

ESTUDIO DE LOS MÉTODOS DE CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS DE
PAVIMENTACIÓN EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN

Juan Esteban Gordon Montoya
Carlos Andrés Arboleda Arias

POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID
FACULTAD DE INGENIERIAS
MEDELLIN
2009

ESTUDIO DE LOS MÉTODOS DE CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS DE
PAVIMENTACIÓN EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN

Juan Esteban Gordon Montoya
Carlos Andrés Arboleda Arias

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil

Asesores temático
Jesús Zuluaga
Ingeniero civil

Asesor metodológico
Martha Elena Zapata Pérez
Ingeniería Civil. Especialista en gestión pública.

POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERIA CIVIL
MEDELLÍN
2009

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Medellín, diciembre 2009

A nuestras familias y profesores
que nos han apoyado en todo
momento.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi papá, que con esmero y trabajo hizo posible que hoy este a puertas de mi graduación.

A mi madre quien con cariño y buenos consejos me dio fortaleza suficiente para superar los momentos difíciles y siempre tener presente cual era el objetivo.

A todos los profesores del Politécnico colombiano Jaime isaza cadaavid por compartir todos sus conocimientos y estar siempre dispuestos a forjar en mí un excelente profesional.

Agradezco también al Politécnico colombiano Jaime isaza cadaavid por permitirme estudiar la carrera completamente becado gracias al descuento por la ley del deporte

Carlos Andrés Arboleda Arias

A mi madre por entenderme en todos mis errores, corrigiéndome con mucha paciencia. También por darme el mayor gusto que se le puede dar a un hijo AMOR.

A mi padre porque a pesar de todo se preocupo por mi bienestar.

A Victor el cual fue un apoyo incondicional en mi vida.

A todos los profesores y en especial al Politécnico colombiano Jaime isaza cadaavid los cuales hicieron posible el yo graduarme con grandes virtudes como profesional y como persona.

Juan Esteban Gordon Montoya

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	19
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	20
1.2. FORMULACIÓN	21
1.3. JUSTIFICACIÓN	22
1.4. DELIMITACIÓN	23
2. HIPÓTESIS	24
3. OBJETIVOS	25
3.1. OBJETIVO GENERAL	25
3.2. OBJETIVO ESPECIFICO	25
4. MARCO TEÓRICO	26
4.1. REFERENTE HISTÓRICO	26
4.1.1. Historia de los pavimentos urbanos	26
4.1.2. Generalidades de los pavimentos flexibles	34
4.1.2.1. Que es un pavimento flexible	34
4.1.2.2. Características de los pavimentos flexibles	34
4.1.2.3. Selección del tipo de pavimento a usar en un determinado Proyecto.	37

4.1.2.4. Función estructural de un pavimento.	37
4.1.2.5. Función social de un pavimento.	37
4.1.2.6. Factores que afectan el diseño, construcción y Mantenimiento de una vía.	37
4.2. REFERENTE CONCEPTUAL	39
4.2.1. Propiedades de los materiales y mezclas asfálticas	39
4.2.1.1. Comportamiento del ligante asfáltico.	39
4.2.1.2. Comportamiento del agregado mineral.	40
4.2.1.3. Comportamiento de la mezcla asfáltica.	41
4.2.2 Tipos de controles de calidad hechos en obra.	46
4.2.2.1 Controles rutinarios durante la ejecución de obra.	46
4.2.2.2 Controles para recepción y pago de obras.	46
4.2.3 Funciones que debe hacer la persona que esté llevando a cabo el control de calidad en una obra.	46
4.2.3.1 Inspecciones Diarias de Campo.	46
4.2.4 Control de calidad en la construcción de carreteras.	47
4.2.5 Métodos y Procesos de Control.	48
4.2.6 El Control Estadístico.	50
4.2.7 Limites De Frecuencia.	51
4.2.8 Control de calidad en la construcción de los pavimento.	52
4.2.9 Variables para controlar en una obra de pavimentación.	54
4.2.9.1 Calidad de materiales (características de los mismos).	54
4.2.9.2 Control de temperaturas de la mezcla asfáltica	73

4.2.9.3 Control de densidades	74
4.2.9.4 Controles periódicos de la formula de trabajo.	79
4.2.10. Herramientas estadísticas básicas para la calidad	79
4.2.10.1 Gráficas de barras e histogramas	80
4.2.10.2 Diagramas de dispersión	81
4.2.10.3 Estratificación	82
4.2.10.4 Gráficos de control	83
4.2.10.5 Diagramas de flujo	83
4.2.10.6. Correlación.	84
5. DISEÑO METODOLÓGICO.	86
5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN A REALIZAR.	86
5.2 POBLACIÓN.	86
5.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	87
5.4 FUENTES DE INFORMACIÓN.	87
5.4.1 fuentes primarias	87
5.4.2 fuentes secundarias.	87
5.4.3. Posibles colaboradores	87
6. DESARROLLO METODOLÓGICO.	88
6.1 RECOLECCIÓN Y COMPARACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EN OBRA	88
6.1.1. Visitas técnicas y recolección de datos	88
6.1.2. Análisis de control de calidad para el tramo 1.	88

6.1.2.1 Comparación de datos con la normativa.	92
6.1.3. Análisis de control de calidad para el tramo 2.	93
6.1.3.1 Comparación de datos con la normativa.	97
6.1.4. Análisis de control de calidad para el tramo 3.	98
6.1.4.1 Comparación de datos con la normativa.	102
6.2. POSIBLES FALENCIAS QUE HAY EN LOS PROCESOS DE CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS DE PAVIMENTACIÓN.	103
6.3. HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS PARA LA EVALUACIÓN DE VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS DE PAVIMENTACIÓN.	105
6.3.1. Análisis estadístico para los espesores del tramo 1 (Puente Colombia – Fatelares).	106
6.3.2. Análisis estadístico para los espesores del tramo 2 (Fatelares – U de A).	110
6.3.3. Análisis estadístico para los espesores del tramo 3 (U de A – Palos vedes).	114
6.3.4. Correlaciones entre las variables más representativas de la mezcla densa en caliente tipo 2 (MDC-2).	118
6.4. METODOLOGÍA DE CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS DE PAVIMENTACIÓN QUE RIGEN DE ACUERDO A LAS NORMAS Y ESPECIFICACIONES ESTABLECIDAS.	126
7. CONCLUSIONES	127
BIBLIOGRAFIA	128

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Requisitos de los materiales para afirmados Sub-bases granulares y bases granulares.	55
Tabla 2. Franjas granulométricas que deben cumplir el afirmado.	56
Tabla 3. Franjas granulométricas del material de sub-base.	58
Tabla 4. Tolerancias granulométricas de sub-base.	59
Tabla 5. Franjas granulométricas del material de base granular.	62
Tabla 6. Tolerancias granulométricas de base granular.	62
Tabla 7. Tolerancia granulométrica para el material de la mezcla densa en caliente.	65
Tabla 8. Criterios de cumplimiento para el diseño de mezclas siguiendo el método Marshall.	67
Tabla 9. Verificaciones periódicas de calidad de los materiales.	79
Tabla 10. Datos obtenidos según la fórmula de trabajo (tramo 1).	92
Tabla 11. Datos obtenidos según la fórmula de trabajo (tramo 2).	97
Tabla 12. Datos obtenidos según la fórmula de trabajo (tramo 3).	102
Tabla 13. Control resumen tramo 1 (puente Colombia – Fatelares).	106
Tabla 14. Datos obtenidos tramo 1.	107
Tabla 15. Análisis estadístico tramo 1.	108
Tabla 16. Control resumen tramo 2 (Tramo puente Colombia – Fatelares).	110

Tabla 17. Datos obtenidos tramo 2.	111
Tabla 18. Análisis estadístico tramo 2.	112
Tabla 19. Control resumen tramo 3.	114
Tabla 20. Datos obtenidos tramo 3.	115
Tabla 21. Análisis estadístico tramo 3.	116
Tabla 22. Datos de variables del tramo 1 (puente Colombia – Fatelares).	118
Tabla 23. Datos de variables del tramo 2 (Fatelares – U de A).	119
Tabla 24. Datos de variables del tramo 3 (U de A – palos vedes).	119
Tabla 25. Correlaciones entre variables medidas.	120

LISTA DE GRAFICOS

	Pag.
Grafico 1. Ej, grafico de barras e histogramas.	80
Grafico 2. Ej, rangos de control del grafico de barras. e histogramas.	81
Grafico 3. Ej, Diagramas de dispersión.	81
Grafico 4. Ej, estratificación.	82
Grafico 5. Ej. gráficos de control.	83
Grafico 6. Ej, diagramas de flujo.	84
Grafico 7. Análisis estadístico tramo 1.	109
Grafico 8. Análisis estadístico tramo 2.	113
Grafico 9. Análisis estadístico tramo 3.	117
Grafico 10. Correlación estabilidad vs densidad tramo 1.	121
Grafico 11. Correlación flujo vs densidad tramo 1.	121
Grafico 12. Correlación % asfalto vs densidad tramo 1.	122
Grafico 13. Correlación estabilidad vs densidad tramo 2.	122
Grafico 14. Correlación flujo vs densidad tramo 2.	123
Grafico 15. Correlación % asfalto vs densidad tramo 2.	123
Grafico 16. Correlación estabilidad vs densidad tramo 3.	124
Grafico 17. Correlación flujo vs densidad tramo 3.	124
Grafico 18. Correlación % asfalto vs densidad tramo 3	125

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Formula de trabajo para el tramo 1 (muestra 1).	89
Figura 2. Formula de trabajo para el tramo 1 (muestra 2).	90
Figura 3. Formula de trabajo para el tramo 1 (muestra 3).	91
Figura 4. Formula de trabajo para el tramo 2 (muestra 1).	94
Figura 5. Formula de trabajo para el tramo 2 (muestra 2).	95
Figura 6. Formula de trabajo para el tramo 2 (muestra 3).	96
Figura 7. Formula de trabajo para el tramo 3 (muestra 1).	99
Figura 8. Formula de trabajo para el tramo 3 (muestra 2).	100
Figura 9. Formula de trabajo para el tramo 3 (muestra 3).	101

ANEXOS

	Pag.
Anexo 1. Planta de elaboración de mezclas asfálticas.	130
Anexo 1.1. Tolva para recibo de agregados.	130
Anexo 1.2. Acopio de Material crudo en planta.	131
Anexo 1.3. Almacenamiento del material llenante o filler.	131
Anexo 1.4. Acopio de material para la elaboración de las mezclas.	132
Anexo 1.5. Bandas transportadoras.	132
Anexo 1.6. Bandas transportadoras.	133
Anexo 1.7. Tolva de mezclado.	133
Anexo 1.8. Banda transportadora.	134
Anexo 1.9. Silo de almacenamiento del producto terminado	134
Anexo 1.10. Tanques para el asfalto.	135
Anexo 1.11. Cuarteador de materiales.	135
Anexo 1.12. Silo de almacenamiento del producto terminado (Zona de carga del material).	136
Anexo 1.13. Compuerta de descargar del producto terminado.	136
Anexo 1.14. Mezcla asfáltica tipo (MDC 2).	137
Anexo 1.15. Volqueta cargada con la mezcla densa en caliente.	137
Anexo 1.16. Tanques de almacenamiento de asfalto.	138
Anexo 2. Archivo fotográfico de los tramos estudiados.	139
Anexo 2.1. Panorámica de la terminación del tramo 1.	139
Anexo 2.2. Núcleo extraído del tramo 1	139
Anexo 2.3. Detalle terminación MH tramo 1.	140

Anexo 2.4 Toma de muestra (núcleo).	140
Anexo 2.5. Panorámica del urbanismo para el tramo 1.	141
Anexo 2.6. Panorámica 2 urbanismo tramo 1.	141
Anexo 2.7. Compactación de la carpeta (maquinaria) tramo 2.	142
Anexo 2.8. Terreno sin adecuación para el riego de la mezcla en el tramo 2.	142
Anexo 2.9. Excavación en el pavimento existente en el tramo 2.	143
Anexo 2.10 Espesor de la carpeta asfáltica existente.	143
Anexo 2.11. Volquetas esperando para el riego del material, totalmente tapadas con carpas de lona).	144
Anexo 2.12. Reemplazo de la carpeta asfáltica.	144
Anexo 2.13 Compactación de la carpeta asfáltica en el tramo 3.	145
Anexo 2.14. Personal y equipo para riego de mezcla.	145
Anexo 2.15. Finisher regando material.	146
Anexo 2.16. Compactación y terminación de detalles.	146
Anexo 2.17. Riego de material.	147
Anexo 2.18. Fisuras presentes en la carpeta asfáltica.	147

GLOSARIO

Promedio aritmético: La media aritmética o promedio, de una cantidad finita de números, es igual a la suma de todos ellos dividida entre el número de sumandos. Es uno de los principales estadísticos muestrales.

Densidad: (Del lat. densitas, -ātis). Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico (kg/m³).

Variable: (Del lat. variabilis). Mat. Magnitud que puede tener un valor cualquiera de los comprendidos en un conjunto. Magnitud cuyos valores están determinados por las leyes de probabilidad, como los puntos resultantes de la tirada de un dado.

Estadística: (Del al. Statistik). Estudio de los datos cuantitativos de la población, de los recursos naturales e industriales, del tráfico o de cualquier otra manifestación de las sociedades humanas.

Metodología: (Del gr. μέθοδος, método, y -logía). Ciencia del método. Conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal.

Calidad: (Del lat. qualitas, -ātis, y este calco del gr. ποιότης). Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor.

Pavimentos: (Del lat. pavimentum). Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

Granulometría: (De gránulo y -metría). La composición granulométrica puede definirse como "la relación de porcentajes en que se encuentran los distintos tamaños de granos de un árido respecto al total".

Tamiz: (Del fr. tamis). Cedazo muy tupido.

MDC: Mezcla densa en caliente.

Compactación: Acción y efecto de compactar.

RESUMEN

CONTROL DE CALIDAD EN PAVIMENTOS

Este trabajo pretende establecer los procedimientos empleados para obtener una mezcla asfáltica en caliente de buena calidad. Debido a que la mezcla se elabora en la planta de asfalto, se hace énfasis en los controles allí requeridos, así como en todas las condiciones de transporte y colocación que pueden alterar sus condiciones físicas y químicas.

Es de esta manera que podemos asegurar la construcción de pavimento de mejor calidad, elaborados de acuerdo a toda la normativa correspondiente a este tema, obteniendo un mejor resultado en la vida útil de la estructura del pavimento flexible.

El control y el aseguramiento de la calidad en las obras civiles están concebidos como parte estructural dentro del proceso de ejecución de proyectos, es así como se pretende hacer una revisión en campo de los planes de control de la calidad en los pavimentos flexibles, que se están implementando en las diferentes obras de la ciudad de Medellín (Colombia). Para obtener la información directa de estas, que posteriormente serán comparadas con las normas que rigen las especificaciones constructivas de los pavimentos.

Inicialmente evaluamos todas las características mecánicas de los materiales componentes de la estructura del pavimento, enfocándonos en la carpeta asfáltica, haciendo una comparación entre muestras de mezclas (MDC-2) tomadas en obra y sus especificaciones establecidas en la norma INVIAS.

Teniendo la información levantada en el campo se procede a identificar las posibles causas de daños prematuros en la estructura del pavimento, en donde se es posible determinar las falencias más influyentes en los procesos constructivos y especificaciones de la mezcla densa en caliente tipo 2.

El estudio se aplica a tres tramos de pavimentación elaborados en la ciudad de Medellín ubicados entre el puente Colombia y palos verdes en la zona noroccidental, en los cuales se estudian y analizan variables como: densidad, espesor, flujo, estabilidad, temperatura y % de asfalto. Se hace a través de herramientas estadísticas utilizadas para el control de la calidad.

Logrando construir un manual enfocado al control de la calidad de pavimentos flexibles, y a su vez proponiendo alternativas distintas a las existentes para el análisis de las variables que inciden en la calidad del producto terminado.

ABSTRACT

QUALITY CONTROL IN PAVEMENT

This work aims to establish the procedures used to obtain an asphalt hot mix of good quality. Because the mixture is made in the asphalt plant, the emphasis is required on the controls there and in all conditions of transport and placement can alter their physical and chemical conditions.

It is in this way we can ensure the construction of pavement of better quality, prepared in accordance with all relevant regulations in this matter, obtaining a better result in the life of flexible pavement structure.

The monitoring and quality assurance in engineering structures are designed as structural part of the process of project implementation, this is how it intends to make a field review of plans for quality control in flexible pavements, which are being implemented in the various works of the city of Medellin (Colombia). To obtain direct information from these, this will later be compared with the standards governing pavement construction specifications.

Initially we evaluated all the mechanical characteristics of the component materials of the pavement structure, focusing on the folder of asphalt, making a comparison between samples of mixtures (MDC-2) taken at work and specifications of the standards INVIAS.

Having the information in the field raised proceeds to identify possible causes of premature failure in the pavement structure, where it is possible to determine the most influential flaws in the construction processes and specifications of the dense hot mix type 2.

The study applies to three stretches of paving produced in the city of Medellin Colombia located between the bridge and Palos Verdes in the north-west, in which study and analyze variables such as density, thickness, flow, stability, temperature and % asphalt. It is means of "statistics used for quality control.

Delivering manual focused on building a quality control of flexible pavements, and in turn proposing alternatives to the existing analysis of variables affecting the quality of the finished product

INTRODUCCIÓN

El control y el aseguramiento de la calidad en las obras civiles están concebidos como parte estructural dentro del proceso de ejecución de proyectos.

Es así como se pretende hacer una revisión en campo de los planes de control de la calidad en los pavimentos flexibles, que se están implementando en las diferentes obras de la ciudad de Medellín (Colombia). Para obtener la información directa de estas, que posteriormente será comparada con las normas que rigen las especificaciones constructivas de los pavimentos. (Norma particular, EPPP, Área metropolitana e INVIAS).

Se busco implementar un análisis estadístico a las variables que afectan la calidad de los pavimentos tales como el control de calidad de materiales, control de temperaturas de mezclas, control de densidades, controles de rugosidades y estabilidad de las mezclas, control de espesores y controles de la formula de trabajo (periódicos), a través de herramientas estadísticas aplicadas al mejoramiento continuo de la calidad dadas por Ishikawa.

Para ofrecer alternativas diferentes a las utilizadas comúnmente (promedio aritmético) y determinar si los resultados obtenidos con las herramientas a implementar son más representativas y cercanas a la realidad.

Con el fin de establecer los puntos clave del sistema de calidad que debe existir al realizar este tipo de proyectos, es necesario definir una organización enfocada hacia la calidad de los proyectos y por ende su mejoramiento continuo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Se desea levantar un estado del arte de las diferentes técnicas de control de calidad que se hace en las obras de pavimentación en Medellín para compararlas con las exigidas por la normatividad que rige esta área de la construcción (Norma particular, EEPP, Área metropolitana e INVIAS). También se requiere visitar las obras de pavimentación que se estén llevando a cabo; Para recopilar información y poder fijar así antecedentes sobre el tema a investigar, es decir cómo se están llevando a cabo los procesos de aprobación de un proyecto de pavimentación en la ciudad y entrar a determinar si son acordes a lo exigido por los entes reguladores.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad el factor económico de toda obra civil juega un papel importante, es por esto que se hace necesario estudiar la forma en la cual se está controlando la calidad en las obras de pavimentación, dado que las negligencias en este control se traduce en sobre costo para un proyecto de pavimentación ya sea por exceso de gastos en el mantenimiento por fallas tempranas o anteriores al periodo de diseño ó por retrasos en la entrega del proyecto a causa del no cumplimiento de las especificaciones técnicas exigidas.

Cabe destacar que hoy en día el control que se está aplicando con más frecuencia en la evaluación de distintas variables en la ingeniería está basado en la recopilación de datos, que posteriormente son analizados por medio de herramientas aritméticas (medias), para después dar una conclusión donde se aprueba o no dicha variable, comparándola con estándares establecidos.

A partir de esto se encuentra la necesidad de proponer alternativas distintas para analizar las variables que intervienen en un proceso constructivo de la pavimentación como lo son los espesores y la densidad de compactación de la carpeta asfáltica, teniendo como objetivo buscar el mejoramiento continuo de dicho proceso. Basándonos en diferentes herramientas estadísticas para la reevaluación de dichas variables.

En donde se busca comparar las metodologías existentes con las propuestas para determinar cuál de las dos es más apropiada para la evaluación de calidad en obras de pavimentación en la ciudad de Medellín.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En un mundo globalizado en donde la necesidad de construir carreteras y ampliación de las mismas se ha presentado debido al alto índice de vehículos que transitan a diario por las mallas viales y carreteras. Es por esto que, para dicha construcción se recomienda una estructura de muy buena calidad que permita minimizar los riesgos de accidentalidad, logrando óptimos resultados en todas y cada una de las distintas etapas de construcción de estas con un adecuado nivel de confianza y al más bajo costo posible y así, poder identificar problemas e iniciar, recomendar o proporcionar las oportunas acciones correctivas al llevar a cabo un proyecto de dicha magnitud.

