXO 6

Evaluación de la influencia que tiene la graduación del material pétreo en la resistencia a compresión simple no confinada y tensión indirecta de una mezcla de agregados minerales, emulsión asfáltica CSS1 y cemento Portland.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN-MANAGUA

Combinación de Agregados (Graduación Gruesa)



COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Proyecto: **Trabajo Monografico UNAN - Managua** Fecha: **25/05/20** Código: **---**

Actividad: **Base estabilizada con emulsión asfáltica** Diseño: **Jarling R, Karen R** Revisó: **Ing. Oscar C.**

Resumen de Propiedades de Agregados Minerales Propuestos Para Combinación

ASTM E11		% de material que pasa		
Pulgadas	mm	RAP	Monogranular	1 1/2"
1 1/2"	37.500	100	100	100
1"	25.000	97	100	78
3/4"	19.000	93	93	48
1/2"	12.500	85	14	21
3/8"	9.500	79	3	12
No. 4	4.750	60	2	5
No. 8	2.360	41	2	3
No. 10	2.000	38	2	3
No. 30	0.600	19	2	1
No. 40	0.425	15	2	1
No. 200	0.075	6	1.0	1.0

Notas:

Densidad Relativa, Absorción y Pesos Unitarios de Agregados			
Propiedad	RAP	Monogranular	1 1/2"
G _{sb}			
G _{ssd}			
G _{sa}			
Absorción, %			
PVSS, kg/m ³			
PVSC, kg/m ³			
Vacíos, %			

Notas

PVSS (Peso Volumétrico Seco Suelto) [AASHTO T 19]

PVSC (Peso Volumétrico Seco Compacto) [AASHTO T 19]

Vacíos calculados a partir de PVSS [AASHTO T 19]

Composición de Emulsión Asfáltica	
Contenido de agua, %	0.4
Contenido de asfalto residual, %	0.6

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN Managua

CONTROL DE CALIDAD Y DISEÑOS DE MATERIALES



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Proyecto: **Trabajo Monografico UNAN - Managua** Fecha: **25/05/20** Código: **---**

Combinaciones teóricas

Fracción	T. Máximo	Combinación 1	Combinación 2	Combinación 3	Combinación 4	Combinación 5	Combinación 6	Notas
Fino	RAP	50	40					Combinaciones propuestas por método analítico
Intermedio	Monogranular	20	30					
Grueso	1 1/2"	30	30					
Combinación	100%	100	100					
G_{sb} de Agregados Combinados								
G_{sa} de Agregados Combinados								
Absorción Combinada, %								
Superficie Específica Agregados								

ASTM E-11		Combinaciones de Pruebas						Especificaciones FOMAV	
Pulgadas	mm	% de Material que pasa						Tol. Mínima	Tol. Máxima
1 1/2"	37.500	100	100					100	100
1"	25.000	92	92					75	100
3/4"	19.000	80	80					65	100
1/2"	12.500	52	45					---	---
3/8"	9.500	44	36					---	---
No. 4	4.750	32	26					30	60
No. 8	2.360	22	18					---	---
No. 10	2.000	20	17					20	45
No. 30	0.600	10	9					---	---
No. 40	0.425	8	7					10	30
No. 200	0.075	3.3	2.8					5	20



COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

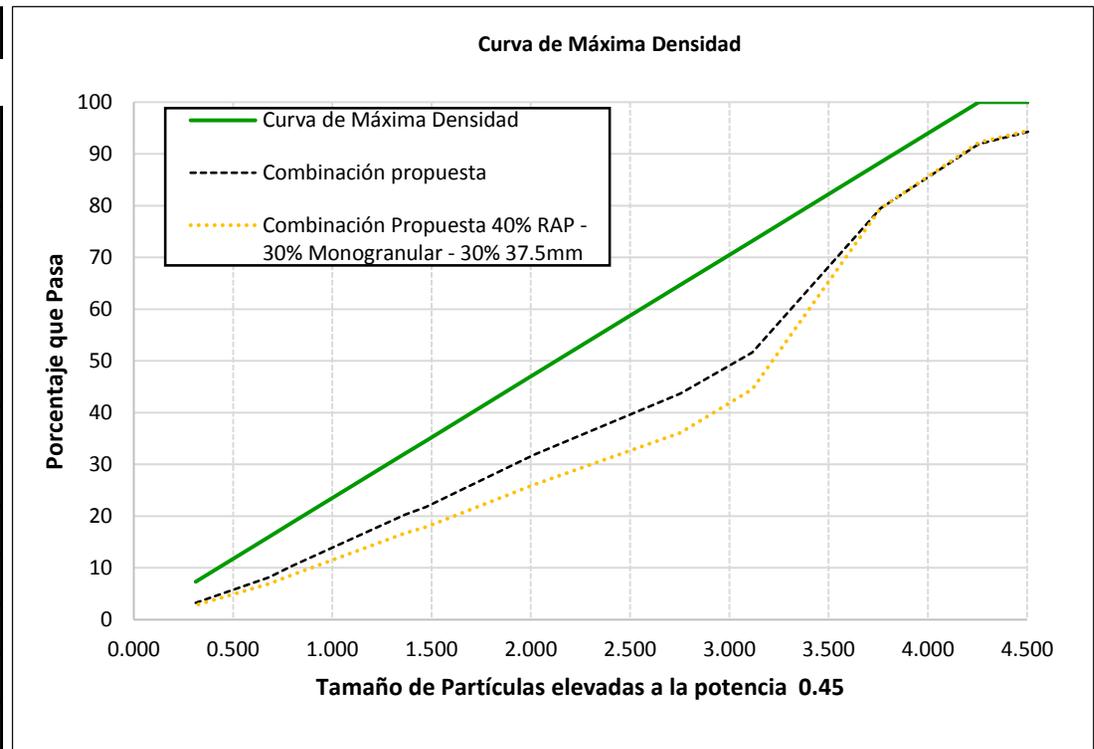
Fecha: 25/05/20

Código: ---

Curva de máxima densidad

Tamaño Máximo Agregado, mm 25.000

Tamices			Curva
Pulgadas	mm	$\wedge 0.45$	Máx
1 1/2"	37.500	5.109	100
1"	25.000	4.257	100
3/4"	19.000	3.762	88
1/2"	12.500	3.116	73
3/8"	9.500	2.754	65
No. 4	4.750	2.016	47
No. 8	2.360	1.472	35
No. 10	2.000	1.366	32
No. 30	0.600	0.795	19
No. 40	0.425	0.680	16
No. 200	0.075	0.312	7



Notas:



COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Proyecto:

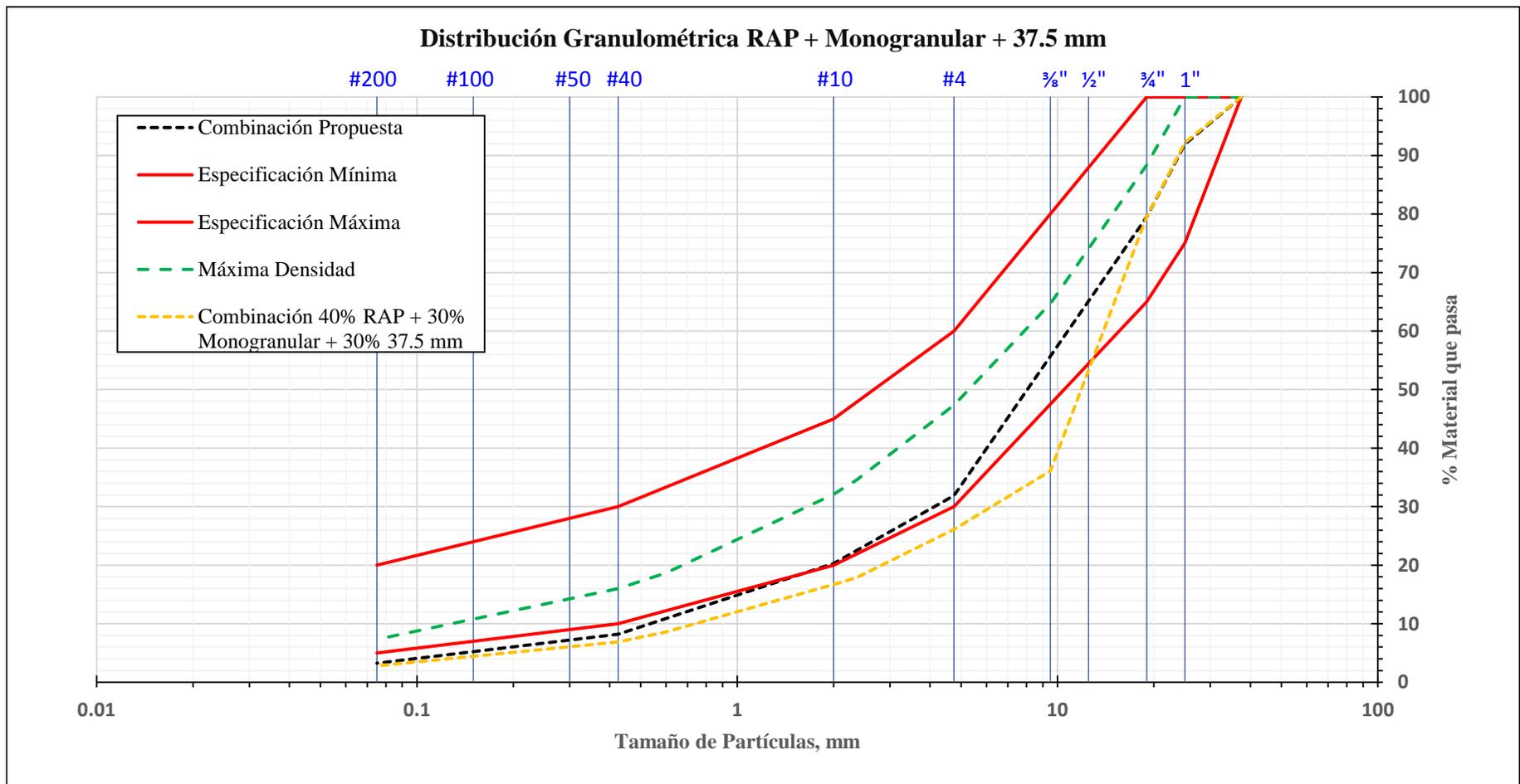
Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha:

25/05/20

Código:

Curvas granulométricas de combinaciones propuestas





COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Cálculo de bachadas de pruebas para laboratorio

Tipo de Especímen	φ Molde, mm	Altura Molde, mm	Volumen cm ³	Cantidad Especímenes	Desperdicio, %	Factor Desperdicio	ρ Seca Máxima Estimada, kg/m ³	Masa para bachada, g
Compresión simple	101.0	118.0	952	1	30.00	1.300	2,300	2,846.5

No. Fracción	Fracción de Agregados		Materiales, %		
			RAP	Monogranular	1 1/2"
1	Ret. 3/4"	Ret. 19.0 mm	7	7	52
3	3/4"(19.0 mm)	1/2"(12.50 mm)	8	79	27
4	1/2"(12.50 mm)	No.4 (4.75 mm)	25	12	16
6	Pasa No. 4	Pasa 4.75 mm	60	2	5
-----	% total por agregados		100	100	100

Materiales, masas en g		
RAP	Monogranular	1 1/2"
93.5	37.4	416.5
106.8	421.9	216.3
333.8	64.1	128.2
801.0	10.7	40.1
1,335.1	534.1	801.1

Granulometría de diseño:	Combinación 1	% materiales [Masa]	Masa de materiales g
Componentes	% Agregados		
Emulsión Asfáltica	-----	4.7	133.8
Contenido de Agregados, [P _s]	-----	93.8	2,670.0
RAP	50	46.9	1,335.0
Monogranular	20	18.8	534.0
100	30	28.1	801.0
Cemento Portland	-----	1.5	42.7

Resumen:

RAP	1,335.0
Monogranular	534.0
100.0	801.0
Cemento Portland	42.7
Emulsión Asfáltica	133.8
Total de Mezcla:	2,846.5



COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Cálculo del contenido óptimo de fluidos

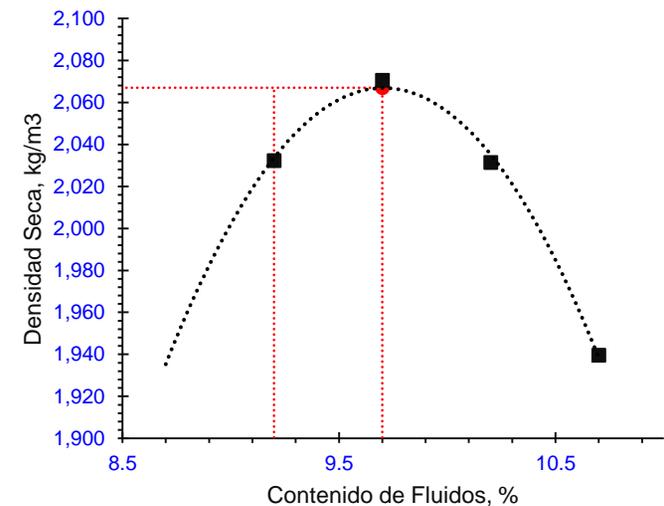
No. de punto	1	2	3	4
Agua de premezclado, %	4.5	4.5	4.5	4.5
Agua adicional, %	0.0	0.5	1.0	1.5
Agua de premezclado, g	122.1	122.1	122.1	122.1
Contenido de Agregados [P_s], g	2,670.0	2,670.0	2,670.0	2,670.0
Cemento Portland	42.7	42.7	42.7	42.7
Emulsión Asfáltica, g	133.8	133.8	133.8	133.8
Agua adicional, g	0.0	13.6	27.1	40.7
Humedad teórica, %	6.5	7.0	7.5	8.0
Contenido Total de Fluidos, %	9.2	9.7	10.2	10.7

Características del molde	
Masa, g	3,950.1
Volumen, cm ³	952.0

Densidad Seca Máxima, kg/m ³	2,067
Contenido Óptimo de Fluidos, %	9.7
Humedad Óptima, %	9.4

Masa húmeda del material, g	195.1	199.2	218.8	338.0
Masa seca del material, g	179.5	182.5	198.7	304.5
Contenido de agua, %	8.7	9.2	10.1	11.0

Molde + Material Húmedo, g	6,053.4	6,101.4	6,079.8	6,000.0
Material húmedo, g	2,103.3	2,151.3	2,129.7	2,049.9
Densidad húmeda, kg/m ³	2,209	2,260	2,237	2,153
Densidad seca, kg/m ³	2,032	2,071	2,031	1,940





COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Dosificación para ensayo de resistencia a compresión simple

No. de punto	1
Asfalto residual, %	2.0
Agua de premezclado, %	4.5
Contenido de Cemento, %	1.5
Emulsión Asfáltica, % Mezcla	3.3
Contenido de Agregados [P_s], %	95.2
Total	100
Agua para alcanzar OFC, %	1.9
Evaluación	Agregar

Fracción de Agregados		Materiales, %		
-----	-----	RAP	Monogranular	1 1/2"
Ret. 3/4"	Ret. 19.0 mm	83.3	33.3	371.8
3/4"(19.0 mm)	1/2"(12.50 mm)	95.2	375.3	193.1
1/2"(12.50 mm)	No.4 (4.75 mm)	297.5	57.0	114.4
Pasa No. 4	Pasa 4.75 mm	714.0	9.5	35.8
Total agregados		1,190.0	475.1	715.1