El tema de la calidad ha ganado gran importancia posicionándose hoy en día como una herramienta de gran valor para el manejo de las empresas. Para las empresas de Ingeniería, el asunto ha sido reciente. Las empresas constructoras se enfrentan cada vez más a un nivel de exigencia competitiva de calidad por parte de los clientes, debido a los antecedentes en la implementación de las normas ISO 9000:2000 en varias empresas constructoras. Es por ello que, se decide profundizar en este tema ya que se podrá tener una guía metodológica para llevar a cabo un buen control de calidad en las obras de pavimentación hechas para el Desarrollo Vial de Medellín (Antioquia).

Es por esto que se busca identificar si en las obras de pavimentación realizadas en la ciudad de Medellín se está haciendo el debido proceso del control de calidad, establecido por las normativas aferentes; y a su vez se desea demostrar si la utilización de herramientas estadísticas en el control de calidad en obras de pavimentación pueden ser determinantes a la hora de elegir resultados para la aprobación de dicho control, dado que estas nos pueden ayudar a disminuir costos, tanto en el proceso constructivo como en el mantenimiento de los pavimentos.

1.4 DELIMITACIÓN

1.4.1 Conceptual: comparación entre el control de calidad hecha en obras de pavimentación con la normativa correspondiente, enfatizándonos en el control de calidad de materiales, control de temperaturas de mezclas, control de densidades, controles de rugosidades y estabilidad de las mezclas, control de espesores y controles de la formula de trabajo (periódicos). Y a su vez se desea proponer nuevas herramientas estadísticas para el controlar la calidad de estas variables.

1.4.2 Espacio: área metropolitana de la ciudad de Medellín

1.4.3 Temporal: se llevara a cabo este estudio en el año 2009

2. HIPÓTESIS DEL PROBLEMA

Con el estudio de métodos de control de calidad en obras de pavimentación, se puede llegar a tener un estimativo de las principales causas de daños o deterioros prematuros en la estructura de este, permitiéndonos a la vez identificar las variables que tienen mayor influencia en el comportamiento de las mezclas densas en caliente tipo 2 (MDC-2).

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar las metodologías de control de calidad usadas en las obras de pavimentación en la ciudad de Medellín, para determinar si se cumple con la normativa existente.

3.2 .OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar en las obras muestras de mezclas asfálticas para verificar por medio de ensayos de laboratorio las diferentes propiedades tanto físicas como mecánicas que se deben cumplir, determinando si de ajusta a la normatividad.
- Identificar las posibles falencias que hay en los procesos de control de calidad en obras de pavimentación.
- Utilizar herramientas estadísticas para la evaluación de dichas variables que intervienen en el proceso de control de calidad en obras de pavimentación.
- Proponer metodologías de control de calidad en obras de pavimentación que rigen de acuerdo a las normas y especificaciones establecidas.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 REFERENTE HISTÓRICO

4.1.1. “Historia de los pavimentos urbanos. El autor de este artículo nos resume la historia de los pavimentos urbanos desde la antigüedad hasta el momento actual, citando cuáles han sido los materiales empleados en cada momento histórico y las técnicas que se han ido desarrollando a lo largo del tiempo.

➤ **Materiales**

La piedra fue uno de los primeros materiales que utilizó el hombre debido a sus extraordinarias características, tales como resistencia, decoración, etc., y también como materia prima para la fabricación de otros materiales de construcción.

Es muy probable que los griegos fueran los primeros en utilizar las cales para revestimientos de muros, siendo más tarde los romanos los que perfeccionaron el proceso de fabricación, seleccionando con gran cuidado las materias primas que llegaban de Etruria, estudiando aunque rudimentariamente, las propiedades de la cal después de cocida. A la cal una vez obtenida, le añadían arena para la fabricación de morteros.

Tanto en tiempos de los romanos como en los siglos siguientes, consideraron como caliza impura las que contenían arcilla para la fabricación de la cal.

A mediados del siglo XVIII se produce un gran avance en el conocimiento de las cales, con la investigación realizada por John Smeaton en Inglaterra, al encargarle la reconstrucción de un faro en Eddyston Roock que había sido destruido por el fuego. Para realizar esta obra marítima, tuvo Smeaton que buscar materiales adecuados para experimentar con varios tipos de cales. observó, que con las cales fabricadas a partir de las calizas que contenían una determinada proporción de arcilla en su composición, se obtenían morteros más resistentes que los fabricados con cales puras y que además esos morteros fraguaban bajo el agua, circunstancia que no ocurría con los morteros de cal tradicionales en aquella época. Este descubrimiento progresó muy poco y durante mucho tiempo se emplearon las viejas mezclas de cal grasa y puzolana (base de los morteros romanos).

La teoría de la hidraulicidad data de la segunda década del siglo XIX, siendo Vicat quien la define y afirma que, calcinando una mezcla íntima de caliza y arcilla molidas conjuntamente en húmedo, se obtiene una cal hidráulica.

Los estudios de Vicat y las sucesivas modificaciones posteriores que se realizaron, sirvieron de base para la fabricación del cemento Pórtland, que hoy en la actualidad tiene una gran importancia en el campo de los conglomerantes.

El empleo de los cementos naturales en la construcción, se remonta a los tiempos del antiguo Egipto, seguido posteriormente por griegos y romanos. Estos cementos eran productos naturales que en algunos casos se sometían a tratamientos térmicos imperfectos y pueden considerarse, como los materiales intermedios entre las cales hidráulicas y el cemento Pórtland. Durante varios siglos se siguieron empleando estos tipos de cemento con mejor o peor acierto.

La primera patente del cemento Pórtland data de 1824 y se le atribuye a Joseph Aspdin, constructor de Leeds. En el proceso de fabricación, se obtenía un producto de baja calidad debido a un defecto en la cocción.

Charles Johnson, contemporáneo de Aspdin, mejoró las proporciones de caliza y arcilla elevando la temperatura de cocción de los hornos hasta llegar a la sinterización, el producto una vez molido fraguaba mejor que el anterior y se le dio el nombre de cemento Pórtland, porque una vez fraguado tenía un color parecido a la piedra natural que se encuentra en la península de Pórtland al sur de Inglaterra.

Este proceso de fabricación, se basaba en métodos empíricos. El avance fundamental fue el resultado de las investigaciones llevadas a cabo por Vicat, demostrando que la sílice de la arcilla era la principal causante del endurecimiento en los cementos.

Tanto W. Michaelis como H. Le Chatelier, contribuyeron a dar soluciones a los mayores problemas a finales del siglo XIX, siendo en Estados Unidos donde se realizan trabajos sistemáticos y científicos sobre la composición del cemento Pórtland. Los progresos continuaron por Alemania, Francia, etc.

El empleo del hormigón es muy antiguo. En las ciudades de Troya y Micenas se utiliza un hormigón rudimentario de piedras aglomeradas con arcilla.

A partir del siglo I, los romanos comienzan a estudiar las posibilidades nuevas que ofrecía un material que poco a poco se había ido imponiendo; el empleo del hormigón (opus caementicium), hecho de morrillo mezclado con durísimo cemento de arena volcánica (puzolana) y arcilla, permitiendo a la arquitectura romana, superar los límites y las formas que a la arquitectura griega le impuso el uso exclusivo de la piedra.

Durante varios siglos se utiliza el hormigón como material de relleno hasta la aparición del cemento Pórtland, que es cuando comienza un estudio más

detallado del comportamiento de este material y de sus propiedades, como las de aumentar su resistencia con el tiempo, tomar la forma que en cada caso convenga al proyectista etc., siendo en la actualidad, uno de los materiales de mayor utilidad en la construcción.

Posteriormente se asocia el acero al hormigón para mejorar sus propiedades, dando lugar al hormigón armado, material de extraordinaria importancia para la construcción en la actualidad.

Excavaciones arqueológicas indican el amplio uso del asfalto natural hacia el año 3.800 a. de C. en Mesopotamia, valle del Indo y en Egipto. Los habitantes de estas regiones lo utilizaron para impermeabilizar estanques y depósitos de agua o como mortero para unir ladrillos o piedras.

Las rocas asfálticas, que son simplemente rocas porosas que se han saturado de asfalto natural a lo largo de su vida geológica, se utilizan hacia el 1.880 d. de C., en Francia, Inglaterra y en Filadelfia para pavimentar suelos, puentes y aceras.

Los materiales bituminosos obtenidos de la destilación del petróleo son los que más se utilizan en la actualidad.

➤ **Pavimentos de calzadas**

La primera vez que se emplea el firme es en Asia, en las vías que construyó el Imperio Hitita.

En Creta en el Minoico Medio (2.300 – 1.700 a. de C.), se utilizó como pavimento en la vía procesional que discurre desde las proximidades del mar hasta el palacio de Knossos, grandes losas de piedra asentadas sobre capas de arcilla, piedra y yeso. Generalmente la piedra utilizada es caliza por su abundancia en la zona y trabajabilidad aunque en contadas ocasiones se emplea la arenisca.

En Babilonia (600 a. de C.), en la avenida procesional de Aibur- Shabu, se emplean también losas como pavimento.

La base del firme consta de varias hiladas de bloques de terracota unidos por asfalto natural y como pavimento losas de piedra caliza achaflanadas en su parte inferior, selladas también con asfalto natural, incluso las juntas.

En Egipto, para la construcción de las pirámides, fue necesario construir caminos que además de ser resistentes tuvieran una superficie lisa e indeformable para transportar los materiales pesados, empleando para ello losas de piedra toscamente labradas asentadas sobre terreno firme.

Las vías griegas eran de carácter muy localizado, normalmente religioso y para facilitar el acceso a los templos utilizaron también losas de piedra como pavimento.

Estas calzadas tenían como característica especial, el de disponer de hendiduras de unos centímetros de profundidad en las losas de piedra para que sirvieran de guía a las ruedas de los carros. ¿Fue éste el origen remoto del carril del ferrocarril?

El sistema de urbanización y de comunicaciones más perfecto de la Edad Antigua corresponde al Imperio Romano por sus grandes detalles técnicos y funcionalidad de sus vías.

Los técnicos romanos construyeron vías con grandes alineaciones rectas, utilizando distintos firmes en función de la categoría de la vía y de su funcionalidad. Podemos considerar tres tipos:

- Vías urbanas (Stratis lapidibus).
- Caminos con firme (Iniecta Glarea).
- Caminos de tierra (Terrenae).

Las vías urbanas de más categoría, se construían con un gran firme. En primer lugar se efectuaba una excavación de tierras hasta encontrar una capa dura de cimentación, sobre la que se preparaba un lecho formado por arcillas y bolos o gravas de gran tamaño (statumen); sobre esta capa se extendía otra de hormigón de cal (rudus) y en otros casos piedra machacada con materiales sueltos de grano fino (nucleus), para sobre ésta, colocar como pavimento losas o lajas de piedra (summa crusta) colocadas con el máximo cuidado formando un extraordinario pavimento continuo, donde las juntas se cuidaban mucho.

Las vías urbanas de inferior categoría, se construían con un firme, algo inferior y constaba de una base formada por grandes bolos y materiales sueltos de grano fino y a veces cemento rudimentario de puzolanas, para después colocar como pavimento losas o lajas de piedra.

En otros casos, estas vías urbanas estaban formadas por dos bandas longitudinales de piedra y varias transversales para contener el empedrado concertado de los huecos centrales.

Todos los firmes urbanos disponían de un enlosado final como pavimento, para comodidad del peatón, servir al tráfico lento de animales y carros y por razones de higiene.

A las vías principales interurbanas se les daba otro tratamiento, al considerar que el tráfico era más rápido, normalmente no peatonal, suponiendo un gran peligro

los enlosados. estas vías estaban construidas sobre cimientos de piedra de gran espesor, terminados superficialmente con piedra caliza de menor tamaño.

El ancho de estas vías era de 5 a 6 m., 4,50 de calzada central para que pudieran cruzarse dos vehículos y el resto para dos paseos laterales.

La mano de obra empleada en la construcción estaba formada por legionarios que eran a la vez terraplenadores y soldados y siempre lo siguieron siendo. El material básico utilizado en la mayoría de los casos, con preferencia a otros materiales, era la zahorra natural de granulometría muy variada.

Los tamaños mayores se empleaban como cimiento del firme y sobre esa capa se colocaban otras de materiales sueltos de grano fino y en otros casos se estabilizaban con cal ya que la compactación era prácticamente nula.

La presencia del agua en el firme y los daños que ésta podía causar en el mismo, eran conocidos por los técnicos romanos, que trataron de evitarlos empleando una capa de arena entre la explanada y el resto del firme.

Tanto las aguas sobrantes de las fuentes públicas como las de lluvia las canalizaban hasta las cloacas contribuyendo así a la salubridad pública. Las cloacas de sección rectangular, generalmente situadas en el eje de la calle, disponían de losas de cierre en la coronación con juntas a tope dejando un hueco entre una y otra a una distancia determinada para absorber el agua de lluvia. en otro continente, los mayas, construyen caminos (Sache) para el acceso a los templos, empleando como cimiento piedras calizas blancas, apisonadas con cilindros de piedra, y como pavimento un enlosado de la misma naturaleza, conservándose en perfecto estado al no tener que soportar estos pavimentos la acción de las cargas de carros y caballerías etc. Otros caminos eran el Nohbe con gran ancho y las veredas (Colbe).

Los aztecas construyeron calzadas locales y cortas situadas en los alrededores de México. la caída del Imperio Romano, supone su segregación en pequeñas naciones, desapareciendo en parte la comunicación entre los pueblos. En aquellos siglos, las órdenes religiosas son las que fomentan la comunicación a través de los caminos peregrinos en España, Francia, etc., encargándose los señores feudales, de la conservación y mejora de los caminos de sus cercanías.

En la Edad Media aunque en menos escala es frecuente la pavimentación con losas de piedra más o menos concertadas y también el empleo de piedras de tamaño más reducido como pavimento (empedrados) para el tránsito de caballerías y ganados.

A finales del siglo XVIII se inicia una nueva visión tecnológica de los pavimentos urbanos por razones de higiene, mejora del transporte, etc. La tipología de los pavimentos de piedra en las ciudades españolas es muy variada. Los más característicos son los siguientes:

Pavimento de adoquín rodado de 20 x 30 cm y de 18 ó 20 cm de espesor asentando sobre lecho de arena. Registro formado por bordillos de rodado.

Pavimento de adoquín mosaico de 10 x 18 cm de pórvido de 6 a 8 cm de espesor, tomado con mortero de cemento sobre base de hormigón hidráulico de 20 a 30 cm de espesor Pavimentos de hormigón blindado de unos 20 cm de espesor.

Pavimento (firme blanco) que consistía en 20 cm de piedra machada y recebo con árido de machaqueo o tierra seleccionada.

A principios del siglo XIX se comienzan a pavimentar calles utilizando alquitrán en riegos. Las primeras mezclas con alquitrán in situ se extendieron en algunas calles de Londres y más tarde en zonas peatonales de la Puerta del Sol, (Madrid). Posteriormente, en Estados Unidos se emplearon mezclas fabricadas a partir de rocas asfálticas y de asfaltos naturales. Como consecuencia del desarrollo de la industria del petróleo, se comenzó a emplear los betunes asfálticos para la fabricación de mezclas asfálticas, siendo el norteamericano Richardson el que estableció las bases de la tecnología de las citadas mezclas, que en la actualidad son básicas para la pavimentación. Sin embargo, el desarrollo tecnológico de estos materiales se produce durante la II Guerra Mundial por las urgentes necesidades de construcción de pistas de aeropuertos militares.

Como pavimentos más característicos de aquella época podemos citar:

Pavimento de losetas de asfalto comprimido de 20 x 20 x 4 cm colocadas con mortero de cemento o con riego asfáltico en algunos casos, sobre una base de hormigón de unos 20 cm de espesor Pavimento de asfalto fundido en capa de 5 cm sobre base de hormigón de unos 20 cm de espesor Pavimento Warren, llamado así por ser Warrenite la casa especializada en la construcción de estos pavimentos en los que se empleaban grandes dotaciones de betún. La sección de este firme era la siguiente:

- 30 cm. de zahorras naturales
- 10 cm. de piedra machacada
- Riego profundo de 7 kg /m² de betún 180/200 y extensión de árido rodado.
- Riego superficial de 3 kg /m² de betún 180/200 y extensión de árido rodado.

A mediados del siglo XX, en las vías urbanas se comienzan a cubrir los antiguos pavimentos de piedra con capas de mezcla asfálticas, a pesar de su durabilidad y capacidad de soporte en algunos casos para resistir cargas pesadas, siendo entre otras causas las siguientes:

- Refuerzos necesarios por aumento de las cargas de tráfico
- Por ser su rodadura incomoda y ruidosa.
- Convertirse en un peligro al hacerse deslizantes.
- Su elevado coste de conservación tanto de materiales como de mano de obra.
- Hacer más visible la señalización horizontal, etc.

A finales del último tercio del siglo XX, se emplean a gran escala innovaciones particularmente adaptadas a las necesidades urbanas, como son los microaglomerados, pavimentos drenantes, fonoabsorbentes, etc.

➤ **Pavimentos de aceras**

Parece ser que la primera vez que se construyeron aceras es en la ciudad de Pompeya donde la aristocracia romana tenía sus fincas de recreo. Como se observa en la, las aceras se encuentran elevadas respecto a la calzada y delimitadas lateralmente por un bordillo de piedra que sirviera de contención de las mismas, impidiendo o dificultando a las caballerías y carruajes, invadir las zonas reservadas a los peatones y encauzar las aguas de lluvia en su encuentro con la calzada. El pavimento era la piedra muy similar al utilizado para la calzada.

Después de la caída del Imperio Romano, los anglosajones son los que comienzan a desarrollar las vías peatonales por el aumento del tráfico de carruajes y caballos y es alrededor del año 1.550, aproximadamente, cuando se comienza a apartar al peatón de la vía.

En el transcurso de los siglos realmente se evoluciona muy poco en la construcción de aceras, hasta la aparición del automóvil que plantea la necesidad de establecer en las ciudades, calzadas para circulación de vehículos y vías para peatones.

Estas pueden emplazarse junto a la calzada o ser independientes de la misma como es el caso de las zonas peatonales, pero elevadas respecto a la calzada. en cuanto al pavimento se emplea la piedra más o menos concertada.

Actualmente, los bordillos de delimitación acera-calzada son de piedra (granito, rodado, calizo, etc.) o de hormigón prefabricado de distintas formas y tamaños, asociados a éstos y para canalizar el agua de lluvia, se emplean rigolas, piedra natural, hormigón prefabricado, etc., o caces en las calles de escasa pendiente longitudinal.

En cuanto a los pavimentos empleados para vías peatonales con condicionantes distintos a los empleados en calzadas.

➤ **Conservación**

La conservación de las vías, data de los tiempos de Roma con grandes detalles técnicos, considerándose un servicio fundamental al Imperio, el mantener la red viaria que fue la más perfecta de la Edad Antigua. César Augusto fue nombrado curador y comisario de los grandes caminos de los alrededores de Roma y Julio César fue curador de la Vía Apia. El mantenimiento en las provincias dependía del gobernador y en cada municipio de los magistrados locales.

En los siglos siguientes existe un gran abandono de la conservación de las vías. En España, fue Carlos III y su Ministro el Conde de Florida blanca los que comenzaron la mejora de la red viaria. En Inglaterra, la Ley de pavimentación de Westminster, estableció un nuevo cuerpo funcional responsable de las mejoras de las calles, llamado "Comisionado de pavimentación Actualmente en las ciudades y poblaciones importantes se dispone de procedimientos (sistemas de gestión) consistentes en administrar el presupuesto asignado a la conservación de la red viaria urbana y que basándose en una información básica (características geométricas, secciones estructurales, tipos de tráfico, etc.) y en la información del evolución de sus deterioros y estado de los pavimentos, en el comportamiento de los firmes, permite a los técnicos de conservación, definir los tratamientos adecuados para cada caso, orden de prioridad (actuación inmediata o a medio o largo plazo), valorar las correspondientes operaciones de conservación, coordinar y controlar las mismas, para así poder obtener el mejor aprovechamiento de los recursos disponibles." ¹

¹ A R T Í C U L O S CARRETERAS

4.1.2. Generalidades de los pavimentos flexibles.

4.1.2.1 Que es un pavimento flexible. Una estructura de pavimento flexible puede constar de dos o más capas. Las capas, comenzando en la sub-rasante y siguiendo en orden hacia arriba, generalmente se designan como revestimiento o capa de súbbase, revestimiento o copa de base y capa superficial o capa de rodadura. En donde se identifican así:

4.1.2.2 Características de los pavimentos flexibles.

➤ Terreno de fundación (sub-rasante).