Masa para una bachada, g	2,500	revisar
--------------------------	--------------	----------------

Granulometría de diseño:	Combinación 1	% materiales [Masa]	Masa de materiales g
Componentes	% Agregados		
Emulsión Asfáltica	-----	3.3	82.5
Contenido de Agregados, [P_s]	-----	95.2	2,380.0
RAP	50	47.6	1,190.0
Monogranular	20	19.0	475.0
100	30	28.6	715.0
Cemento Portland	-----	1.5	37.5

Resumen:

RAP	1,190.0
Monogranular	475.0
100.0	715.0
Cemento Portland	37.5
Emulsión Asfáltica	82.5
Total de Mezcla:	2,500.0

Agua Preenvuelta: 108.8

Agua Adicional: 45.9



COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Dosificación para ensayo de resistencia a compresión simple

No. de punto	2
Asfalto residual, %	2.5
Agua de premezclado, %	4.5
Contenido de Cemento, %	1.5
Emulsión Asfáltica, % Mezcla	4.2
Contenido de Agregados [P_s], %	94.3
Total	100
Agua para alcanzar OFC, %	1.0
Evaluación	Agregar

Fracción de Agregados		Materiales, %		
-----	-----	RAP	Monogranular	1 1/2"
Ret. 3/4"	Ret. 19.0 mm	82.6	33.1	367.9
3/4"(19.0 mm)	1/2"(12.50 mm)	94.4	373.3	191.0
1/2"(12.50 mm)	No.4 (4.75 mm)	295.0	56.7	113.2
Pasa No. 4	Pasa 4.75 mm	708.0	9.5	35.4
Total agregados		1,180	473	708

Masa para una bachada, g	2,500	revisar
--------------------------	--------------	----------------

Granulometría de diseño:	Combinación 1	% materiales [Masa]	Masa de materiales g
Componentes	% Agregados		
Emulsión Asfáltica	-----	4.2	105.0
Contenido de Agregados, [P_s]	-----	94.3	2,357.5
RAP	50	47.2	1,180.0
Monogranular	20	18.9	472.5
100	30	28.3	707.5
Cemento Portland	-----	1.5	37.5

Resumen:

RAP	1,180.0
Monogranular	472.5
100.0	707.5
Cemento Portland	37.5
Emulsión Asfáltica	105.0
Total de Mezcla:	2,502.5

Agua Preenvuelta: 107.9

Agua Adicional: 24



COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua Fecha: 25/05/20 Código: ---

Dosificación para ensayo de resistencia a compresión simple

No. de punto	3
Asfalto residual, %	3.0
Agua de premezclado, %	4.5
Contenido de Cemento, %	1.5
Emulsión Asfáltica, % Mezcla	5.0
Contenido de Agregados [P_s], %	93.5
Total	100
Agua para alcanzar OFC, %	0.2
Evaluación	Agregar

Fracción de Agregados		Materiales, %		
-----	-----	RAP	Monogranular	1 1/2"
Ret. 3/4"	Ret. 19.0 mm	81.9	32.7	367.9
3/4"(19.0 mm)	1/2"(12.50 mm)	93.6	369.3	191.0
1/2"(12.50 mm)	No.4 (4.75 mm)	292.5	56.1	113.2
Pasa No. 4	Pasa 4.75 mm	702.0	9.4	35.4
Total agregados		1,170	468	708

Masa para una bachada, g **2,500** **revisar**

Granulometría de diseño:	Combinación 1	% materiales [Masa]	Masa de materiales g
Componentes	% Agregados		
Emulsión Asfáltica	-----	5.0	125.0
Contenido de Agregados, [P_s]	-----	93.5	2,337.5
RAP	50	46.8	1,170.0
Monogranular	20	18.7	467.5
100	30	28.1	702.5
Cemento Portland	-----	1.5	37.5

Resumen:

RAP	1,170.0
Monogranular	467.5
100.0	702.5
Cemento Portland	37.5
Emulsión Asfáltica	125.0
Total de Mezcla:	2,502.5

Agua Preenvuelta: 107

Agua Adicional: 4.7



COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Resistencia a la compresión simple no confinada

	GRUPO SECO				GRUPO CONDICIONADO	
	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020
Fecha de Moldeo	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020
Edad (días)	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020
Masa de molde, g	3,661.0	3,671.2	3,950.1	4,297.8	3,661.0	4,297.8
Volumen de molde cm ³	939.7	939.7	952.0	937.4	939.7	937.4
Masa Muestra + Molde, g	5,762.0	5,748.1	6,046.1	6,395.6	5,770.5	6,402.5
Masa Húmeda, g	301.8	301.8	301.8	301.8	301.8	301.8
Masa Seca, g	275.5	275.5	275.5	275.5	275.5	275.5
Humedad, %	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
ρ Seca, kg/m ³	2,041	2,018	2,010	2,043	2,049	2,050
G. Compactación, %	98.7	97.6	97.2	98.8	99.1	99.2
φ de espécimen, mm	102.0	102.0	102.0	101.0	102.0	101.0
Área de espécimen, cm ²	81.7	81.7	81.7	80.1	81.7	80.1
Carga Máxima, KN	9.672	11.305	11.980	11.264	12.301	10.796
Carga Máxima, lbf	2,174	2,541	2,693	2,532	2,765	2,427
Carga Máxima, kgf	988	1,155	1,224	1,151	1,257	1,103
R. Compresión, Mpa	1.2	1.4	1.5	1.4	1.5	1.3
R. Compresión, kg/cm ²	12	14	15	14	15	14
R. Compresión, psi	172	201	213	204	219	196

Composición de la mezcla: 50% RAP + 20% Monogranular + 30% 100 + 2% de asfalto residual + 1.5% de cemento Portland



COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Proyecto: **Trabajo Monografico UNAN - Managua**

Fecha: **25/05/20**

Código: **---**

Resistencia a la compresión simple no confinada

	GRUPO SECO					
Fecha de Moldeo	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020
Edad (días)	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020
Masa de molde, g	3,661.0	3,671.2	3,950.1	4,297.8	3,661.0	3,671.2
Volumen de molde cm ³	939.7	939.7	952.0	937.4	939.7	939.7
Masa Muestra + Molde, g	5,801.5	5,769.1	6,050.3	6,425.7	5,810.0	5,780.0
Masa Húmeda, g	364.0	364.0	364.0	364.0	364.0	364.0
Masa Seca, g	332.0	332.0	332.0	332.0	332.0	332.0
Humedad, %	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6
ρ Seca, kg/m ³	2,078	2,036	2,012	2,070	2,086	2,047
G. Compactación, %	100.5	98.5	97.3	100.2	100.9	99.0
φ de espécimen, mm	102.0	102.0	102.0	101.0	102.0	102.0
Área de espécimen, cm ²	81.7	81.7	81.7	80.1	81.7	81.7
Carga Máxima, KN	12.285	13.419	12.431	13.101	13.329	14.032
Carga Máxima, lbf	2,762	3,017	2,795	2,945	2,996	3,155
Carga Máxima, kgf	1,255	1,371	1,270	1,339	1,362	1,434
R. Compresión, Mpa	1.5	1.6	1.5	1.6	1.6	1.7
R. Compresión, kg/cm ²	15	17	16	17	17	18
R. Compresión, psi	218	238	221	237	237	249

Composición de la mezcla: 50% RAP +20% Monogranular + 30% 100 + 2.5% de asfalto residual + 1.5% de cemento Portland



COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Resistencia a la compresión simple no confinada