Rige lo indicado en el ART 220 de INVIAS.

Se le debe realizar en ensayo del CBR para identificar si esta es apta para soportar toda la estructura del pavimento, en el cual como mínimo debe arrojar un resultado superior al 3%. Contenido de materia orgánica inferior al 2%, límite líquido menor al 2% y el índice plástico inferior al 40%.

Es el suelo preparado y compactado para soportar una estructura o un sistema de pavimento.

a) Si el terreno de fundación es pésimo, debe desecharse el material que lo compone siempre que sea posible, y sustituirse este por un suelo de mejor calidad.

b) Si el terreno de fundación es malo, habrá que colocar una sub-base de material seleccionado antes de colocar la base.

c) Si el terreno de fundación es regular o bueno, podría prescindirse de la sub-base.

➤ Capa de súb-base.

Rige lo indicado en el ART 300 y 320 de INVIAS

La cual deberá dar como resultado en la maquina de los ángeles un desgaste máximo del 50%, en el CBR 20, 30 o 40% mínimo, índice plástico menor o igual al 6% y un equivalente de arena del 25% mínimo.

La capa de súbbase es la porción de la estructura de pavimento flexible entre la sub-rasante y la capa de base. La súbbase comúnmente consta de una capa compactada de material granular, ya sea tratada o no tratada, o una capa de suelo

tratada con una mezcla conveniente. Además de su posición en el pavimento comúnmente se distingue del material de la capa de base por requerimientos menos estrictos de la especificación para resistencia, tipos de agregados y gradación.

La capa de súbbase se usa en general para aumentar económicamente la resistencia del pavimento arriba de la provista por los suelos de la sub-rasante, sin embargo, la súbbase puede omitirse, si la estructura requerida de pavimento es relativamente delgada o si los suelos de la sub-rasante son de alta calidad. Además de su función principal, las capas de súbbase pueden tener funciones secundarias como:

1. Evitar la intrusión de suelos de grano fino del lecho del camino dentro de las capas de base. Se deben especificar materiales bien clasificados, si la súbbase está destinada a servir para este propósito.
2. Para minimizar los efectos de la congelación. Para este propósito, se deben especificar materiales no susceptibles a la acción perjudicial de la congelación.
3. Para ayudar a evitar la acumulación de agua libre dentro o debajo de la estructura del pavimento. Se debe especificar material que se drena relativamente libre si la súbbase está destinada a servir para este propósito, y se deben proporcionar los medios de coleccionar y eliminar el agua acumulada de la súbbase.
4. Proveer una plataforma de trabajo para equipo de construcción o para subsecuentes capas de pavimento en los cortes de roca.

➤ **Capa de Base.**

Rige lo indicado en el ART 300 y 330 de INVIAS

La cual deberá dar como resultado en la maquina de los ángeles un desgaste máximo del 40%, en el CBR 80% mínimo, índice de aplanamiento y alargamiento 35 máximo, índice plástico menor o igual al 3% y un equivalente de arena del 30% mínimo.

La capa de base es la porción de la estructura de pavimento flexible inmediatamente debajo de la capa superficial. Se construye sobre la capa de sub-base o si esta no se usa, directamente sobre la sub-rasante. Su principal función es como una porción estructural del pavimento. la base comúnmente consta de agregados como piedra triturada, escoria triturada o grava triturada o sin triturar y arena, o la combinación de estos materiales. los agregados pueden usarse tratados o no tratados con aglomerantes estabilizadores como cemento Pórtland, asfalto o cal. En general, las especificaciones para materiales de la capa base son

considerablemente más estrictas que las de los materiales de sub-base en los requerimientos para resistencia, estabilidad, dureza, tipos de agregados y gradación.

➤ **Capa superficial o carpeta de rodadura.**

Rige lo indicado en el ART 340 y 400 de INVIAS

Además de su función principal como una parte estructural del pavimento, la capa superficial se debe proyectar para resistir las fuerzas abrasivas de tráfico, limitar la cantidad de agua superficial que penetra en el pavimento, proveer una superficie resistente a deslizamiento, y proporcionar una superficie lisa y uniforme para la transportación. la capa superficial también debe ser durable, capaz de resistir fracturas y desmoronamientos sin llegar a ser inestable en las condiciones del tráfico y del clima.

Comúnmente construido sobre una capa de base, la capa superficial de una estructura de pavimento flexible consta de una mezcla de agregados minerales y de materiales bituminosos. el éxito de tal capa depende sobre todo de la obtención de una mezcla con la óptima gradación de agregado y porcentaje de aglutinador bituminoso.

Los agregados bien graduados con un tamaño máximo como de $\frac{3}{4}$ a 1 pulg, se especifican comúnmente para capas superficiales de caminos. Sin embargo, una gran variedad de otras gradaciones, desde arena como en asfalto laminar, hasta mezclas gruesas y de tamaño uniforme, se ha usado y ha dado rendimiento satisfactorio en las condiciones específicas.

El concreto asfáltico para capa superficial se prepara generalmente por mezclado en la planta de agregados calientes, relleno mineral y cemento asfáltico. también se ha obtenido un rendimiento satisfactorio con mezclado de planta de agregados fríos y asfalto formulado especialmente, y también mezclando la composición en el lugar con asfaltos líquidos o emulsiones asfálticas.

Las especificaciones de construcción en general exigen que antes de colocar una capa superficial, se aplique material líquido bituminoso sobre las capas de base de agregado, sin tratar como una capa primaria, y en las capas de base tratados y entre las capas superficiales como una capa de liga.

4.1.2.3 Selección del tipo de pavimento a usar en un determinado proyecto.

El diseño correcto es aquel que logra una estructura tal que sea resistente y permita un uso racional de los recursos y materiales necesarios para su ejecución. A nivel general puede decirse lo siguiente respecto a los distintos tipos de pavimentos.

- Pavimentos rígidos demanda bajos costos de conservación pero altos costos de ejecución.
- Pavimentos flexibles demandan altos costos en conservación pero bajos costos en ejecución en comparación de los rígidos.
- Pavimentos semi-rígidos son los más económicos si se cuenta con los materiales adecuados.
- Pavimentos articulados se encuentran dentro de los más económicos.

En términos generales no existen reglas que definan el tipo de soluciones para un proyecto dado, debido a la multiplicidad de factores que interviene se procura entonces hacer varios diseños, evaluar dichas alternativas y elegir la más apropiada.

4.1.2.4 Función estructural de un pavimento.

- Deberá tener una resistencia mecánica óptima “resistencia a la compresión inconfiada”.
- Deberá tener como mínimo una duración que cumpla con el periodo de diseño.
- Condiciones adecuadas de drenaje.
- Cumplir con los costos desde el punto de vista de la ingeniería.

4.1.2.5 Función social de un pavimento

- cumplir con los requisitos mínimos en cuanto a costos que le genera al usuario: ahorros en combustibles, tiempo y costo de mantenimiento del vehículo.
- deberá cumplir con los requisitos mínimos de agarre de las llantas.
- Deberá dar buena comodidad al usuario en cuanto a sonido, huecos y grietas.

4.1.2.6 Factores que afectan el diseño, construcción y mantenimiento de una vía.

➤ localización de la obra.

Se debe identificar muy bien los tramos en los cuales se construirá la vía, ya que es indispensable saber los movimientos de tierra en esta, tomando como referencia los cortes y llenos a realizar en la obra que se va a llevar a cabo, donde esto será de gran importancia para definir su costo y estabilidad.

➤ **Localización del nivel freático (N. A. F).**

Es indispensable tener bien ubicada la cota de este, ya que el agua nos puede generar baja resistencia al corte y esto puede ocasionar un gran problema en el suelo a fundar volviéndolo lodoso.

➤ **condición de la sub-rasante**

Debe ser muy buena ya que es en donde apoyamos nuestro proyecto (subbase, base y carpeta de rodadura).

Para saber si es buena recurrimos al ensayo del CBR (pavimentos flexibles) y ensayo de placa (pavimento rígido).

➤ **clima**

Se debe identificar el clima promedio y la temperatura promedio del pavimento en el sitio de colocación, (lluvias, nieve o altas temperaturas a causa del sol).

➤ **transito que se va ha movilizar en la vía.**

- Peso vehicular:
- Disposición final de llantas
- Impacto por frenado, tope (policías acostados), frenado a altas velocidades (taches) etc.
- Numero de aplicaciones de carga
- Presión y área de contacto
- Velocidad de los vehículos.

➤ **factores intrínsecos**

- resistencia estructural
- durabilidad
- deformabilidad (elásticas o recuperables, plásticas)
- costos de operación
- mantenimiento

4.2 REFERENTE CONCEPTUAL

4.2.1 Propiedades de los materiales y mezclas asfálticas.

4.2.1.1 Comportamiento del ligante asfáltico. El ligante asfáltico por si mismo es un material de construcción atractivo y estimulante con el cual trabajar. Su más importante característica, muchas veces una ventaja, a veces una desventaja, es su susceptibilidad térmica. Esto es, sus propiedades mensurables dependen de la temperatura. Por esta razón, casi todos los ensayos de caracterización de cementos asfálticos y mezclas asfálticas deben especificar la temperatura. Sin una temperatura de ensayo especificada, el resultado del ensayo no puede ser efectivamente interpretado.

El comportamiento del cemento asfáltico depende también del tipo de aplicación de carga. Para la misma carga y el mismo asfalto, diferentes tiempos de aplicación de la carga implicaran propiedades diferentes. Por ello, los ensayos sobre los cementos asfálticos deben también especificar la velocidad de la carga. Como el comportamiento del cemento asfáltico es dependiente de la temperatura y de la duración del tiempo de aplicación de la carga, estos dos factores pueden intercambiarse. Es decir, una baja velocidad de carga puede simularse con temperaturas elevadas y una alta velocidad de carga puede simularse con bajas temperaturas.

El cemento asfáltico es llamado material visco-elástico porque exhibe simultáneamente características viscosas y elásticas. A altas temperaturas, el cemento asfáltico actúa casi como un fluido viscoso. En otras palabras, calentando a temperaturas elevadas (100°C), muestra la consistencia de un lubricante utilizado como aceite para motores. A muy baja temperatura, (0°C), el cemento asfáltico se comporta casi como un sólido elástico, es decir, actúa como un trozo de goma. Cuando es cargado se estira o se comprime adoptando diferentes formas. Cuando es descargado, retoma fácilmente su forma original. A una temperatura intermedia, que es una condición prevista en el pavimento, el cemento asfáltico tiene característica de ambos estados, un fluido viscoso un sólido elástico.

Al estar compuesto de moléculas orgánicas, reacciona con el oxígeno del medio ambiente. Esta reacción se denomina "oxidación" y cambia la estructura y composición de las moléculas de asfalto. Al reaccionar con el oxígeno, la estructura del asfalto se hace mas dura y frágil y da origen al termino "endurecimiento por oxidación" o "endurecimiento por envejecimiento".

La oxidación se produce más rápidamente a altas temperaturas. Es por ello que parte del endurecimiento ocurre durante el proceso de producción, cuando es necesario calentar el cemento asfáltico para permitir el mezclado y compactación.

Este es también el motivo por el que la oxidación es más crítica en cementos asfálticos utilizados en pavimentos en climas cálidos y desérticos.

Los ligantes asfálticos modificados son productos concebidos para superar las propiedades del asfalto original, mejorando así el desempeño del pavimento a largo plazo. Si bien los modificadores pueden afectar muchas propiedades la mayoría de ellos intenta reducir la dependencia con la temperatura, el endurecimiento por oxidación del cemento asfáltico y la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica.

4.2.1.2 Comportamiento del agregado mineral. Una amplia variedad de agregados minerales ha sido empleada para producir HMA. Algunos materiales son llamados agregados naturales porque simplemente son extraídos de depósitos aluviales o glaciares y utilizados luego sin ningún procesamiento para elaborar la HMA (back-run o pit-run).

Los agregados elaborados pueden incluir a los naturales que han sido separados en distintas fracciones según su tamaño, lavados, triturados o tratados para mejorar ciertas características de comportamiento de la HMA. Sin embargo, en muchos casos el agregado es explotado en canteras y el más importante proceso al que es sometido es la trituración y la separación según sus tamaños.

El agregado sintético es cualquier material no extraído de los depósitos ni explotado en canteras; en muchos casos, es un sub-producto industrial. La escoria de alto horno es un ejemplo. Ocasionalmente se produce un agregado sintético para aportar una característica deseada en el desempeño de la HMA.

Un pavimento existente puede ser removido y procesado para elaborar una nueva HMA. El pavimento reciclado o RAP (“reclaimed asphalt pavement”) es una cada vez más utilizada fuente de agregados para pavimentos asfálticos.

Crecientemente, los residuos son usados como agregados o bien incorporados en los pavimentos asfálticos para resolver un problema ambiental. Neumáticos y vidrios son dos de los más reconocidos residuos con los que se han “rellenado” pavimentos asfálticos. En algunos casos, los residuos pueden realmente aportar una mejora en ciertas características del desempeño de la HMA. En otros casos se ha considerado suficiente resolver el problema de la disposición de los residuos sólidos sin esperar una mejora en el desempeño de la HMA.

Independientemente de la fuente, métodos de procesamiento o mineralogía, se espera que el agregado provea un fuerte esqueleto pétreo para resistir las repetidas aplicaciones de carga.

Agregados de textura rugosa, de buena cubricidad, dan mas resistencia que los redondeados y de textura lisa. Aunque una pieza de agregado redondeado podría poseer la misma resistencia interna de una pieza angular, las partículas angulares tienden a cerrarse más apretadamente, resultando una fuerte masa mineral. las partículas redondeadas, en vez de trabarse, tienden a deslizarse una sobre otras. Cuando una masa de agregados es cargada, puede generarse dentro de la masa un plano por el que las partículas sean deslizadas o cizalladas unas con respecto de las otras, lo cual resulta en una deformación permanente de la masa. en este plano donde las tensiones de corte exceden a la resistencia al corte de la masa de agregados. La resistencia al corte en los agregados es de crítica importancia en la HMA.

El diferente comportamiento al corte de distintos agregados puede fácilmente observarse en las pilas de acopio, en las cuales los agregados triturados forman pilas más empinadas y estables que las redondeadas. En ingeniería se llama ángulo de reposo ala pendiente de la pila de acopio. El ángulo de reposo de una pila de agregado triturado es mayor que el una pila de agregado redondeado o no triturado.

4.2.1.3 Comportamiento de la mezcla asfáltica. El concreto asfáltico, también llamado “mezcla asfáltica en caliente” o simplemente “HMA”= “hot mix asphalt”, es un material vial compuesto por un ligante asfáltico y un agregado mineral. el ligante asfáltico que puede ser un cemento asfáltico o un cemento asfáltico modificado, actúa como un agente ligante que aglutina las partículas en una masa cohesiva. Al ser impermeable al agua, el ligante asfáltico también impermeabiliza la mezcla. El agregado mineral, ligado por el material asfáltico, actúa como un esqueleto pétreo que aporta resistencia y rigidez al sistema.

El comportamiento de una HMA es afectado por las propiedades individuales de cada componente y por la interrelación de aquellos dentro del sistema.

Una forma de entender mejor el comportamiento de las mezclas asfálticas es considerar los tipos básicos de deterioros que el Ingeniero trata de evitar: la deformación permanente, la fisuración por fatiga y la fisuración por baja temperatura.

➤ **Deformaciones permanentes.**

El comportamiento de las mezclas asfálticas con respecto a las deformaciones permanentes depende fuertemente del tipo de ligante utilizado, así como de la composición de la mezcla, forma y tamaño de las partículas, calidad de los agregados y aditivos, cuando éstos son empleados.

El ancho de carriles y la velocidad del tránsito también pueden afectar la deformación permanente. La distribución lateral de las huellas de paso de los vehículos está influenciada por la velocidad de tránsito, ancho de carril y profundidad de las huellas. Las velocidades bajas de tránsito, que corresponden a frecuencias de carga más bajas, también contribuyen directamente al desarrollo de deformaciones permanentes en las capas bituminosas.

Después de la fase de consolidación al comienzo de la vida de servicio del pavimento, el índice de deformaciones permanentes normalmente decrece con un incremento en las repeticiones de carga, hasta que se vuelve razonablemente constante. Finalmente, el índice de deformación permanente puede comenzar a incrementarse con un aumento en las repeticiones de cargas. Esta última fase ocurre sobre la vía sólo en situaciones extremas, e indican deterioro total.

La deformación permanente se caracteriza por una sección transversal de la superficie que ya no se encuentra en su posición de diseño. Se le llama permanente porque representa una acumulación de pequeñas cantidades de deformación irrecuperable que ocurre cada vez que se le aplica la carga.

Existen dos principales tipos de ahuellamiento: ahuellamiento por muchas aplicaciones repetidas de carga a la subrasante y ahuellamiento por acumulación de deformaciones en la capa asfáltica.

- Ahuellamiento por fallas en la subrasante.

Este tipo de ahuellamiento es causado por un excesivo esfuerzo repetido en las capas inferiores (base o subbase) bajo la capa de asfalto. Si bien los materiales más rígidos pueden reducir parcialmente este tipo de ahuellamiento, es considerado un problema estructural más que de los materiales en sí. Frecuentemente, es el resultado de una sección de pavimento demasiado delgada, sin la suficiente profundidad para reducir, a niveles tolerables, las tensiones sobre la subrasante cuando las cargas son aplicadas. Podría ser también el resultado de una subrasante debilitada por el ingreso inesperado de humedad. La acumulación de la deformación permanente ocurre más en la subrasante que en las capas asfálticas.

- Ahuellamiento por fallas en la capa de asfalto.

El tipo de ahuellamiento que más preocupa a los diseñadores de mezclas asfálticas es el producido por la acumulación de deformaciones en las capas de asfalto. Este tipo de ahuellamiento es causado por una mezcla cuya resistencia al corte es demasiado baja para soportar las cargas pesadas repetidas a las cuales está sometida. A veces el ahuellamiento ocurre en una capa superficial de ella. En

otros casos, la capa superficial no es en sí misma propensa al ahuellamiento, pero acompaña la deformación de una inferior más débil.

Cuando una mezcla asfáltica se ahuela, es evidente que tiene baja resistencia al corte. Cada vez que un camión aplica una carga, una deformación pequeña, pero permanente, se ocasiona. La deformación por corte se caracteriza por un movimiento de la mezcla hacia abajo y lateralmente. Con un número dado de repeticiones de carga aparecerá el ahuellamiento. Los pavimentos asfálticos ahuellados tienen una seguridad deficiente porque los surcos que se forman retienen suficiente agua para provocar hidroplaneo o acumulación del hielo.

El ahuellamiento de una mezcla débil ocurre típicamente durante el verano, bajo temperaturas altas del pavimento. Si bien esto podría sugerir que es un problema del cemento asfáltico, es más correcto enfocarlo como un problema conjunto de los agregados minerales y del cemento asfáltico.

Una manera de incrementar la resistencia al corte de las mezclas asfálticas es no sólo utilizar cemento asfáltico más duro, sino que se comporte más como un sólido elástico a altas temperaturas del pavimento. Así, cuando se aplique la carga, el cemento asfáltico actuará como una banda de goma y volverá a su posición original en lugar de deformarse.

Otra manera de generar resistencia al corte en las mezclas asfálticas es, seleccionando un agregado que tenga un alto grado de fricción interna, uno que sea cúbico, que tenga una superficie rugosa y pueda desarrollar un grado de contacto partícula a partícula. Cuando se aplica una carga a una mezcla, las partículas de los agregados se juntan de tal manera que actúan más como una sola, larga y elástica piedra. Como en el cemento asfáltico, los agregados actuarán como una banda de goma que volverá a su forma original cuando es descargado. De esta forma, no se acumula una deformación permanente.

➤ **Fisuración por fatiga.**

Aunque generalmente una carga simple no genera fisuras en el pavimento, las repeticiones de carga pueden inducir agrietamientos en las capas confinadas. Los esfuerzos cortantes y de tensión, así como las deformaciones en las capas confinadas, causan la formación de microgrietas. Estas microgrietas acumuladas con la repetición de cargas pueden generar macrogrietas visibles. Este proceso es llamado *fatiga*.

Un signo temprano de fisuramiento por fatiga son los rompimientos intermitentes longitudinales en las huellas de las cargas del tránsito. El fisuramiento por fatiga es progresivo, ya que en algún punto los rompimientos iniciales se unen, causando más rompimientos. Al avanzado fisuramiento por fatiga se le conoce

como piel de cocodrilo. En casos extremos, se presentan deformaciones cuando parte de la carpeta es desalojada por el tránsito.

El fisuramiento por fatiga es causado por numerosos factores que ocurren en forma simultánea. Entre ellos, las cargas pesadas repetidas; deflexiones delgadas bajo ruedas pesadas de carga; deflexiones altas aunadas a la tensión horizontal en la superficie de la capa de asfalto y mal drenaje, generado por una construcción pobre y un mal diseño del pavimento.

Frecuentemente, el fisuramiento por fatiga es meramente un signo de que el pavimento ha sobrepasado el número de aplicaciones de carga para el cual fue diseñado y en este caso el pavimento sólo necesitará una rehabilitación planificada. Asumiendo que el fisuramiento por fatiga se dé después del tiempo de diseño, debe considerarse una progresión natural de la estrategia de diseño del pavimento. Si el rompimiento ocurre mucho antes de lo esperado, puede ser un signo de que las cargas del tránsito fueron subestimadas. Consecuentemente, los mejores consejos para prevenir el fisuramiento por fatiga son: una estimación adecuada del tránsito para el periodo de diseño, mantener la subrasante seca, utilizar pavimentos más gruesos, utilizar materiales de pavimentación que no sean excesivamente susceptibles a la humedad, y utilizar mezclas asfálticas elásticas que soporten las deflexiones normales.

Las mezclas asfálticas deben tener la suficiente resistencia para soportar la tensión aplicada a la base de la capa de asfalto y ser lo suficientemente elásticas para soportar la aplicación de carga repetida sin romperse. Además, la mezcla asfáltica debe diseñarse para que se comporte como un material elástico cuando se carga a tensión y se sobreponga al rompimiento por fatiga. Esto está acompañado de un límite en las propiedades de dureza del cemento asfáltico, debido a que el comportamiento a tensión de las mezclas asfálticas está fuertemente influenciado por el cemento asfáltico. En efecto, los asfaltos blandos tienen mejores propiedades con respecto al rompimiento por fatiga que los asfaltos duros.

El fisuramiento también puede ocurrir como resultado de una combinación de los siguientes mecanismos:

- Fisuramiento inducido por el tránsito.
 - Fisuramiento por temperatura.
 - Fisuramiento por reflexión.
-
- Fisuramiento inducido por el tránsito.

Las cargas del tránsito inducen esfuerzos y deformaciones en las capas del pavimento. Dependiendo de la estructura del pavimento y las propiedades de las capas, los esfuerzos de tensión y cortantes y las deformaciones son inducidas en

lugares específicos de las capas confinadas. La aplicación repetida de esos esfuerzos y deformaciones, con el paso repetido del tránsito, inducirá fisuramiento por fatiga en esos puntos.

- Fisuramiento por temperatura.

Cuando se presentan temperaturas muy bajas en la superficie del pavimento, se provocan esfuerzos de tensión y deformaciones en el pavimento, debido a la contracción térmica. A temperaturas muy bajas, y especialmente debajo el punto de transición de cristalización del asfalto, la relajación de los esfuerzos de tensión inducidos térmicamente ocurren muy despacio. consecuentemente los esfuerzos de tensión se incrementan cuando el pavimento se enfría, lo cual puede exceder la resistencia del asfalto. en el asfalto, las fisuras podrían aparecer y propagarse con los ciclos climáticos fríos. Estos esfuerzos de tensión inducidos térmicamente pueden también combinarse con esfuerzos de tensión inducidos por el tránsito causando el fisuramiento.

En general, los ligantes asfálticos duros son más propensos a la fisuración por baja temperatura que los blandos. Los ligantes asfálticos excesivamente oxidados, sea por excesiva propensión a la oxidación o por pertenecer a una mezcla con muy alto porcentaje de vacíos, o por ambas causas, son más susceptibles al fisuramiento por baja temperatura. así, para evitar la fisuración por baja temperatura, los Ingenieros deben usar un ligante blando, un ligante no muy propenso al envejecimiento, y controlar in situ el contenido de vacíos de aire de forma tal que el ligante no resulte excesivamente oxidado.

- Fisuramiento por reflexión.

Los fisuramientos por reflexión ocurren si una capa de asfalto yace sobre una capa con grietas o juntas, lo cual permite movimientos horizontales muy grandes debido a variaciones en la temperatura, o cuando no existe o existe muy poca transferencia de carga a través de las grietas o juntas.

Los fisuramientos por reflexión pueden ser causados por deformaciones horizontales controladas por la temperatura de los materiales subyacentes. Estas deformaciones provocarán esfuerzos de tensión en la capa superior, llevando a grietas de reflexión, con y sin la presencia del tránsito.

Si la transferencia de cargas a través de las fisuras o juntas es baja, resultando en un gran desplazamiento vertical relativo debido a las cargas generadas por el tránsito, provocará esfuerzos cortantes muy altos en la capa de asfalto alrededor del área de las juntas. si los esfuerzos cortantes son mayores que la resistencia del asfalto o el número de repeticiones de cargas es suficiente para causar fatiga,

las grietas aparecerán en la parte superior de la capa de asfalto en la misma posición de las grietas o juntas de la capa subyacente.

4.2.2 Tipos de controles de calidad hechos en obra. El control de calidad aplicado a pavimentos se divide en dos grupos principales:

4.2.2.1 Controles rutinarios durante la ejecución de obra. Estos controles se emplean para comprobar la calidad de los materiales componentes y verificar que se cumplen las especificaciones de obra.

Son útiles para detectar posibles deficiencias que puedan afectar la calidad del pavimento, de modo de corregirlas a tiempo. Este control está a cargo del contratista y constituye lo que se denomina "autocontrol".

Dentro de este grupo se incluyen los controles previos para evaluar las características de los materiales, componentes del asfalto y el proceso de dosificación y ajuste técnico y económico de mezclas de acuerdo con las exigencias del contrato.

4.2.2.2 Controles para recepción y pago de obras. En general, son realizados por el Comitente o por profesionales que lo representen, de modo de asegurar la aleatoriedad en el procedimiento de extracción de muestras y garantizar la representatividad de los resultados obtenidos.

Su objetivo es obtener valores cuantitativos de la calidad lograda y comprobar que las variables que se controlan se mantienen dentro de los rangos admitidos por las tolerancias del contrato.

En caso contrario, se puede decidir que se procede a su corrección, a la aplicación de multas o, en caso extremo, el rechazo de esa porción de obra.

Estos controles se aplican tanto durante la ejecución del pavimento como al producto terminado.

4.2.3. Funciones que debe hacer la persona que este llevando acabo el control de calidad en una obra.

4.2.3.1. Inspecciones Diarias de Campo. Las inspecciones diarias de campo consisten en la realización, como su nombre lo dice, de inspecciones a las diferentes obras que se ejecutan en la construcción de carreteras con el fin de verificar que los procesos constructivos sean los adecuados durante la ejecución de las obras, la realización de tomas de muestras para su posterior evaluación en laboratorios para determinar la calidad de los materiales, llevar un registro

fotográfico como evidencia de la evolución del proyecto y plantear soluciones a los inconvenientes que se presenten durante la ejecución de la obra.

Durante la ejecución de las inspecciones diarias de campo, se hace necesario llevar un registro o formato llamado informe diario de avance de la obra, el cual tiene la funcionalidad de memoria de campo o evidencia para el mejoramiento del sistema de calidad de la empresa y a su vez del proyecto.

4.2.4 Control de calidad en la construcción de carreteras. Las duras solicitaciones que produce en la carretera un tráfico creciente en frecuencia, velocidad y cargas por eje, postula un control cada vez más riguroso de la calidad de las obras. Solo con este control pueden evitarse costosas y prematuras reparaciones, o incluso reconstrucciones, así como las consiguientes molestias al tráfico o graves peligros de accidentes. el tema constituye una preocupación dominante de las Administraciones de Carreteras y su base tecnológica ha sido estudiada a fondo durante los últimos veinte años en los países de tecnología más avanzada, sin que se haya llegado todavía a un estado satisfactorio pese al intercambio supranacional de experiencia. las exigencias de calidad, y el considerable aumento del ritmo de ejecución en las actuales obras de gran volumen y elevado índice de mecanización, obligan a modificaciones en la estrategia del control de modo que pueda llegarse a una mayor seguridad en la aceptación de la obra ejecutada, que garantice el periodo de vida de calzadas y estructuras con índice de servicio aceptable.

Hay una muy sancionada estrategia industrial del control y a ella tiende a asimilarse cada vez más la de las modernas obras de carreteras. De hecho las técnicas de control de los procesos industriales son cada vez mas una realidad mas próxima para regular las prescripciones contractuales entre administración y Contrata a través de unos ensayos que caractericen del modo mas idóneo a los materiales, al proceso operativo de los equipos de maquinaria y a las unidades de obra en fase de ejecución o terminadas. Una carretera se construye con el objetivo esencial, si no único, de ofrecer a los futuros usuarios un medio de comunicación seguro, cómodo y duradero. para conseguirlo es preciso partir de dos condiciones básicas:

- Un suficiente dimensionamiento estructural.
- Unos criterios de calidad en todos los elementos de la obra, garantizados por un control eficaz.

El objetivo que con ello debe conseguirse es llegar a una obra satisfactoria en el aspecto económico – funcional, que asegure la rentabilidad de los créditos invertidos y que ofrezca un buen estándar de servicio. la Contrata esta obligada a realizar un trabajo que cumpla las condiciones contractuales y la Administración debe velar por que no se empleen materiales inaceptables ni se construyan

elementos defectuosos. surge de estas consideraciones un doble aspecto del control: el aspecto jurídico cuando regula las relaciones y responsabilidad mutua de ambas partes contratantes y el tecnológico cuando se emplea para garantizar las características impuestas y la posible mejora de las técnicas en uso, a través de la interpretación de resultados, en la ejecución y posteriormente, para seguir la pista del comportamiento de la obra.

En cualquier caso deben utilizarse todos los medios posibles para suministrar al Ingeniero encargado una clara y objetiva síntesis de la obra que inspecciona y dirige.

4.2.5 Métodos y Procesos de Control. El problema básico que se plantea en el control de calidad es el de llegar a técnicas eficaces que sean económicas y no frenen el desarrollo de los trabajos al ritmo que requieren los plazos de ejecución. Respecto a la Interpretación de los resultados de los ensayos, se evoluciona cada vez más, especialmente en algunos países (EE. UU., Bélgica, Holanda), hacia métodos estadísticos, caracterizados por el muestreo aleatorio y la toma de decisiones por consideraciones matemáticas y no al azar.

La investigación en el campo del control de calidad se orienta hacia el desarrollo de nuevos métodos y hacia el conocimiento de los parámetros que condicionan la resistencia y la duración de los elementos de la carretera frente al efecto conjugado del tráfico y los agentes atmosféricos. En toda la literatura sobre el tema se pone énfasis sobre la necesidad de una caracterización de índices auténticamente representativos del buen comportamiento de las obras. Pero aún siguen manifestándose dos escuelas o tendencias que alimentan la polémica de los simposios internacionales. Por un lado los que mantienen que el control de calidad debe ser una actividad técnica y objetiva, en la que se manejen datos precisos obtenidos por procesos científicos normalizados y explotados por los modernos sistemas del tratamiento de la información. Por otro, los que desconfían de la representatividad de los datos característicos de identificación y ponen de manifiesto la falta de homogeneidad de muchos materiales y la inadecuación de los ensayos en uso, o de los equipos de medida con que se realizan, y las limitaciones del análisis estadístico.

Como en todo, hay que llegar a soluciones intermedias en que se coordinen las posibilidades de una normalización operativa y de la explotación de datos, con los criterios de los especialistas basados en una larga experiencia. La puesta a punto de nuevos métodos de ensayo, idóneos y rápidos, es una cuestión preferente en los países de técnica más avanzada. En el proceso de investigación y aplicación de estos métodos se siguen las siguientes fases:

- Proyecto y construcción de los aparatos de ensayo.

- Experimentación de éstos para probar su eficacia viendo si definen con suficiente exactitud los caracteres de identificación del parámetro que controlan.
- Ensayos de prerrutina aplicados en obra a efectos de comprobación y posible perfeccionamiento del aparato o del proceso operativo.
- Aplicación generalizada del método como ensayo de rutina.

Las obras de tierra y fábrica, así como todas las capas del afirmado, exigen un control suficiente en rigor y frecuencia: control de suelos de la traza y préstamos, control de acopios de áridos y ligantes, del régimen de funcionamiento de los equipos de fabricación y puesta en obra, control en las fases intermedias de las distintas unidades (granulometrías, humedades, dosificación, etc.) y controles a posterior.

A veces hay divergencia de criterios entre la Administración y la Contrata por lo que se refiere al control. En cuanto al aspecto técnico suelen apuntarse las siguientes observaciones:

- Los ensayos son lentos para el ritmo actual de las obras y no permiten detectar a tiempo las anomalías para actuar con las correspondientes correcciones.
- Los valores de dispersión de los ensayos son a veces del mismo orden de magnitud que las tolerancias admisibles en las prescripciones contractuales.
- Las relaciones entre los resultados de los ensayos y la calidad real de la obra, en cuanto a resistencia y durabilidad, no son evidentes.

En consecuencia son necesarios nuevos ensayos de aplicación rápida y baja dispersión que caractericen parámetros auténticamente representativos de los materiales y las unidades de obra.

Para ello es preciso poner a punto aparatos de medida de gran ritmo, tanto para su utilización durante la ejecución y recepción de la obra como en su fase ulterior de explotación, con vistas a llegar a correlaciones sistemáticas, con la mayor profusión posible, entre los parámetros característicos de las distintas partes de la obra y su resistencia a las sollicitaciones externas.

El control puede realizarse también con ayuda de dispositivos automáticos que integrados en los equipos de maquinaria registren parámetros esenciales de su funcionamiento. Como ejemplo que aclare esta idea citaremos el compactómetro, aparato que mide el par de tracción del rodillo compactador al que va acoplado. Como es sabido, hay una correlación entre este par y la densidad de la capa que se compacta. A lo largo del proceso compactador el par va disminuyendo porque

la resistencia al avance es menor, ya que el rodillo marcha sobre una superficie más firme y regular.

El compactómetro permite un control rápido de la densidad y es útil también para ensayos previos a la iniciación de la obra sobre tramos-testigo, a los efectos de definir tipos óptimos de compactadores y número de pasadas precisos para obtener el grado de compactación que se especifica en el contrato.

La estimación de la capacidad portante con el deflectógrafo Lacroix constituye también un ensayo rápido y continuo, si bien con él no puede identificarse la densidad de una capa determinada, ya que la deflexión que registra puede depender de las capas subyacentes.

4.2.6 “El Control Estadístico. La optimación de costos de una obra debe tener en cuenta todos los que en ella se producen, incluidos los que puedan atribuirse al riesgo de decisiones erróneas. la posibilidad de evitar éstas es una de las ventajas del control estadístico con el que puede conseguirse una información fiable sobre la mayor parte de la obra y permite llegar a mejores niveles de calidad. hay que asegurar sobre todo la homogeneidad, pues, por ejemplo, como es sabido, basta con un 5% de puntos malos para dar la impresión de ruina en un pavimento. el tratamiento estadístico de los resultados permitirá decidir sobre la aceptación o rechazo de las distintas unidades de obra de acuerdo con criterios objetivos de base racional, que sirvan a su vez para estimar valores cifrados o índices de calidad, base de aplicaciones, en su caso, de primas o penalidades.

En toda decisión basada en el muestreo de datos variables intervienen ciertos factores esenciales y en el caso de la construcción de carreteras la amplia gama de variabilidad de los materiales, de la dosificación de mezclas, de la regulación de equipas y de los propios procesos constructivos (extensión, compactación, perfilado, etc.), incide en el riesgo de decisiones erróneas, que sólo puede reducirse a base de una información suplementaria, con elevada frecuencia de ensayos y el con siguiente coste que esto produce, pero que es necesaria para una garantía de calidad a través —siempre que sea posible por el tipo y volumen de la obra— de la explotación estadística de resultados. Las leyes estadísticas se deducen de la observación de fenómenos al azar y que se repiten en series muy largas, de modo que para un gran número de determinaciones se presentan con frecuencias que tienden a valores constantes; tales leyes constituyen modelos matemáticos con ciertas imperfecciones para la representación de esos fenómenos aleatorios, que teóricamente sólo podrían aplicarse de acuerdo con la ley de los grandes números. El gran esfuerzo realizado en los últimos treinta años en el campo de la Estadística matemática nos permite ahora disponer de métodos apropiados para el control estricto de fabricación y recepción. Con el análisis estadístico se pueden obtener conclusiones categóricas de determinaciones experimentales dispersas.

En cuanto a la construcción de carreteras vemos que, sin duda, existen dificultades para su aplicación por ciertas diferencias sustanciales que sus trabajos y operaciones presentan respecto a los de la industria en que las circunstancias son mucho más favorables. En la industria el proceso de fabricación está fragmentado y hay fases de almacenamiento que permiten el control con tranquilidad. No es este el caso de la carretera, salvo por ejemplo para la recepción de ligantes u otros productos industriales o incluso podría llegarse a ello en la producción industrial normalizada de áridos, lo que sería muy necesario para asegurar una regularidad en las mezclas asfálticas en lo que se refiere al esqueleto mineral. Pero en general el proceso es continuo y sujeto a ritmos de ejecución bastante rápidos.

El análisis estadístico puede aplicarse en los procesos industriales siguiendo los sistemas y pautas de la teoría y fiarse de la realidad de las decisiones que de él resulten. En cambio, en las obras de carretera, dados los imponderables de diversa índole que las afectan es difícil definir criterios categóricos y la abundancia de casos singulares impide la generalización. Muchas son las circunstancias que originan cambios y perturbaciones; en primer lugar la falta de uniformidad de suelos y áridos y después la continua exposición a los agentes atmosféricos.

La obra vial por su carácter lineal, hace que un trazado pueda apoyarse en diferentes suelos y aprovechar diferentes materiales y es la más compleja de la Ingeniería Civil. Aludiendo a tal variedad e imprevisión se ha referido un célebre ingeniero francés al nomadismo de la carretera.

Todos los materiales empleados en carreteras están sometidos a posibles cambios y para una interpretación rigurosa de su grado de variación es conveniente el análisis estadístico. La calidad y homogeneidad de la obra es función de muchos factores, los materiales, el proceso de ejecución, los equipos y los propios métodos de ensayo. Los resultados que con éstos se obtienen tienden generalmente a seguir una ley de distribución *gaussiana*; ahora bien, cuando se deben tomar decisiones respecto al cumplimiento de las especificaciones sobre materiales o unidades de obra, si se hace sobre un pequeño número de determinaciones es muy problemático que la decisión sea justa. Cabe siempre el riesgo de una decisión errónea, pero si esta se basa sobre un análisis estadístico el riesgo será menor. El tratamiento matemático y estadístico de decenas de millares de resultados de un control sistemático de diferentes obras ha permitido llegar en los últimos años a un conocimiento más exacto del nivel de calidad.

4.2.7 Límites De Frecuencia. La caracterización de los acopios de materiales, de unidades de obra o de elementos terminados, exige una garantía basada en una determinada frecuencia de ensayos por debajo de la cual el conocimiento sería incompleto. los pliegos contractuales suelen fijar unos límites de frecuencia, máximos y mínimos, y el número de los que se practiquen se aproximará más a

unos u otros según las circunstancias que concurren en el caso: continuidad o cambio de yacimientos o de fórmulas de trabajo, experiencia en la operación o funcionamiento de los equipos, etc. aún no se ha llegado a criterios internacionales sobre la uniformidad de frecuencia de los ensayos de control.

El tema constituye actualmente una de las preocupaciones preferentes del Comité de Ensayos de Materiales de la AIPCR (Agrupación Internacional Permanente de los Congresos de Carreteras). ahora bien, la inquietud por esta beneficiosa y necesaria evolución es cada vez mayor, tanto en la Administración como en la Contrata; es por ello que la rapidez en la realización de los ensayos de control y la aplicación de métodos de la máxima garantía para la interpretación de resultados es un imperativo de los ritmos de trabajo y de la calidad que, por razones funcionales y económicas hay que exigir en las obras de carreteras y autopistas.

La evolución de la estrategia del control ha sido muy grande y prosigue su perfeccionamiento con los nuevos equipos de ensayo y los nuevos métodos de explotación de datos. La aplicación de un control sistemático, tanto en las fases de ejecución como en las carreteras en servicio, permitirá conocer cada vez mejor los parámetros o resistencias características que definen el comportamiento y durabilidad de los elementos de la obra.