	GRUPO SECO					
Fecha de Moldeo	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020	23/04/2020
Edad (días)	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020	07/05/2020
Masa de molde, g	3,661.0	3,671.2	3,950.1	4,297.8	3,661.0	3,671.2
Volumen de molde cm ³	939.7	939.7	952.0	937.4	939.7	939.7
Masa Muestra + Molde, g	5,798.2	5,751.6	6,057.9	6,421.2	5,811.3	5,780.9
Masa Húmeda, g	457.5	457.5	457.5	457.5	457.5	457.5
Masa Seca, g	417.1	417.1	417.1	417.1	417.1	417.1
Humedad, %	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7
ρ Seca, kg/m ³	2,074	2,018	2,019	2,065	2,086	2,047
G. Compactación, %	100.3	97.6	97.7	99.9	100.9	99.0
φ de espécimen, mm	102.0	102.0	102.0	101.0	102.0	102.0
Área de espécimen, cm ²	81.7	81.7	81.7	80.1	81.7	81.7
Carga Máxima, KN	11.712	11.242	13.674	16.643	12.934	13.479
Carga Máxima, lbf	2,633	2,527	3,074	3,741	2,908	3,030
Carga Máxima, kgf	1,197	1,149	1,397	1,701	1,322	1,377
R. Compresión, Mpa	1.4	1.4	1.7	2.1	1.6	1.6
R. Compresión, kg/cm ²	15	14	17	21	16	17
R. Compresión, psi	208	200	243	302	230	239

Composición de la mezcla: 50% RAP + 20% Monogranular + 30% 100 + 3% de asfalto residual + 1.5% de cemento Portland



COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Resistencia a la Tensión Indirecta

	GRUPO SECO				GRUPO ACONDICIONADO		
	30/04/20	30/04/20	30/04/20	30/04/20	30/04/20	30/04/20	30/04/20
Fecha de Moldeo							
Edad (días)	14	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	14/05/20	14/05/20	14/05/20	14/05/20	14/05/20	14/05/20	14/05/20
Masa de molde, g	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Volumen de molde cm ³	504.75	512.76	512.76	504.75	504.75	504.75	504.75
Masa Muestra + Molde, g	4170	4170	4170	4170	4170	4170	4170
Masa Húmeda, g	320	320	320	320	320	320	320
Masa Seca, g	292	292	292	292	292	292	292
Humedad, %	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6
ρ Seca, kg/m ³	2115.2	2082.1	2082.1	2115.2	2115.2	2115.2	2115.2
G. Compactación, %	102.3	100.7	100.7	102.3	102.3	102.3	102.3
φ de espécimen, mm	101	101	101	101	101	101	101
Altura de espécimen, mm	63	64	64	63	63	63	63
Área de espécimen, cm ²	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1
Carga Máxima, KN	2.4	2.167	2.503	2.27	2.252	2.2	2.2
Carga Máxima, lbf	539.5	487.2	562.7	510.3	506.3	494.6	494.6
Carga Máxima, kgf	245.2	221.4	255.8	232.0	230.1	224.8	224.8
R. Tensión, Kpa	240.1	213.4	246.5	227.1	225.3	220.1	220.1
R. Tensión, kg/cm ²	3.1	2.8	3.2	2.9	2.9	2.8	2.8
R. Tensión, psi	43.5	39.3	45.4	41.1	40.8	39.9	39.9

Composición de la mezcla: 50%RAP + 20% Monogranular + 2% de asfalto residual + 1.5% de cemento Portland



COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Resistencia a la Tensión Indirecta

		GRUPO SECO					
Fecha de Moldeo		30/04/20	30/04/20	30/04/20	30/04/20	30/04/20	30/04/20
Edad (días)		14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo		14/05/20	14/05/20	14/05/20	14/05/20	14/05/20	14/05/20
Masa de molde, g		3000	3000	3000	3000	3000	3000
Volumen de molde cm ³		512.76	504.75	508.75	512.76	504.75	504.75
Masa Muestra + Molde, g		4170	4170	4170	4170	4170	4170
Masa Húmeda, g		352	352	352	352	352	352
Masa Seca, g		321	321	321	321	321	321
Humedad, %		9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7
ρ Seca, kg/m ³		2080.8	2113.8	2097.2	2080.8	2113.8	2113.8
G. Compactación, %		100.7	102.3	101.5	100.7	102.3	102.3
φ de espécimen, mm		101	101	101	101	101	101
Altura de espécimen, mm		64	63	63.5	64	63	63
Área de espécimen, cm ²		80.1	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1
Carga Máxima, KN		2.183	2.394	2.315	2.331	2.385	2.4
Carga Máxima, lbf		490.8	538.2	520.4	524.0	536.2	539.5
Carga Máxima, kgf		223.1	244.6	236.6	238.2	243.7	245.2
R. Tensión, Kpa		215.0	239.5	229.8	229.6	238.6	240.1
R. Tensión, kg/cm ²		2.8	3.1	3.0	3.0	3.0	3.1
R. Tensión, psi		39.6	43.4	41.9	42.2	43.2	43.5