4.2.8 Control de calidad en la construcción de los pavimento. Un pavimento sólo presentara el comportamiento esperado durante el lapso que se le fije como periodo de diseño, si es el resultado de un proyecto correcto y ha sido construido con materiales apropiados, empleando procedimientos constructivos que garanticen la calidad del producto final.

Como la experiencia ha demostrado que la sola buena intención del constructor no es suficiente para garantizar la obtención de una obra de gran calidad, ha sido necesario establecer especificaciones que de algún modo fije las metas por lograr, los programas para lograrlas y los métodos para verificar si efectivamente se ha obtenido lo que se desea. Sin embargo, el ingeniero interventor cuando las aplique no debe olvidar que las especificaciones, si bien fueron elaboradas por profesionales muy calificados y de amplia experiencia, no son en momento alguno irrefutables ni constituyen incuestionablemente la última palabra, por cuanto sus autores, a sabiendas de que van a ser utilizadas en obras que ellos no conocen, han sido generalmente conservativos en sus recomendaciones, por lo que obviamente, no puede considerarse competente al ingeniero que las toma siempre al pie de la letra considerando que esas guías generales tienen siempre mayor validez que el criterio que el pueda tener en la situación real de la obra que esta controlando.

Otro aspecto, es el hecho de que las especificaciones deben no sólo garantizar la calidad de la obra, sino ajustarse a las necesidades sociales, económicas y ambientales del país que las utiliza, por lo que el empleo de normas de importadas de países tecnológicamente más desarrollados, sólo contribuye al rechazo de materiales eventualmente utilizables y a la obtención de obras de costo generalmente muy elevado.

Por último, las especificaciones deben contemplar otro aspecto, desgraciadamente ignorando con frecuencia, cual es el correspondiente a las tolerancias en la construcción, cuya fijación depende del completo conocimiento de los factores que contribuyen a las variaciones de los diferentes conceptos que intervienen en la construcción. Una tarea primordial de la interventoría de las obras, es la verificación de la calidad de los materiales empleados a través de una o varias características, las cuales se estudian mediante ensayos y la medición directa de ciertas dimensiones.

Todo el que haya efectuado ensayos de materiales conoce la variabilidad que algunos presentan, lo que no es imputable al método de medida, sino a la heterogeneidad del material mismo, por lo que el mejor procedimiento parece ser el efectuar ensayos con todas las precauciones aconsejables por la técnica.

Tampoco debe olvidarse que el control de calidad de una pavimentación se adelanta casi siempre en laboratorios de obras, no muy abundantes en equipo ni en personal especializado, por lo que las pruebas esenciales de control no deben ser muy sofisticada y deben ser de ejecución rápida y fácil interpretación.”²

2 Tomado de Capitulo 17 del libro Ing. de pavimentos FERNANDO SANCHEZ SABOGAL.

4.2.9 Variables para controlar en una obra de pavimentación

4.2.9.1 Calidad de materiales (características de los mismos). Se le debe dar un control de calidad a los materiales usados en obra antes, durante y después de su utilización en esta, ya que de ellos depende la duración, resistencia y calidad del trabajo a realiza.

Aquí se controles que se le deben hacer a estos, en sus respectivas partes de uso:

➤ materiales fino y grueso granulares:

- Materiales en general.

Para la construcción de afirmados y sub-bases granulares, los materiales serán agregados naturales clasificados o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas, o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias.

Para la construcción de bases granulares, será obligatorio el empleo de un agregado que contenga una fracción producto de trituración mecánica.

En ambos casos, las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica u otras sustancias perjudiciales. Sus condiciones de limpieza dependerán del uso que se vaya a dar al material.

Los requisitos de calidad que deben cumplir los diferentes materiales, se resumen en la Tabla No 1. Los requisitos granulométricos se presentan en la especificación respectiva.

Tabla 1. Requisitos de los materiales para afirmados, Sub-bases granulares y bases granulares.

CAPA	PARTICULAS FRACTURADAS MECANICAMENTE (Agr Grueso)	DESGA STE LOS ANGEL ES	PERDIDAS EN ENSAYO DE SOLIDEZ E		INDICE S DE APLAN AM. Y ALARG AM.	C. B. R.	I. P.	EQUIV . DE AREN A
			Sulfat o de sodio	Sulfato magne sio				
Norma INV	E-227	E- 218yE- 219	E.-220	E-220	E-230	E-148	E- 125 y E- 126	E-133
AFIRMAD O		50 % máx.	12 % máx.	18 % máx.			4-9	
SUBBAS E GRANUL AR		50 % máx.	12 % máx.	18% máx.		20, 30 ó 40% mín. ₁	<= 6	25 % mín.
BASE GRANUL AR	50 % mín.	40 % máx.	12 % máx.	18 % máx.	35 % máx.	80 % mín. ₂	<= 3	30 % mín.

- 1 Al 95 % de compactación referido al ensayo proctor modificado (INV E-142), el valor mínimo de resistencia por aplicar, se indicará en los documentos del proyecto.
- 2 Al 100 % de compactación, referido al ensayo proctor modificado (INV E-142)

Los requisitos que deben cumplir los materiales para la construcción de bases estabilizadas, se indican en las especificaciones respectivas.

- Afirmado (sub-rasante)

Los agregados para la construcción del afirmado deberán satisfacer los requisitos de calidad indicados en el aparte 300.2 del Artículo 300 para dichos materiales. Además, deberán ajustarse a alguna de las siguientes franjas granulométricas de la tabla 1.

Tabla 2. Franjas granulométricas que deben cumplir el afirmado.

T A M I Z		PORCENTAJE QUE PASA	
Normal	Alternó	A-1	A-2
37.5 mm	1 1/2"	100	-
25 mm	1	-	100
19 mm	3/4"	65-100	-
9.5 mm	3/8"	45-80	65-100
4.75 mm	No.4	30-65	50-85
2.0 mm	No.10	22-52	33-67
425 µm	No.40	15-35	20-45
75 µm	No.200	10-25	10-25

- Equipo con el que se debe tratar

Al respecto, rigen las condiciones generales que se indican en el numeral 300.3 del Artículo 300. Para la construcción del afirmado se requieren equipos para la explotación de los materiales, eventualmente una planta de trituración, una unidad clasificadora, equipo de lavado, de ser necesario; equipos para cargue, transporte, extensión, mezcla, humedecimiento y compactación del material, así como herramientas menores.

➤ **Ejecución de los trabajos:**

- Explotación de materiales y elaboración de agregados.

Rige lo indicado en el aparte 300.4.1 del Artículo 300.

- Preparación de la superficie existente.

El material de afirmado no se descargará hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a apoyar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los planos o definidas por el Interventor. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias admitidas en la especificación respectiva, deberán ser corregidas de acuerdo con lo establecido en ella.

- Transporte y colocación del material

El Constructor deberá acarrear y verter el material de tal modo, que no se produzca segregación, ni se cause daño o contaminación en la superficie existente. Cualquier contaminación que se presentare, deberá ser subsanada antes de proseguir el trabajo.

La colocación del material sobre la capa subyacente se hará en una longitud que no sobrepase mil quinientos metros (1.500 m) de las operaciones de mezcla, conformación y compactación del material.

- Extensión, mezcla y conformación del material

El material se dispondrá en un cordón de sección uniforme, donde será verificada su homogeneidad. Si la capa se va a construir mediante combinación de varios materiales, éstos se mezclarán formando cordones separados para cada material en la vía, que luego se combinarán para lograr su homogeneidad.

En caso de que sea necesario humedecer o airear el material para lograr la humedad de compactación, el Constructor empleará el equipo adecuado y aprobado, de manera que no perjudique la capa subyacente y deje una humedad uniforme en el material. Este, después de mezclado, se extenderá en una capa de espesor uniforme que permita obtener el espesor y grado de compactación exigidos.

A menos que en el proyecto figure algo diferente o el Interventor lo ordene, el material de afirmado deberá ser distribuido en una sola capa y en todo el ancho de la corona, calzada más bermas, de tal manera que al extenderse, la capa resulte de espesor uniforme, con una pendiente transversal entre tres por ciento (3%) y cuatro por ciento (4%), para facilitar el escurrimiento de aguas superficiales.

➤ **Condiciones para el recibo de los trabajos:**

- Controles.

Rige lo indicado en el aparte 300.5.1 del Artículo 300.

➤ **Condiciones específicas para el recibo y tolerancias:**

- Calidad de los agregados.

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto se tomarán cuatro (4) muestras y de cada fracción de ellas se determinarán:

- El desgaste Los Ángeles, según la norma de ensayo INV E-218.
- Las pérdidas en el ensayo de solidez en sulfato de sodio o de magnesio, de acuerdo con la norma INV E-220.

- La plasticidad, de conformidad con las normas de ensayo INV E-125 y E-126.
- La compactación por el ensayo modificado de compactación (proctor modificado), según la norma de ensayo INV E-142.

Cuyos resultados deberán satisfacer las exigencias indicadas en el aparte 300.2 del Artículo 300, so pena del rechazo de los materiales defectuosos.

Durante la etapa de producción, el Interventor examinará las descargas a los acopios y ordenará el retiro de los agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado.

Además, efectuará las siguientes verificaciones periódicas de la calidad del agregado:

- Determinación de la granulometría (INV E-123), mínimo una (1) vez por jornada.
- Determinación de la plasticidad de la fracción fina (INV E-125 y E-126), cuando menos una (1) vez por jornada.

- *Sub-base granular (INV artículo 320)*

Los agregados para la construcción de la sub-base granular deberán satisfacer los requisitos indicados en el numeral 300.2 del Artículo 300 para dichos materiales. además, se deberán ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se indican en la Tabla 2. Los documentos del proyecto indicarán la franja por utilizar.

Tabla 3. Franjas granulométricas del material de sub-base.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA	
NORMAL	ALTERNO	SBG-1	SBG-2
50.0 mm	2"	100	
37.5 mm	1 ½ "	70-95	100
25.0 mm	1"	60-90	75-95
12.5 mm	½"	45-75	55-85
9.5 mm	3/8"	40-70	45-75
4.75 mm	No.4	25-55	30-60
2.0 mm	No.10	15-40	20-45
425 µm	No.40	6-25	8-30
75 µm	No.200	2-15	2-15

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el Constructor deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa.

Dentro de la franja elegida, el Constructor propondrá al Interventor una Fórmula de Trabajo a la cual se deberá ajustar durante la construcción de la capa, con las tolerancias que se indican en la Tabla 3, pero sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada.

Tabla 4. Tolerancias granulométricas.

TAMIZ	TOLERANCIA EN PUNTOS DE PORCENTAJE SOBRE EL PESO SECO DE LOS AGREGADOS
% pasa tamiz de 9.5 mm (3/8") y mayores	± 7 %
% pasa tamices de 4.75 mm (Nº 4) a 425µm (Nº 40)	± 6 %
% pasa tamiz 75 µm (No. 200)	± 3 %

Además, la relación entre el porcentaje que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) y el porcentaje que pasa el tamiz de 425 µm (No. 40), no deberá exceder de 2/3 y el tamaño máximo nominal no deberá exceder de 1/3 del espesor de la capa compactada.

➤ **Transporte y colocación del material.**

El Constructor deberá acarrear y verter el material, de tal modo que no se produzca segregación, ni se cause daño o contaminación en la superficie existente. Cualquier contaminación que se presentare, deberá ser subsanada antes de proseguir el trabajo.

La colocación del material sobre la capa subyacente se hará en una longitud que no sobrepase mil quinientos metros (1.500 m) de las operaciones de mezcla, conformación y compactación del material de la sub-base.

➤ **Ejecución de los trabajos:**

- Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo indicado en el aparte 300.4.1 del Artículo 300.

- Preparación de la superficie existente

El Interventor sólo autorizará la colocación de material de sub-base granular cuando la superficie sobre la cual debe asentarse tenga la densidad apropiada y

las cotas indicadas en los planos o definidas por el Interventor. Además, deberá estar concluida la construcción de las cunetas, desagües y filtros necesarios para el drenaje de la calzada.

Si en la superficie de apoyo existen irregularidades que excedan las tolerancias determinadas en las especificaciones respectivas, de acuerdo con lo que se prescribe en la unidad de obra correspondiente, el Constructor hará las correcciones necesarias, a satisfacción del Interventor.

- Fase de experimentación

Rige lo indicado en el aparte 300.4.2 del Artículo 300.

- Transporte, almacenamiento y colocación del material

Todo transporte de materiales sobre las vías públicas se deberá realizar en vehículos aprobados para circular sobre las carreteras nacionales, los cuales deberán cumplir la reglamentación vigente sobre pesos y dimensiones del Ministerio de Transporte, así como las normas sobre protección ambiental, expedidas por la entidad que tenga la jurisdicción respectiva.

Los vehículos deberán contar con dispositivos para depositar los materiales de tal modo que no se produzca segregación, ni se cause daño o contaminación en la superficie existente. Cualquier contaminación que se presentare, deberá ser subsanada por el Constructor, a su costa, antes de proseguir el trabajo.

Siempre que los materiales para la construcción de sub-base granular requieran almacenamiento, se deberán atender los cuidados señalados en el numeral 300.4.3 del Artículo 300 de estas especificaciones.

- Extensión y conformación del material

El material se deberá disponer en un cordón de sección uniforme donde el Interventor verificará su homogeneidad. Si la capa de sub-base granular se va a construir mediante la combinación de dos (2) o más materiales, éstos se deberán mezclar en un patio fuera de la vía, por cuanto su mezcla dentro del área del proyecto no está permitida.

En caso de que sea necesario humedecer o airear el material para lograr la humedad óptima de compactación, el Constructor empleará el equipo adecuado y aprobado, de manera que no perjudique la capa subyacente y deje el material con una humedad uniforme. Éste, después de humedecido o aireado, se extenderá en todo el ancho previsto en una capa de espesor uniforme que permita obtener el espesor y grado de compactación exigidos, de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de experimentación.

En todo caso, la cantidad de material extendido deberá ser tal, que el espesor de la capa compactada no resulte inferior a cien milímetros (100 mm) ni superior a doscientos milímetros (200 mm). Si el espesor de sub-base compactada por construir es superior a doscientos milímetros (200 mm), el material se deberá colocar en dos o más capas, procurándose que el espesor de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a cien milímetros (100 mm).

El material extendido deberá mostrar una distribución granulométrica uniforme, sin segregaciones evidentes. El Interventor no permitirá la colocación de la capa siguiente, antes de verificar y aprobar la compactación de la precedente. En operaciones de bacheo o en aplicaciones en áreas reducidas, el Constructor propondrá al Interventor los métodos de extensión que garanticen la uniformidad y calidad de la capa.

➤ **Condiciones para el recibo de los trabajos:**

- Controles

Se aplica lo indicado en el aparte 300.5.1 del Artículo 300.

➤ **Condiciones específicas para el recibo y tolerancias:**

- Calidad de los agregados

En adición a lo descrito en el aparte 311.5.2.1 del Artículo 311, se realizarán las siguientes pruebas:

- Resistencia por el método C.B.R, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-148.
- Equivalente de arena, según norma de ensayo INV E-133.

- Bases granulares (INV artículo 330)

Los agregados para la construcción de la base granular deberán satisfacer los requisitos indicados en el numeral 300.2 del Artículo 300 para dichos materiales, además, se deberán ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se indican en la Tabla 4. Los documentos del proyecto indicarán la franja por utilizar.

Tabla 5. Franjas granulométricas del material de base granular.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA	
Normal	Alternativo	BG-1	BG-2
37.5 mm	1 1/2"	100	-
25.0 mm	1	70-100	100
19.0 mm	3/4"	60-90	70-100
9.5 mm	3/8"	45-75	50-80
4.75 mm	No.4	30-60	35-65
2.0 mm	No.10	20-45	20-45
425 µm	No.40	10-30	10-30
75 µm	No.200	5-15	5-15

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el Constructor deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa.

Dentro de la franja elegida, el Constructor propondrá al Interventor una Fórmula de Trabajo a la cual se deberá ajustar durante la construcción de la capa, con las tolerancias que se indican en la Tabla 5, pero sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada.

Tabla 6. Tolerancias granulométricas.

TAMIZ	TOLERANCIA EN PUNTOS DE PORCENTAJE SOBRE EL PESO SECO DE LOS AGREGADOS
% pasa tamiz de 9.5 mm (3/8") y mayores	± 7 %
% pasa tamices de 4.75 mm (Nº 4) a 425µm (Nº 40)	± 6 %
% pasa tamiz 75 µm (No. 200)	± 3 %

Además, la relación entre el porcentaje que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) y el porcentaje que pasa el tamiz de 425 µm (No. 40), no deberá exceder de 2/3 y el

tamaño máximo nominal no deberá exceder de 1/3 del espesor de la capa compactada.

- Bases granulares (INV artículo 330)

Todo transporte de materiales sobre las vías públicas se deberá realizar en vehículos aprobados para circular sobre las carreteras nacionales, los cuales deberán cumplir la reglamentación vigente sobre pesos y dimensiones del Ministerio de Transporte, así como las normas sobre protección ambiental, expedidas por la entidad que tenga la jurisdicción respectiva.

Los vehículos deberán contar con dispositivos para depositar los materiales de tal modo que no se produzca segregación, ni se cause daño o contaminación en la superficie existente. Cualquier contaminación que se presentare, deberá ser subsanada por el Constructor, a su costa, antes de proseguir el trabajo.

Siempre que los materiales para la construcción de base granular requieran almacenamiento, se deberán atender los cuidados señalados en el numeral 300.4.3 del Artículo 300 de estas especificaciones.

- Extensión y conformación del material

El material se deberá disponer en un cordón de sección uniforme donde el Interventor verificará su homogeneidad. Si la capa de base granular se va a construir mediante la combinación de dos (2) o más materiales, éstos se deberán mezclar en un patio fuera de la vía, por cuanto su mezcla dentro del área del proyecto no está permitida.

En caso de que sea necesario humedecer o airear el material para lograr la humedad óptima de compactación, el Constructor empleará el equipo adecuado y aprobado, de manera que no perjudique la capa subyacente y deje el material con una humedad uniforme.

Éste, después de humedecido o aireado, se extenderá en todo el ancho previsto en una capa de espesor uniforme que permita obtener el espesor y grado de compactación exigidos, de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de experimentación. En todo caso, la cantidad de material extendido deberá ser tal, que el espesor de la capa compactada no resulte inferior a cien milímetros (100 mm) ni superior a doscientos milímetros (200 mm).

Si el espesor de base compactada por construir es superior a doscientos milímetros (200 mm), el material se deberá colocar en dos o más capas, procurándose que el espesor de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a cien milímetros (100 mm). El material extendido deberá mostrar una distribución granulométrica uniforme, sin segregaciones evidentes.

El Interventor no permitirá la colocación de la capa siguiente, antes de verificar y aprobar la compactación de la precedente. En operaciones de bacheo o en aplicaciones en áreas reducidas, el Constructor propondrá al Interventor los métodos de extensión que garanticen la uniformidad y calidad de la capa.

➤ **Calidad de los agregados:**

- Control de procedencia

De cada fuente de agregados pétreos y para cualquier volumen previsto se tomarán cuatro (4) muestras representativas para realizar los ensayos especificados en la Tabla 300.1 del Artículo 300, Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, sub-bases granulares y bases granulares y estabilizadas. Los resultados de dichos ensayos deberán satisfacer, en su totalidad, las exigencias indicadas en el numeral 300.2 del Artículo 300, so pena del rechazo de los materiales deficientes.

El ensayo para determinar el valor de azul de metileno sobre el agregado combinado sólo será necesario si el valor del equivalente de arena es inferior a treinta por ciento (30%), pero es igual o superior a veinticinco por ciento (25%). Durante esta etapa el Interventor deberá comprobar, además, que el material del descapote de la fuente sea retirado correctamente y que todas las vetas de material granular inadecuado sean descartadas.

➤ **Condiciones Para El Recibo De Los Trabajos:**

- Controles

Se aplica lo indicado en el aparte 300.5.1 del Artículo 300.

➤ **Condiciones específicas para el recibo y tolerancias:**

- Calidad de los agregados

En adición a lo descrito en el aparte 311.5.2.1 del Artículo 311, se efectuarán las siguientes pruebas:

- Resistencia por el método C.B.R., de acuerdo con la norma de ensayo INV E-148.
 - Equivalente de arena, según norma de ensayo INV E-133.
- Durante la etapa de producción se efectuarán en adición a los ensayos descritos en el mismo aparte, los siguientes:
- Determinación de la proporción de partículas fracturadas mecánicamente en el agregado grueso (INV E-227), una (1) vez por jornada.
 - Determinación del equivalente de arena (INV E-133), una (1) vez por semana.
 - Determinación de los índices de aplanamiento y alargamiento (INV E-230), una (1) vez por semana.

- Determinación del desgaste Los Ángeles (INV E-218) y la solidez ante la acción de sulfatos (INV E-220), al menos una (1) vez al mes.

➤ **Calidad del producto terminado**

La capa terminada deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas.

La distancia entre el eje de proyecto y el borde de la capa no podrá ser inferior a la señalada en los planos o la definida por el Interventor quien, además, deberá verificar que la cota de cualquier punto de la base conformada y compactada, no varíe en más de dos centímetros (2 cm) de la proyectada.

➤ **Mezcla Densa En Caliente (INV artículo 450)**

- Descripción:

Este trabajo consiste en la elaboración, transporte, colocación y compactación, de una o más capas de mezcla asfáltica de tipo denso, preparada en caliente, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, cotas, secciones y espesores indicados en los planos o determinados por el Interventor.

- Materiales:

Los agregados pétreos y el llenante mineral para la elaboración de mezclas densas en caliente (concreto asfáltico) deberán satisfacer los requisitos de calidad impuestos para ellos por el aparte 400.2.1 del Artículo 400.

El conjunto de agregado grueso, agregado fino y llenante mineral deberá ajustarse a alguna de las siguientes gradaciones:

Tabla 7. Tolerancia granulométrica para el material de la mezcla densa en caliente.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA		
Normal	Alternativo	MDC-1	MDC-2	MDC-3
25.0 mm	1"	100	-	-
19.0 mm	3/4"	80-100	100	-
12.5 mm	1/2"	67-85	80-100	-
9.5 mm	3/8"	60-77	70-88	100
4.75 mm	No.4	43-54	51-68	65-87
2.00 mm	No.10	29-45	38-52	43-61
425 µm	No.40	14-25	17-28	16-29
180 µm	No.80	8-17	8-17	9-19
75 µm	No.200	4-8	4-8	5-10

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el Constructor deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme, sensiblemente paralela a los límites de la franja por utilizar, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior del tamiz adyacente y viceversa.

En la construcción de bases asfálticas y bacheos, se empleará la gradación MDC-1. para capas de rodadura, se empleará la gradación MDC-3, si el espesor compacto no supera tres centímetros (3 cm) y la MDC-2 para espesores superiores. Para espesores mayores de cinco centímetros (5 cm), podrá emplearse también la gradación MDC-1.

➤ **Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.**

Rige todo lo que resulte aplicable del aparte 400.4.2 del Artículo 400.

Las mezclas densas en caliente se diseñarán, salvo justificación en contrario, siguiendo el método Marshall y aplicando los siguientes criterios:

Tabla 8. Criterios de cumplimiento para el diseño de mezclas siguiendo el método Marshall.

CARACTERISTICAS	TRANSITO DE DISEÑO (N) Ejes equivalentes de 80 kN		
	$>5 \times 10^6$	$5 \times 10^5 - 5 \times 10^6$	$<5 \times 10^5$
Compactación, golpes/cara	75	75	75
Estabilidad mínima kg	750	650	500
Flujo mm	2-3.5	2-4	2-4
Vacíos con aire:			
Capa de rodadura %	4-6	3-5	3-5
Base asfáltica %	4-8	3-8	3-8
Vacíos mínimos en agregados minerales:			
Gradación MDC-1 %	14	14	14
Gradación MDC-2 %	15	15	15
Gradación MDC-3 %	16	16	16

➤ **Preparación de la superficie existente**

La mezcla no se extenderá hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los planos o definidas por el Interventor.

Todas las irregularidades que excedan de las tolerancias establecidas en la especificación respectiva, deberán ser corregidas de acuerdo con lo establecido en ella.

Si la extensión de la mezcla necesita riegos previos de imprimación o de liga, ellos se realizarán conforme lo establecen los Artículos 420 y 421, respectivamente, de las presentes especificaciones.

Antes de aplicar la mezcla, se verificará que haya ocurrido el curado del riego previo, no debiendo quedar restos de fluidificante ni de agua en la superficie. Si hubiera transcurrido mucho tiempo desde la aplicación del riego, se comprobará que su capacidad de liga con la mezcla no se haya mermado en forma perjudicial; si ello ha sucedido, el Constructor deberá efectuar un riego adicional de adherencia, a su costa, en la cuantía que fije el Interventor.

Las excavaciones para bacheo, así como las operaciones de relleno con los materiales adecuados para restablecer el nivel actual, se ejecutarán de acuerdo con las indicaciones del Artículo 413 para la excavación y de los Artículos que correspondan a los materiales empleados en el relleno de la misma.

➤ **Fase de experimentación.**

Rige lo indicado en el aparte 400.4.3 del Artículo 400.

➤ **Elaboración de la mezcla.**

Los agregados se suministrarán fraccionados. el número de fracciones deberá ser tal que sea posible, con la instalación que se utilice, cumplir las tolerancias exigidas en la granulometría de la mezcla.

Cada fracción será suficientemente homogénea y deberá poderse acopiar y manejar sin peligro de segregación, observando las precauciones que se detallan a continuación.

Cada fracción del agregado se acopiará separada de las demás para evitar intercontaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se utilizarán los quince centímetros (15 cm) inferiores de los mismos.

Los acopios se construirán por capas de espesor no superior a un metro y medio (1.5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se colocarán adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Cuando se detecten anomalías en el suministro, los agregados se acopiarán por separado, hasta confirmar su aceptabilidad. esta misma medida se aplicará cuando se autorice el cambio de procedencia de un agregado.

La carga de las tolvas en frío se realizará de forma que éstas contengan entre el cincuenta por ciento (50%) y el cien por ciento (100%) de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se tomarán las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Las aberturas de salida de las tolvas en frío se regularán en forma tal, que la mezcla de todos los agregados se ajuste a la fórmula de obra de la alimentación en frío. El caudal total de esta mezcla en frío se regulará de acuerdo con la producción prevista, no debiendo ser ni superior ni inferior, lo que permitirá mantener el nivel de llenado de las tolvas en caliente a la altura de calibración.

Los agregados se calentarán antes de su mezcla con el asfalto. el secador se regulará de forma que la combustión sea completa, indicada por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea. si el polvo recogido en los colectores cumple las condiciones exigidas al llenante y su utilización está prevista, se podrá introducir en la mezcla; en caso contrario, deberá eliminarse. El tiro de aire en el secador se deberá regular de forma adecuada, para que la cantidad y la granulometría del llenante recuperado sean uniformes. la dosificación del llenante de recuperación y/o el de aporte se hará de manera independiente de los agregados y entre sí.

En las plantas que no sean del tipo tambor secador-mezclador, deberá comprobarse que la unidad clasificadora en caliente proporcione a las tolvas en caliente agregados homogéneos; en caso contrario, se tomarán las medidas necesarias para corregir la heterogeneidad. las tolvas en caliente de las plantas continuas deberán mantenerse por encima de su nivel mínimo de calibración, sin rebosar.

Los agregados preparados como se ha indicado anteriormente, y eventualmente el llenante mineral seco, se pesarán o medirán exactamente y se transportarán al mezclador en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo.

Si la instalación de fabricación de la mezcla es de tipo continuo, se introducirá en el mezclador al mismo tiempo, la cantidad de asfalto requerida, a la temperatura apropiada, manteniendo la compuerta de salida a la altura que proporcione el tiempo teórico de mezcla especificado. la tolva de descarga se abrirá intermitentemente para evitar segregaciones en la caída de la mezcla a la volqueta.

Si la instalación es de tipo discontinuo, después de haber introducido en el mezclador los agregados y el llenante, se agregará automáticamente el material bituminoso calculado para cada bachada, el cual deberá encontrarse a la temperatura adecuada y se continuará la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

En ningún caso se introducirá en el mezclador el agregado caliente a una temperatura superior en más de quince grados Celsius (15°C) a la temperatura del asfalto.

En el momento de la mezcla, la temperatura del asfalto deberá ser tal, que su viscosidad se encuentre entre ciento cincuenta y trescientos centiStokes (150 cSt - 300 cSt), verificándose que no se produzcan escurrimientos a dicha temperatura.

En mezcladores de ejes gemelos, el volumen de materiales no será tan grande que sobrepase los extremos de las paletas, cuando éstas se encuentren en posición vertical, siendo recomendable que no superen los dos tercios (2/3) de su altura.

A la descarga del mezclador, todos los tamaños del agregado deberán estar uniformemente distribuidos en la mezcla y sus partículas total y homogéneamente cubiertas. La temperatura de la mezcla al salir del mezclador no excederá de la fijada durante la definición de la fórmula de trabajo.

Se rechazarán todas las mezclas heterogéneas, carbonizadas o sobrecalentadas, las mezclas con espuma, o las que presenten indicios de humedad. En este último caso, se retirarán los agregados de las correspondientes tolvas en caliente. También se rechazarán aquellas mezclas en las que la envuelta no sea perfecta.

➤ **Transporte de la mezcla.**

La mezcla se transportará a la obra en volquetas hasta una hora de día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con luz solar. Sólo se permitirá el trabajo en horas de la noche si, a juicio del Interventor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y compactación de manera adecuada.

Durante el transporte de la mezcla deberán tomarse las precauciones necesarias para que al descargarla sobre la máquina pavimentadora, su temperatura no sea inferior a la mínima que se determine como aceptable durante la fase de experimentación.

➤ **Extensión de la mezcla.**

La mezcla se extenderá con la máquina pavimentadora, de modo que se cumplan los alineamientos, anchos y espesores señalados en los planos o determinados por el Interventor.

A menos que se ordene otra cosa, la extensión comenzará a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior en las secciones peraltadas.

La mezcla se colocará en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales, y para conseguir la mayor continuidad de las operaciones de extendido, teniendo en cuenta el ancho de la sección, las necesidades del tránsito, las características de la pavimentadora y la producción de la planta.

La colocación de la mezcla se realizará con la mayor continuidad posible, verificando que la pavimentadora deje la superficie a las cotas previstas con el objeto de no tener que corregir la capa extendida. en caso de trabajo intermitente, se comprobará que la temperatura de la mezcla que quede sin extender en la tolva o bajo la pavimentadora no baje de la especificada; de lo contrario, deberá ejecutarse una junta transversal.

Tras la pavimentadora se deberá disponer un número suficiente de obreros especializados, agregando mezcla caliente y enrasándola, según se precise, con el fin de obtener una capa que, una vez compactada, se ajuste enteramente a las condiciones impuestas en esta especificación.

En los sitios en los que a juicio del Interventor no resulte posible el empleo de máquinas pavimentadoras, la mezcla podrá extenderse a mano. la mezcla se descargará fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y distribuirá en los lugares correspondientes por medio de palas y rastrillos calientes, en una capa uniforme y de espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a los planos o instrucciones del Interventor, con las tolerancias establecidas en la presente especificación.

No se permitirá la extensión y compactación de la mezcla en momentos de lluvia, ni cuando haya fundado temor de que ella ocurra o cuando la temperatura ambiente a la sombra y la del pavimento sean inferiores a cinco grados Celsius (5°C).

➤ **Condiciones específicas para el recibo y tolerancias**

- Calidad del cemento asfáltico

Al respecto, se deberán aplicar todas las indicaciones incluidas en el aparte 410.5 del Artículo 410 de las presentes especificaciones.

- Calidad de los agregados pétreos y el llenante mineral
Deberán aplicarse todas las exigencias del aparte 440.5.2.3 del Artículo 440.

➤ **Composición de la mezcla**

- Contenido de asfalto
Al respecto, se aplicarán los mismos criterios establecidos en el aparte 440.5.2.4.a. de las presentes especificaciones.

- Granulometría de los agregados
Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se determinará la composición granulométrica de los agregados.

La curva granulométrica de cada ensayo individual deberá ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada, ajustándose a la fórmula de trabajo con las tolerancias que se indican a continuación, pero sin permitir que la curva se salga de la franja:

Porcentaje que pasa el tamiz de 4.75 mm
(No.4) y mayores $\pm 4\%$ sobre el peso seco de los agregados

Porcentaje que pasa por tamices de 2mm
(No.10), de 425 μm (No.40) y de 180 μm
(No.80) $\pm 3\%$ sobre el peso seco de los agregados

Porcentaje que pasa el tamiz de 75 μm
(No.200) $\pm 1\%$ sobre el peso seco de los agregados

En el caso que los valores obtenidos excedan las tolerancias, pero no salgan de la franja, el Constructor deberá preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje medio de asfalto de la mezcla elaborada con este agregado. ella se someterá a las pruebas de valoración descritas en el aparte 450.4.2 de esta especificación. Si los requisitos allí indicados no se cumplen, se rechazará el tramo representado por esa muestra.

➤ **Calidad de la mezcla**

- Resistencia

Con un mínimo de dos (2) muestras se moldearán probetas (dos por muestra), para verificar en el laboratorio su resistencia en el ensayo Marshall (INV E-748).

La estabilidad media de las cuatro (4) probetas (E_m) deberá ser como mínimo, igual al noventa por ciento (90%) de la estabilidad de la mezcla de la fórmula de trabajo (E_t).

$$E_m \geq 0.9 E_t$$

Además, la estabilidad de cada probeta (E_i) deberá ser igual o superior a ochenta por ciento (80%) del valor medio de estabilidad, admitiéndose solo un valor individual por debajo de ese límite.

$$E_i \geq 0.8 E_m$$

El incumplimiento de alguna de estas exigencias acarrea el rechazo del tramo representado por las muestras.

- Flujo

El flujo medio de las probetas sometidas al ensayo de estabilidad (F_m) deberá encontrarse entre el ochenta y cinco por ciento (85%) y el ciento quince por ciento (115%) del valor obtenido en la mezcla aprobada como fórmula de trabajo (F_t), pero no se permitirá que su valor se encuentre por fuera de los límites establecidos en el aparte 450.4.2.

$$0.85 F_t \leq F_m \leq 1.15 F_t$$

Si el flujo medio se encuentra dentro del rango establecido en el aparte 450.4.2, pero no satisface la exigencia recién indicada en relación con el valor obtenido al determinar la fórmula de trabajo, el Interventor decidirá, al compararlo con las estabilidades, si el tramo debe ser rechazado o aceptado.

4.2.9.2 control de temperaturas de la mezcla asfáltica.

- temperatura en producción: 160 °C - 170°C
- temperatura en salida: 160°C
- temperatura de llegada a la obra: 145°C
- temperatura de riego en obra: 130°C - 140°C
- temperatura a la hora de compactar: 120°C

nota: estos controles se recomiendan hacer cada 50 mts aproximadamente.

4.2.9.3 Control de densidades.

➤ **Afirmado.**

- Compactación

Una vez que el material tenga la humedad apropiada y esté conformado debidamente, se compactará con el equipo aprobado hasta lograr la densidad especificada. Aquellas zonas que por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a obras de arte no permitan la utilización del equipo que normalmente se utiliza, se compactarán por los medios adecuados para el caso, en forma tal que las densidades que se alcancen, no sean inferiores a las obtenidas en el resto de la capa.

La compactación se efectuará longitudinalmente, comenzando por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro, traslapando en cada recorrido un ancho no menor de un tercio (1/3) del ancho del rodillo compactador. en las zonas peraltadas, la compactación se hará del borde inferior al superior.

No se extenderá ninguna capa de material, mientras no se haya realizado la nivelación y comprobación del grado de compactación de la capa precedente. Tampoco se permitirán los trabajos, si la temperatura ambiente a la sombra es inferior a dos grados Celsius (2°C) o en instantes en que haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra.

Las determinaciones de la densidad de la capa compactada se realizarán a razón de cuando menos una (1) vez por cada doscientos cincuenta metros cuadrados (250 m²) y los tramos por aprobar se definirán sobre la base de un mínimo de seis (6) determinaciones de densidad. los sitios para las mediciones se elegirán al azar.

La densidad media del tramo (Dm) deberá ser, como mínimo, el noventa y cinco por ciento (95%) de la obtenida en el ensayo proctor modificado (norma de ensayo INV E-142) de referencia (De), previa la corrección por presencia de partículas gruesas, según norma de ensayo INV E-228, siempre que ella sea necesaria.

$$Dm \geq 0.95 De$$

A su vez, la densidad obtenida en cada ensayo individual (Di) deberá ser igual o superior al noventa y ocho por ciento (98%) del valor medio del tramo (Dm), admitiéndose un solo resultado por debajo de dicho límite, so pena del rechazo del tramo que se verifica.

$$D_i \geq 0.98 D_m$$

La densidad de las capas compactadas podrá ser determinada por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162, E-163 y E-164.

- Espesor

Sobre la base de los tramos escogidos para el control de la compactación, se determinará el espesor medio de la capa compactada (e_m), el cual no podrá ser inferior al de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) deberá ser, cuando menos, igual al noventa por ciento (90%) del espesor de diseño, admitiéndose un (1) solo valor por debajo de dicho límite, so pena del rechazo del tramo controlado.

$$e_i \geq 0.9 e_d$$

Todas las áreas de afirmado donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de la presente especificación, deberán ser corregidas por el Constructor, a su costa, de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a plena satisfacción de éste.

➤ **Subbase.**

- Compactación.

Una vez que el material de la subbase tenga la humedad apropiada, se conformará y compactará con el equipo aprobado por el Interventor, hasta alcanzar la densidad especificada.

Aquellas zonas que por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a obras de arte no permitan la utilización del equipo que normalmente se utiliza, se compactarán por los medios adecuados para el caso, en forma tal que las densidades que se alcancen no sean inferiores a las obtenidas en el resto de la capa.

La compactación se efectuará longitudinalmente, comenzando por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro, traslapando en cada recorrido un ancho no menor de un tercio (1/3) del ancho del rodillo compactador. en las zonas peraltadas, la compactación se hará del borde inferior al superior.

No se extenderá ninguna capa de material de subbase mientras no haya sido realizada la nivelación y comprobación del grado de compactación de la capa precedente. Tampoco se ejecutará la subbase granular en momentos en que haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra, ni cuando la temperatura ambiente sea inferior a dos grados Celsius (2°C).

➤ **Base.**

- Compactación.

El procedimiento para compactar la base granular es igual al descrito en el aparte 320.4.6 del Artículo 320, para la subbase granular. también, resultan válidas las limitaciones expuestas en dicho aparte.

Las determinaciones de la densidad de la base granular se efectuarán en una proporción de cuando menos una (1) vez por cada doscientos cincuenta metros cuadrados (250 m²) y los tramos por aprobar se definirán sobre la base de un mínimo de seis (6) medidas de densidad, exigiéndose que el promedio de ellas (Dm) sea igual o mayor al cien por ciento (100%) de la densidad máxima obtenida en el ensayo proctor modificado (norma de ensayo INV E-142) de referencia (De), previa la corrección por presencia de partículas gruesas, según norma de ensayo INV E-228, siempre que ella sea necesaria.

$$Dm \geq De$$

A su vez, la densidad obtenida en cada medida individual (Di) deberá ser mayor al noventa y ocho por ciento (98%) de la densidad media del tramo.

$$Di \geq 0.98 Dm$$

Admitiéndose sólo un valor debajo de esta exigencia. En caso de no cumplirse estos requisitos, se rechazará el tramo.

La densidad de las capas compactadas podrá ser determinada por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162, E-163 y E-164.

- Espesor.

Sobre la base de los tramos escogidos para el control de la compactación, se determinará el espesor medio de la capa compactada (em), el cual no podrá ser inferior al de diseño (ed).

$$em \geq ed$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) deberá ser, como mínimo, igual al noventa por ciento (90%) del espesor de diseño, admitiéndose un (1) solo valor por debajo de dicho límite, so pena del rechazo del tramo controlado.

$$e_i \geq 0.9 e_d$$

En las zonas de bacheos se deberán satisfacer las mismas exigencias sobre compactación y espesor, pero se deja al Interventor la decisión sobre la frecuencia de las pruebas, la cual dependerá del tamaño de las áreas tratadas.

Todas las irregularidades que excedan las tolerancias mencionadas, así como las áreas en donde la base granular presente agrietamientos o segregaciones, deberán ser corregidas por el Constructor, a su costa, y a plena satisfacción del Interventor.

➤ **Carpeta asfáltica.**

- Compactación de la mezcla.

La compactación deberá comenzar, una vez extendida la mezcla, a la temperatura más alta posible con que ella pueda soportar la carga a que se somete sin que se produzcan agrietamientos o desplazamientos indebidos.

La compactación deberá empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindrado avanzará del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso en la forma aprobada por el Interventor, hasta que la superficie total haya sido compactada. los rodillos deberán llevar su llanta motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el Interventor, y sus cambios de dirección se harán sobre la mezcla ya compactada.

Se tendrá cuidado en el cilindrado para no desplazar los bordes de la mezcla extendida; aquellos que formarán los bordes exteriores del pavimento terminado, serán chaflanados ligeramente.