Composición de la mezcla: 50% RAP + 20% Monogranular + 2.5% de asfalto residual + 1.5% de cemento Portland



COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Proyecto: Trabajo Monografico UNAN - Managua

Fecha: 25/05/20

Código: ---

Resistencia a la Tensión Indirecta

	GRUPO SECO					
Fecha de Moldeo	30/04/20	30/04/20	30/04/20	30/04/20	30/04/20	30/04/20
Edad (días)	14	14	14	14	14	14
Fecha de ensayo	14/05/20	14/05/20	14/05/20	14/05/20	14/05/20	14/05/20
Masa de molde, g	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Volumen de molde cm ³	504.75	508.75	508.75	504.75	512.76	512.76
Masa Muestra + Molde, g	4170	4170	4170	4170	4170	4170
Masa Húmeda, g	330.7	330.7	330.7	330.7	330.7	330.7
Masa Seca, g	301.3	301.3	301.3	301.3	301.3	301.3
Humedad, %	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
ρ Seca, kg/m ³	2111.9	2095.3	2095.3	2111.9	2078.9	2078.9
G. Compactación, %	102.2	101.4	101.4	102.2	100.6	100.6
ϕ de espécimen, mm	101	101	101	101	101	101
Altura de espécimen, mm	63	63.5	63.5	63	64	64
Área de espécimen, cm ²	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1	80.1
Carga Máxima, KN	2.105	2.382	2.606	2.82	2.538	2.418
Carga Máxima, lbf	473.2	535.5	585.9	634.0	570.6	543.6
Carga Máxima, kgf	215.1	243.4	266.3	288.2	259.3	247.1
R. Tensión, Kpa	210.6	236.4	258.7	282.1	250.0	238.1
R. Tensión, kg/cm ²	2.7	3.0	3.3	3.6	3.2	3.1
R. Tensión, psi	38.1	43.2	47.2	51.1	46.0	43.8

Composición de la mezcla: 50%RAP+20%Monogranular+3%de asfalto residual+1.5%de cemento Portland

UNAN - MANAGUA

ANEXO 7

Evaluación de la influencia que tiene la graduación del material pétreo en la resistencia a compresión simple no confinada y tensión indirecta de una mezcla de agregados minerales, emulsión asfáltica CSS1 y cemento Portland.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

Imágenes



Recuperadora del Material (RAP).



Material RAP in Situ.



Muestreo del Material RAP.



Homogenización del Material RAP



Cuarteo del Material



Cuarteo de Material RAP



Peso de Muestras



Lavado del materia menor a $75\mu\text{m}$ para Granulometría.



Separación de Material (Tamizado)



Secado de muestras en el Horno



Homogenización de Materiales de ajuste (Plantel AGRENIC)



Homogenización de Materiales de ajuste (PROINCO)



Material Fino triturado



Tamizado del Material para Proctor



Muestras para realización de Proctor Modificado



Proctor Modificado



Probetas con Material Fino triturado, ensayo Equivalente de Arena



Probeta y Pisón lastrado, ensayo Equivalente de Arena.



Especímenes para compresión



Ensayo de Tensión Diametral



Planta de Trituración PROINCO



Planta de Trituración HOLCIM



Planta de Trituración AGRENIC