La compactación se deberá realizar de manera continua durante la jornada de trabajo y se complementará con el trabajo manual necesario para la corrección de todas las irregularidades que se puedan presentar. Se cuidará que los elementos de compactación estén siempre limpios y, si es preciso, húmedos. no se permitirán, sin embargo, excesos de agua.

La compactación se continuará mientras la mezcla se encuentre en condiciones de ser compactada hasta alcanzar la densidad especificada y se concluirá con un apisonado final que borre las huellas dejadas por los compactadores precedentes.

➤ **Calidad del producto terminado.**

La capa terminada deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se esté construyendo, excluyendo sus chaflanes, no podrá ser menor que la señalada en los planos o la determinada por el Interventor. La cota de cualquier punto de la mezcla densa compactada en capas de base o rodadura, no deberá variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Además, el Interventor estará obligado a efectuar las siguientes verificaciones:

- Compactación.

Las determinaciones de densidad de la capa compactada se realizarán en una proporción de cuando menos una (1) por cada doscientos cincuenta metros cuadrados (250 m²) y los tramos por aprobar se definirán sobre la base de un mínimo de seis (6) determinaciones de densidad. Los sitios para las mediciones se elegirán al azar.

La densidad media del tramo (Dm) deberá ser, cuando menos, el noventa y ocho por ciento (98%) de la media obtenida al compactar en el laboratorio con la técnica Marshall, las cuatro (4) probetas por jornada de trabajo (De), que se indicaron en el aparte 450.5.2.4.a. de esta especificación.

$$D_m \geq 0.98 D_e$$

Además, la densidad de cada testigo individual (Di) deberá ser mayor o igual al noventa y siete por ciento (97%) de la densidad media de los testigos del tramo (Dm), admitiéndose un (1) solo valor defectuoso por tramo.

$$D_i \geq 0.97 D_m$$

El incumplimiento de alguno de estos dos requisitos implica el rechazo del tramo por parte del Interventor.

La toma de muestras testigo se hará de acuerdo con norma INV E-758 y las densidades se determinarán por alguno de los métodos indicados en las normas INV E-734, E-735 y E-746.

4.2.9.4 Controles periódicos de la formula de trabajo.

➤ materiales

Las verificaciones a realizar periódicamente en cuanto a la calidad de los agregados, está establecida en la siguiente tabla.

Tabla 9. Verificaciones periódicas de calidad de los materiales.

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
Granulometría	E-213	Una (1) vez por jornada
Límite líquido	E-125	Una (1) vez por jornada
Índice de plasticidad	E-126	Una (1) vez por jornada
Equivalente de arena	E-133	Una (1) vez por semana
Densidad seca máxima	E-142	Una (1) vez por semana

El Interventor podrá reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 320.3, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos. en el caso de mezcla de dos (2) o más materiales, los controles se realizarán sobre el material mezclado y con la fórmula de trabajo aprobada para el proyecto.

Siempre que el Interventor considere que las características del material que está siendo explotado en una fuente han cambiado, se deberán repetir todos los ensayos especificados en la Tabla 300.1 del Artículo 300 y adoptar los correctivos que sean necesarios.

Por ningún motivo se permitirá el empleo de materiales que no satisfagan los requisitos de calidad indicados en la Tabla 300.1 del Artículo 300 y en el numeral 320.2 de esta especificación.

En la eventualidad de que el resultado de alguna prueba sea insatisfactorio, se tomaran dos (2) muestras adicionales del material y se repetirá la prueba. Los resultados de ambos ensayos deberán ser satisfactorios o, de lo contrario, el Interventor no autorizará la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

4.2.10 Herramientas estadísticas básicas para la calidad. Kauru Ishikawa promulgó la utilización de siete herramientas básicas de la calidad:

- Gráficas de barras e histogramas
- Diagramas de dispersión
- Estratificación

- Gráficos de control

No obstante, las versiones más actualizadas de las siete herramientas básicas sustituyen la estratificación por los:

- Diagramas de flujo

A continuación se comenta brevemente en que consiste cada una de las 8 herramientas y se proporciona un ejemplo sencillo en el que se aplican algunas de ellas.

4.2.10.1 Gráficas de barras e histogramas. Las gráficas de barras consisten en una serie de rectángulos cuya altura representa la frecuencia con la cual se presentan determinados problemas relacionados con la calidad.

Por ejemplo, la siguiente gráfica muestra la frecuencia con que han aparecido en un determinado intervalo de tiempo 8 errores diferentes. permite identificar inmediatamente los errores más frecuentes (error 7) y los menos infrecuentes (error 8), pudiendo así determinar qué problemas debemos corregir primero.

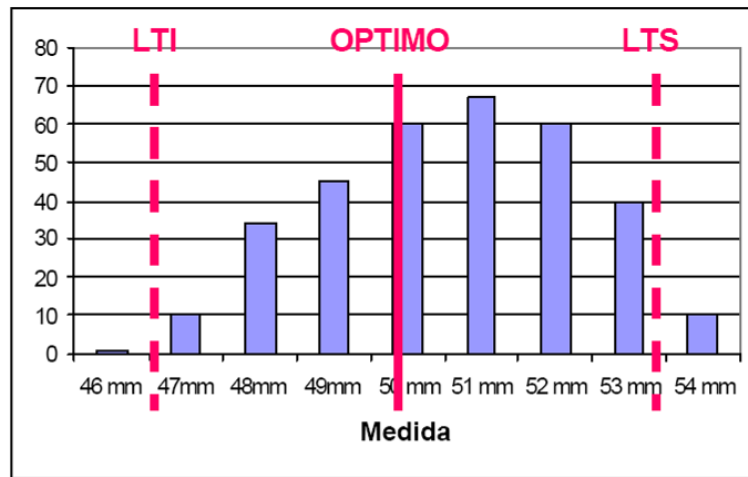
Grafico 1. ej grafico de barras e histogramas.



Los histogramas resumen los datos medidos sobre una escala, mostrando la distribución de frecuencia de alguna característica de calidad.

El siguiente histograma muestra las medidas con que salen las baldosas de una fábrica de cerámicas tras pasar por el túnel de horneado. Se observa que lo más frecuente es que tengan 51 milímetros y que la mayor parte de la producción se concentra en torno a esta medida. La empresa puede fijar un óptimo y unos límites de tolerancia superior (LTS) e inferior (LTI) y tomar conclusiones sobre el grado de ajuste de proceso productivo.

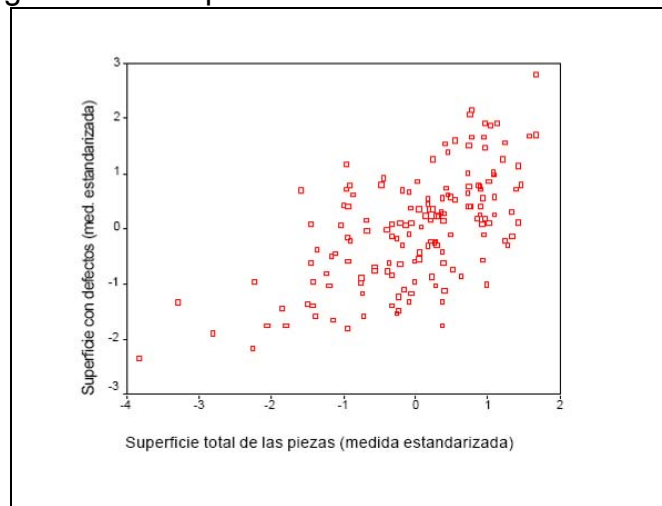
Grafico 2. Ej. rangos de control del grafico de barras e histogramas.



4.2.10.2 Diagramas de dispersión. Los diagramas de dispersión consisten en una representación gráfica de dos variables que muestra como se relacionan entre si. se habla de correlación positiva, negativa o nula entre las variables. en el siguiente diagrama se comparan dos variables: la superficie total de las piezas que entran en un taller de barnizado y la superficie por metro cuadrado de estas piezas que no queda bien barnizada (presenta defectos) tras una primera mano de barniz.

Se aprecia cierta correlación positiva entre ambas variables, lo que lleva a pensar que cuánto mayor es la pieza, más difícil de manejar, y aparecen más defectos por unidad de superficie barnizada. Se puede concluir en la necesidad de mejorar los instrumentos de manipulación de materiales para evitar este problema de calidad.

Grafico 3. Ej. Diagramas de dispersión.



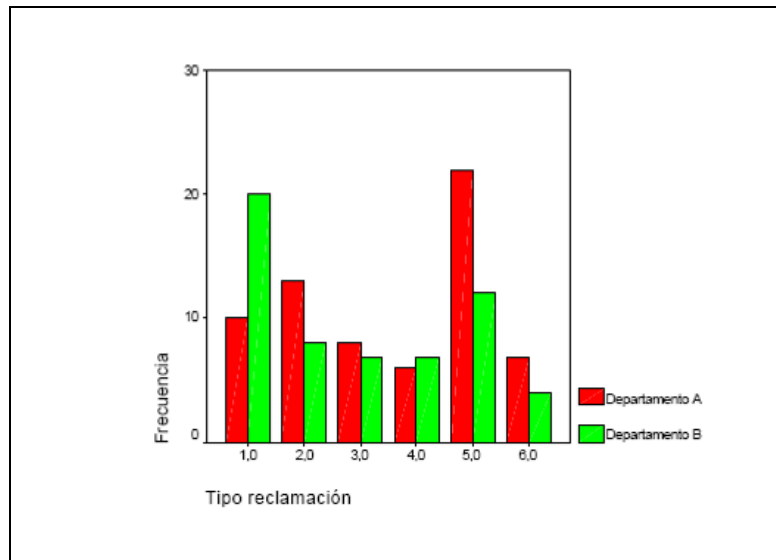
El análisis de regresión es una técnica estadística que permite estudiar los diagramas de dispersión con mayor exhaustividad que la que proporciona la simple observación.

4.2.10.3 Estratificación. La estratificación consiste en dividir la recogida de datos en estratos según el lugar, el momento o la forma de recogida para identificar su fuente de variación o posibles peculiaridades distintivas de cada estrato.

Por ejemplo, en la siguiente figura se especifican las frecuencias con las que aparecen las reclamaciones consideradas antes en el diagrama de Pareto estratificadas por departamentos. Se consideran los dos departamentos que reciben ambas reclamaciones. Se observa que en el departamento A es la reclamación 5 la más importante, mientras que en el departamento B es la reclamación 1.

Esto lleva a pensar que las medidas para mejorar la calidad deberían ser diferentes o aplicarse en orden diferente según el departamento que consideremos.

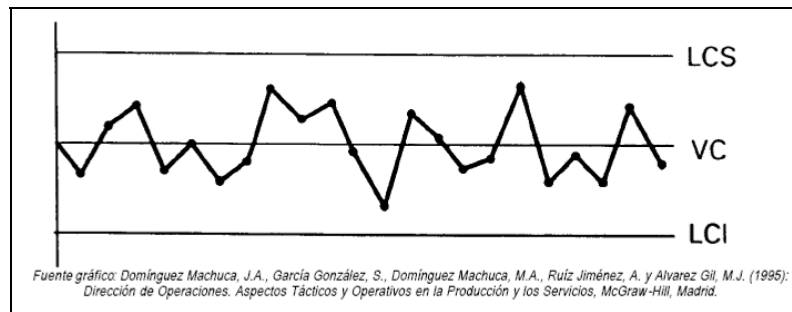
Grafico 4. Ej. Estratificación.



4.2.10.4 Gráficos de control. Los gráficos de control especifican las variaciones de una cierta dimensión de la calidad en torno al valor deseado conforme pasa el tiempo y si éstas permanecen dentro de unos límites de control (o límites de tolerancia) permitidos.

El siguiente dibujo muestra el resultado de un proceso productivo conforme transcurre el tiempo. Se ha tomado una muestra cada hora y medido una determinada variable sobre dicha muestra. Esta medida se ha ido anotando en tabla, llegando a construir una cadena que, en este caso, queda dentro de los límites de control y oscila en torno al valor central deseado (VC).

Grafico 5. Ej. gráficos de control.



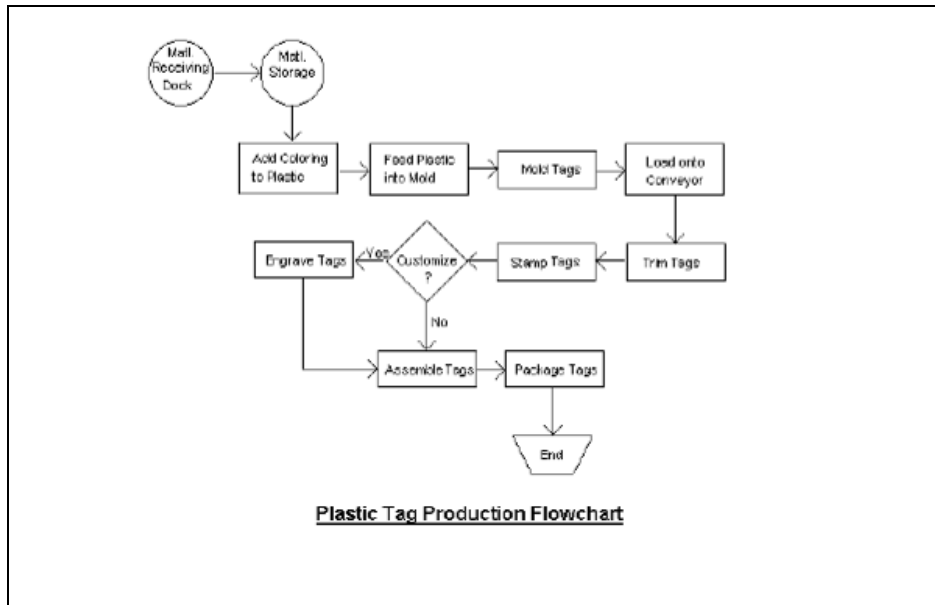
Se parte de la idea de que no hay dos productos idénticos y que existen variaciones. Algunas variaciones son aleatorias y responden al azar, pero otras son asignables, es decir, se deben a causas específicas identificables y corregibles. los gráficos de control ayudan a identificar las causas asignables. de hecho son una herramienta fundamental para la aplicación del Control Estadístico de Procesos.

4.2.10.5 Diagramas de flujo. Los diagramas de flujo son representaciones gráficas de un proceso en las que se identifican los principales pasos que componen dicho proceso. Pueden ser útiles para identificar donde está el origen de los errores en un sistema productivo.

Se utilizan distintos símbolos y formas geométricas para representar el proceso. Los rectángulos suelen representar operaciones o actividades, los rombos decisiones, y los círculos el inicio y el final del proceso. No obstante, existen otras posibles notaciones.

Suele resultar beneficioso especificar gráficamente el proceso ideal y, por otra parte, el proceso real, e identificar las diferencias y, de esa forma, los aspectos que deben ser mejorados.

Grafico 6. Ej. diagramas de flujo.



4.2.10.6. Correlación. En probabilidad y estadística, la correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables aleatorias. se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra: si tenemos dos variables (A y B) existe correlación si al aumentar los valores de A lo hacen también los de B y viceversa. La correlación entre dos variables no implica, por sí misma, ninguna relación de causalidad.

➤ **Fuerza, sentido y forma de la correlación.**

La relación entre dos variables cuantitativas queda representada mediante la línea de mejor ajuste, trazada a partir de la nube de puntos.

Los principales componentes elementales de una línea de ajuste y, por lo tanto, de una correlación, son la fuerza, el sentido y la forma:

- La fuerza extrema según el caso, mide el grado en que la línea representa a la nube de puntos: si la nube es estrecha y alargada, se representa por una línea recta, lo que indica que la relación es *fuerte*; si la nube de puntos tiene una tendencia elíptica o circular, la relación es *débil*.
- El sentido mide la variación de los valores de B con respecto a A: si al crecer los valores de A lo hacen los de B, la relación es *positiva*; si al crecer los valores de A disminuyen los de B, la relación es *negativa*.

- La forma establece el tipo de línea que define el mejor ajuste: la línea rectal, la curva monótonica o la curva no monótonica.

➤ **Coefficientes de correlación**

Existen diversos coeficientes que miden el grado de correlación, adaptados a la naturaleza de los datos. El más conocido es el coeficiente de correlación de Pearson (introducido en realidad por Francis Galton), que se obtiene dividiendo la covarianza de dos variables por el producto de sus desviaciones estándar. Otros coeficientes son:

- Coeficiente de correlación de Spearman.
- Correlación canónica.

➤ **Coefficiente de correlación de Pearson.**

El coeficiente de correlación de Pearson es un índice estadístico que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas. A diferencia de la covarianza, la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables.

El cálculo del coeficiente de correlación lineal se realiza dividiendo la covarianza por el producto de las desviaciones estándar de ambas variables:

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

Siendo:

σ_{XY} la covarianza de (X, Y)

σ_X y σ_Y las desviaciones típicas de las distribuciones marginales.

El valor del índice de correlación varía en el intervalo [-1, +1]:

- Si $r = 0$, no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica una independencia total entre las dos variables, es decir, que la variación de una de ellas puede influir en el valor que pueda tomar la otra. Pudiendo haber relaciones no lineales entre las dos variables. Estas pueden calcularse con la razón de correlación.
- Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada *relación directa*:

cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en idéntica proporción.

- Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva.
- Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada *relación inversa*: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en idéntica proporción.
- Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN A REALIZAR.

Recopilación de la información bibliográfica, con base en ella determinar los tipos de controles hechos para controlar la calidad de una obra de pavimentación existentes y crear un marco conceptual que defina los criterios básicos para llevar un buen control de calidad en las obras a pavimentar.

Determinación y localización de los tramos en la ciudad de Medellín en los cuales se lleve a cabo una obra de pavimentación para identificar el control de calidad realizado en esta.

Aplicación de métodos estadísticos para el control de calidad en obras de pavimentación.

Como resumen se elabora una base de datos para el control de calidad en obras de pavimentación en la ciudad de Medellín.

5.2 POBLACIÓN.

La población a la que se enfoca el trabajo de investigación, es para el sector de la construcción de vías con pavimentos flexibles en la ciudad de Medellín y a su vez para todo Colombia, ya que los materiales con los que contamos para la construcción de estas vías en esta ciudad se pueden encontrar en todo nuestro territorio nacional.

En donde se toman como referencia la vías que tendrá el metroplus, enfocados a los pavimentos flexibles, en los siguientes tramos:

- puente de colombia – fatelares
- Fatelares – universidad de Antioquia (palos verdes)
- Palos verdes - Aranjuez

5.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.

En esta investigación se recolectaron los datos de la siguiente manera:

- Visitar la obra anteriormente dicha en días totalmente aleatorios.
- Hacer un reconocimiento visual de la obra.
- Pedir a la empresa constructora la información necesaria identificar y analizar el control de calidad hecho a los diferentes materiales usados en obra.
- Obtener datos a través de ensayos de laboratorio de acuerdo al estudio de control a realizar.

5.4 FUENTES DE INFORMACIÓN.

5.4.1 fuentes primarias

- Jesús zuluaga: ingeniero civil, especialista en control de calidad en obras de pavimentación.
- Conasfaltos

5.4.2 fuentes secundarias

- Norma INVIAS
- Ensayos de laboratorio

5.5. POSIBLES COLABORADORES.

Carlos Rodolfo Marín
Ingeniero civil
Docente de la Universidad de Medellín

Jesús Zuluaga
Ingeniero civil
Docente del colegio mayor y politécnico colombiano Jaime isaza cadauid

6. DESARROLLO METODOLÓGICO

6.1. RECOLECCIÓN Y COMPARACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EN OBRA.

Se llevo a cabo una serie de investigaciones y consultas en los laboratorios de control de calidad de las obras del metroplus, en donde se pudo obtener la información necesaria para llevar a cabo la investigación a realizar.

En donde se mostrara la metodología usada para hacer el control de calidad a obras de pavimentación (con enfoque a pavimentos flexibles).

6.1.1. Visitas técnicas. Se debe hacer inicialmente una serie de visitas a obra. en este caso se realizaron a las obras de pavimentación del metroplus, concentrándonos en los tramos de interés para la investigación llevada a cabo, encontrando allí la información necesaria sobre el control de calidad realizado cada uno de los tramos. En este caso fue proporcionada por el jefe de control de calidad de la obra (Jesús Zuluaga ing. civil).

6.1.2. Análisis de control de calidad para el tramo 1. Control hecho en la obra el día 25 de junio de 2009 tomado en el tramo 1 comprendido entre puente Colombia y fatelares, en donde se tomaron tres muestras de la mezcla usada en obra. (MDC-2).

Figura 1. Formula de trabajo para el tramo 1 (muestra 1).

ANÁLISIS CONTROL CALIDAD MEZCLA ASFÁLTICA

LUGAR	PLANTA CONASFALTOS	PESO TOTAL DE LA MUESTRA	1,500	gramos
FECHA	25 DE JUNIO DE 2009	PESO AGREGADO EXTRAÍDO +FINOS FILTRO	1,420	gramos
REFERENCIA	RODADURA-MDC-2	PESO ASFALTO	87.0	gramos
MUESTRA No	1/3	PORCENTAJE DE ASFALTO	5.0	%

TAMIZ		3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.80	No.200	
TAMIZ (mm)		19.50	12.70	9.53	4.76	2.00	0.42	0.180	0.074	-----
NORMA	MINIMO	100	80	70	49	29	14	8	4	Especificación INV-02
INVIAS MDC-2 = 02	MAXIMO	100	100	88	65	45	25	17	8	Granulometría
% PASA TOTAL		100	87	77	59	38	20	12	5.1	-----
PESO RETENIDO		0.0	177.6	149.5	249.8	304.2	261.0	109.2	96.1	-----
% RETENIDO		0	13	11	18	21	18	8	6.8	-----
% RETENIDO TOTAL		0	13	23	41	62	80	88	95	-----

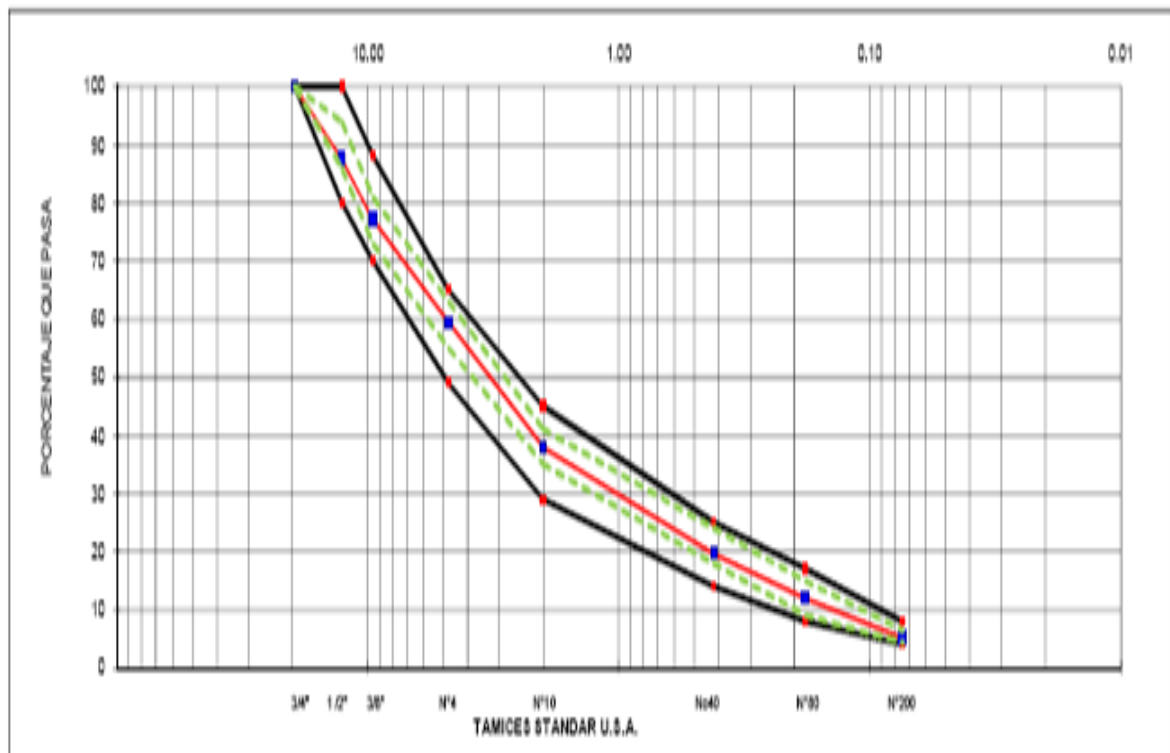


Figura 2. Formula de trabajo para el tramo 1 (muestra 2).

ANÁLISIS CONTROL CALIDAD MEZCLA ASFÁLTICA

LUGAR	PLANTA CONASFALTOS	PESO TOTAL DE LA MUESTRA	1,501	gramos
FECHA	25 DE JUNIO DE 2009	PESO AGREGADO EXTRAÍDO	1,414	gramos
REFERENCIA	RODADURA-MDC-2	PESO ASFALTO	88.7	gramos
MUESTRA No	2/3	PORCENTAJE DE ASFALTO	4.9	%

TAMIZ		3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200	
TAMIZ (mm)		19.50	12.70	9.53	4.76	2.00	0.42	0.180	0.074	-----
NORMA	MINIMO	100	80	70	49	29	14	8	4	Especificación INV-42
INVIAS MDC-2 - 02	MAXIMO	100	100	88	65	45	25	17	8	
% PASA TOTAL		100	88	78	59	38	20	12	4.9	Granulometría
PESO RETENIDO		0.0	166.3	149.3	259.6	301.2	253.9	119.8	94.2	Tolerancia diseño
% RETENIDO		0	12	11	18	21	18	8	6.7	
% RETENIDO TOTAL		0	12	22	41	62	80	88	95	

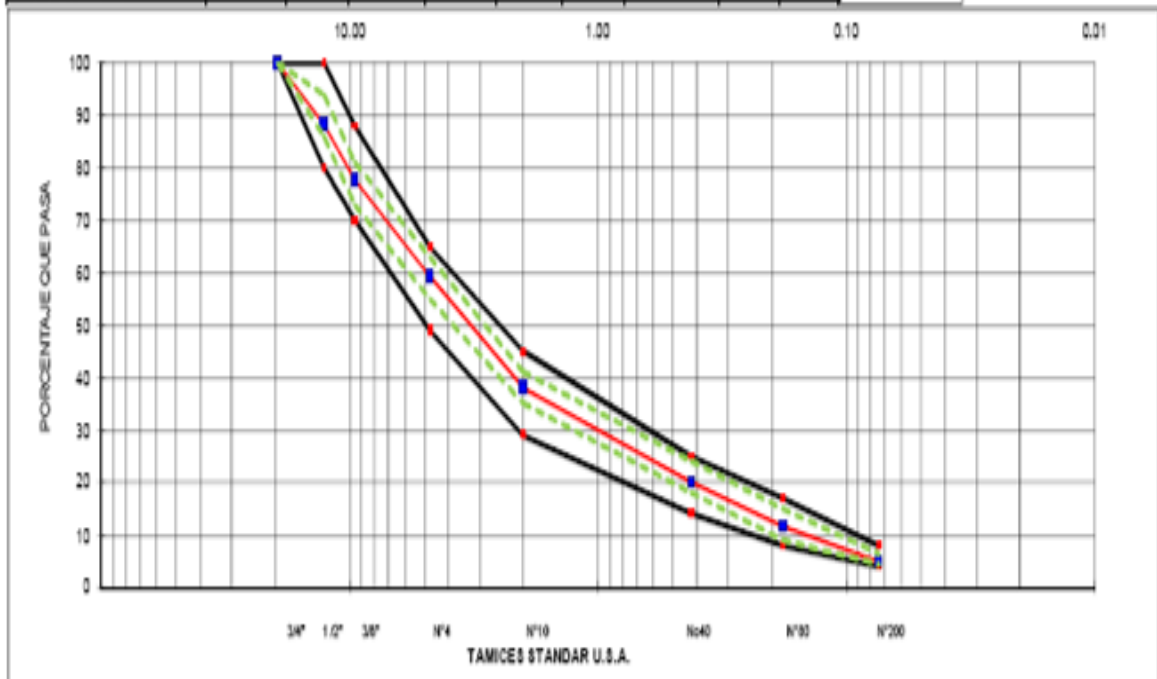


Figura 3. Formula de trabajo para el tramo 1 (muestra 3).

**ANÁLISIS CONTROL CALIDAD
MEZCLA ASFÁLTICA**

LUGAR	PLANTA CONASFALTOS	PESO TOTAL DE LA MUESTRA	1,500	gramos
FECHA	25 DE JUNIO DE 2009	PESO AGREGADO EXTRAÍDO	1,415	gramos
REFERENCIA	RODADURA-MDC-2	PESO ASFALTO	85.4	gramos
MUESTRA No	3/3	PORCENTAJE DE ASFALTO	4.9	%

TAMIZ		3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200	
TAMIZ (mm)		19.50	12.70	9.53	4.76	2.00	0.42	0.180	0.074	---
NORMA	MÍNIMO	100	80	70	49	29	14	8	4	Especificación INV-02
INVIAS MDC-2 = 02	MÁXIMO	100	100	88	65	45	25	17	8	
% PASA TOTAL		100	87	76	60	38	20	13	5.2	Granulometría
PESO RETENIDO		0.0	186.9	156.7	226.3	303.1	255.5	108.6	103.4	Tolerancia diseño
% RETENIDO		0	13	11	16	21	18	8	7.3	
% RETENIDO TOTAL		0	13	24	40	62	80	87	95	

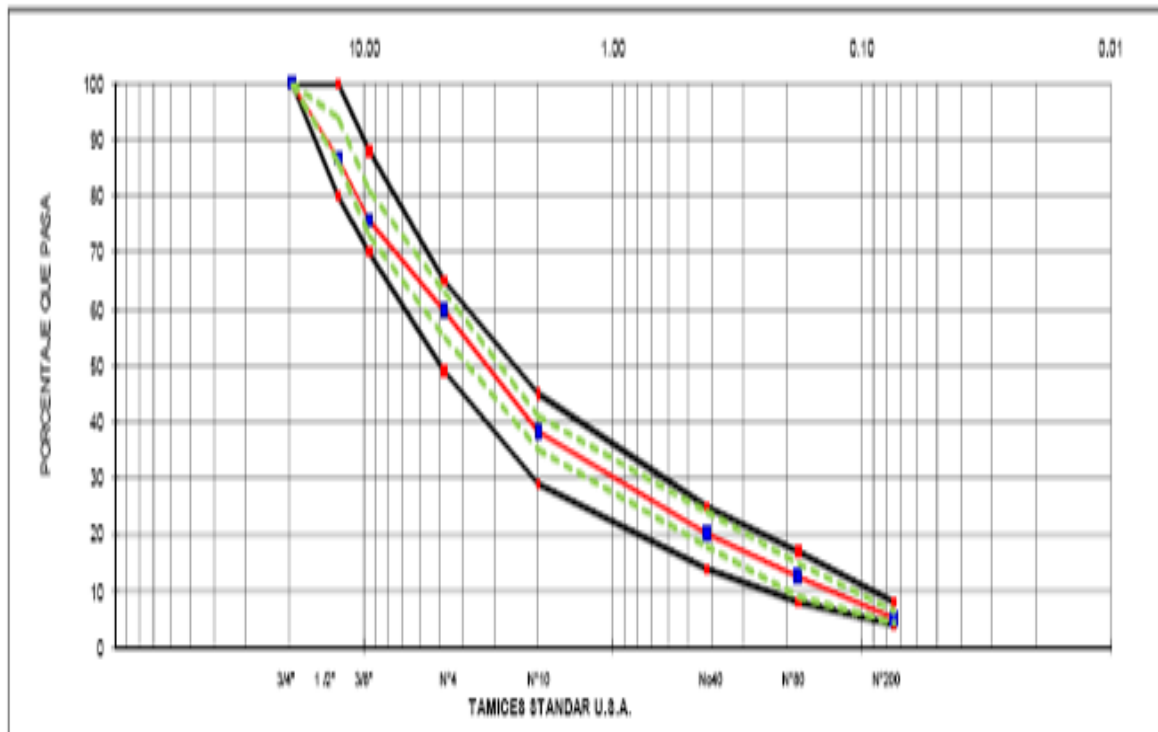


Tabla 10. Datos obtenidos según la formula de trabajo (tramo1).

LOTE	Muestra N°	Briqueta N°	% de Asfalto		PESO ESPECIFICO			% DE VACIOS								
			Valor	C/NC	Gmb	Gmm	Gsb	VTM	C/NC	VAM	C/NC	VFA	C/NC			
1	1	—	5.00	C												
	2	1	4.95	C	2.436	2.564	2.740	5.0	C	15.5	C	67.8	C			
		2			2.435		2.740	5.0	C	15.5	C	67.6	C			
	3	3	4.86	C	2.434	2.563	2.740	5.0	C	15.5	C	67.5	C			
		4			2.433		2.740	5.1	C	15.5	C	67.3	C			
	PROMEDIO			4.94	C	2.427	PROMEDIO	5.0	C	15.5	C	67.6	C			

ESTABILIDAD				FLUJO (mm)	INSPECCION			RELACION Estab/Flujo	
Medida	Altura (mm)	Factor corrección.	Corregida (Kg-F)		EI	EM	FM	Valor	C/NC
					C/NC	C/NC	C/NC		
1481	63.36	1.00	1486	3.48	C	—	—	427	C
1521	63.29	1.00	1528	3.53	C	—	—	433	C
1494	63.24	1.01	1503	3.52	C	—	—	427	C
1489	63.22	1.01	1498	3.43	C	—	—	437	C
PROMEDIO			1504	3.49	—	C	C	—	—

6.1.2.1 Comparación de datos con la normativa.

➤ Granulometría de la mezcla.

En cuanto a las granulometrías rige lo indicado en el numeral 450.2.1 del artículo 450 de la INV 2007

La granulometría q se halla en las tres muestras presentan poca variación entre ellas, lo que nos da argumentos para asumir que el agregado pétreo utilizado en la realización de la mezcla es homogéneo.

Por otro lado se resalta que las tres muestras granulométrica se ajustaron a las especificaciones exigidas tanto por el INVIAS como por diseño.

➤ Porcentaje de asfalto de la mezcla.

Rige lo indicado en el numeral 450.4.2 del artículo 450

El promedio del porcentaje de asfalto de la mezcla utilizada en el tramo 1 fue de 4.94% el cual cumple con la normatividad correspondiente.

➤ **Estabilidad de la mezcla.**

Después de evaluar las tres muestras de la mezcla y tomando 2 briquetas por muestra se identifica que se está cumpliendo con el debido proceso para determinar la estabilidad de la misma, según lo exigido el numeral 450.5.2.4 del artículo 450.

La estabilidad media de la muestra fue de 1504 Kg-f cumpliendo con la normativa que exige que sea mayor o igual al 90% de la estabilidad de la mezcla de la formula de trabajo (1650 Kg-f) y además la estabilidad de cada briqueta debe de ser mayor o igual al 80% del valor de la estabilidad media (1203 Kg-f) lo cual cumplen todas y cada una de las briquetas de cada muestra.

➤ **Flujo de la mezcla.**

Rige lo establecido en el numeral 450.5.2.4 del artículo 450.

El flujo promedio de las briquetas fue de 3.49mm encontrándose en el rango permitido, el cual está limitado entre un 15% por encima o por debajo del flujo de trabajo (3.25mm)

6.1.3. Análisis de control de calidad para el tramo 2. Control hecho en obra el día 21 de julio de 2009 tomado en el tramo 2 comprendido entre puente Fatelares y Universidad de Antioquia, en donde se tomaron tres muestras de la mezcla. (MDC-2)

Figura 4. Formula de trabajo para el tramo 2 (muestra 1).

ANÁLISIS CONTROL CALIDAD
MEZCLA ASFÁLTICA

LUGAR	PLANTA CONASFALTOS	PESO TOTAL DE LA MUESTRA	1,506 gramos
FECHA	21 DE JULIO DE 2009	PESO AGREGADO EXTRAÍDO +FINOS FILTRO	1,423 gramos
REFERENCIA	RODADURA-MDC-2	PESO ASFALTO	82.9 gramos
MUESTRA No	1/3	PORCENTAJE DE ASFALTO	4.7 %

TAMIZ		3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200	
TAMIZ (mm)		19.50	12.70	9.53	4.76	2.00	0.42	0.180	0.074	--- -- --
NORMA	MINIMO	100	80	70	49	29	14	8	4	Especificación INV-02
INVIAS MDC-2 - 02	MAXIMO	100	100	88	65	45	25	17	8	— — —
% PASA TOTAL		100	89	77	60	37	19	11	4.7	Granulometría
PESO RETENIDO		0.0	155.4	168.2	240.5	334.6	250.1	115.0	93.1	— — —
% RETENIDO		0	11	12	17	24	18	8	6.5	Tolerancia diseño
% RETENIDO TOTAL		0	11	23	40	63	81	89	95	

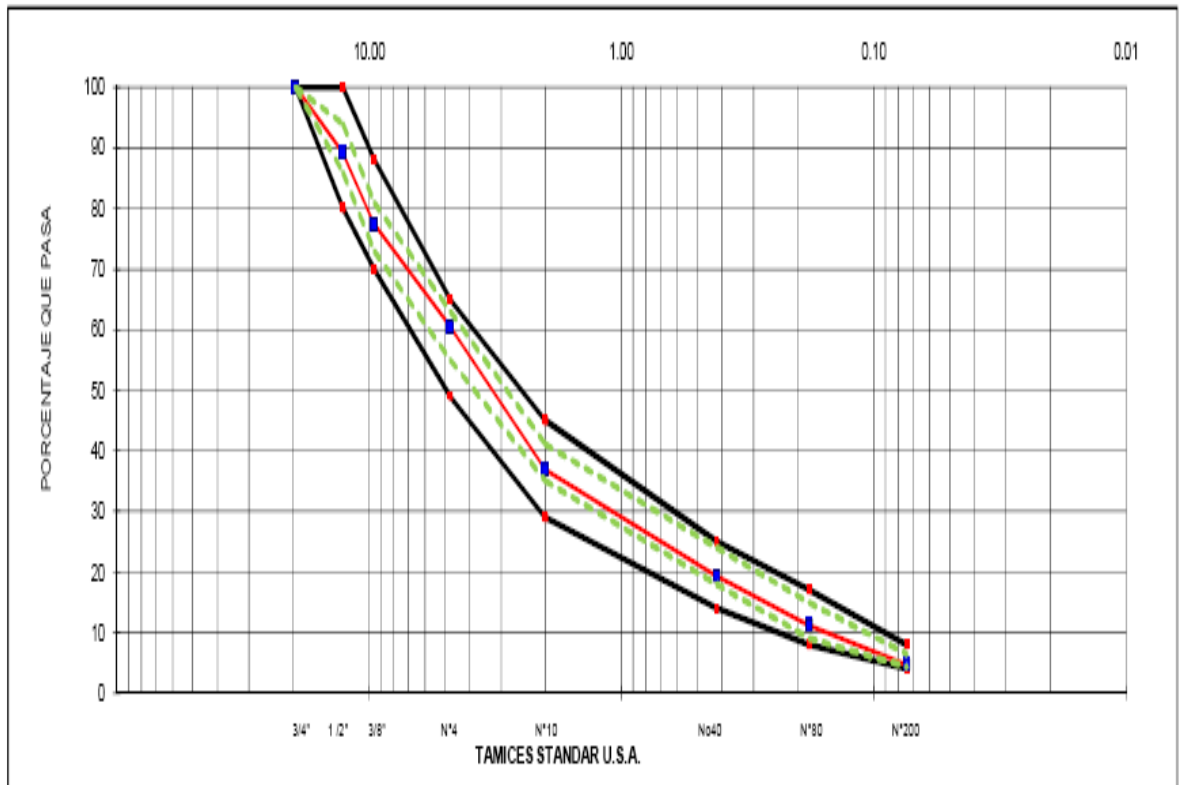


Figura 5. Formula de trabajo para el tramo 2 (muestra 2).

**ANÁLISIS CONTROL CALIDAD
MEZCLA ASFÁLTICA**

LUGAR	PLANTA CONASFALTOS	PESO TOTAL DE LA MUESTRA	1,502	gramos
FECHA	21 DE JULIO DE 2009	PESO AGREGADO EXTRAÍDO	1,415	gramos
REFERENCIA	RODADURA-MDC-2	PESO ASFALTO	87.2	gramos
MUESTRA No	2/3	PORCENTAJE DE ASFALTO	5.0	%

TAMIZ		3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200	
TAMIZ (mm)		19.50	12.70	9.53	4.76	2.00	0.42	0.180	0.074	---
NORMA	MINIMO	100	80	70	49	29	14	8	4	Especificación INV-02
INVIAS MDC-2 - 02	MAXIMO	100	100	88	65	45	25	17	8	---
% PASA TOTAL		100	91	79	63	40	20	12	4.7	Granulometría
PESO RETENIDO		0.0	127.5	165.7	224.3	335.7	273.0	121.9	100.2	---
% RETENIDO		0	9	12	16	24	19	9	7.1	Tolerancia diseño
% RETENIDO TOTAL		0	9	21	37	60	80	88	95	

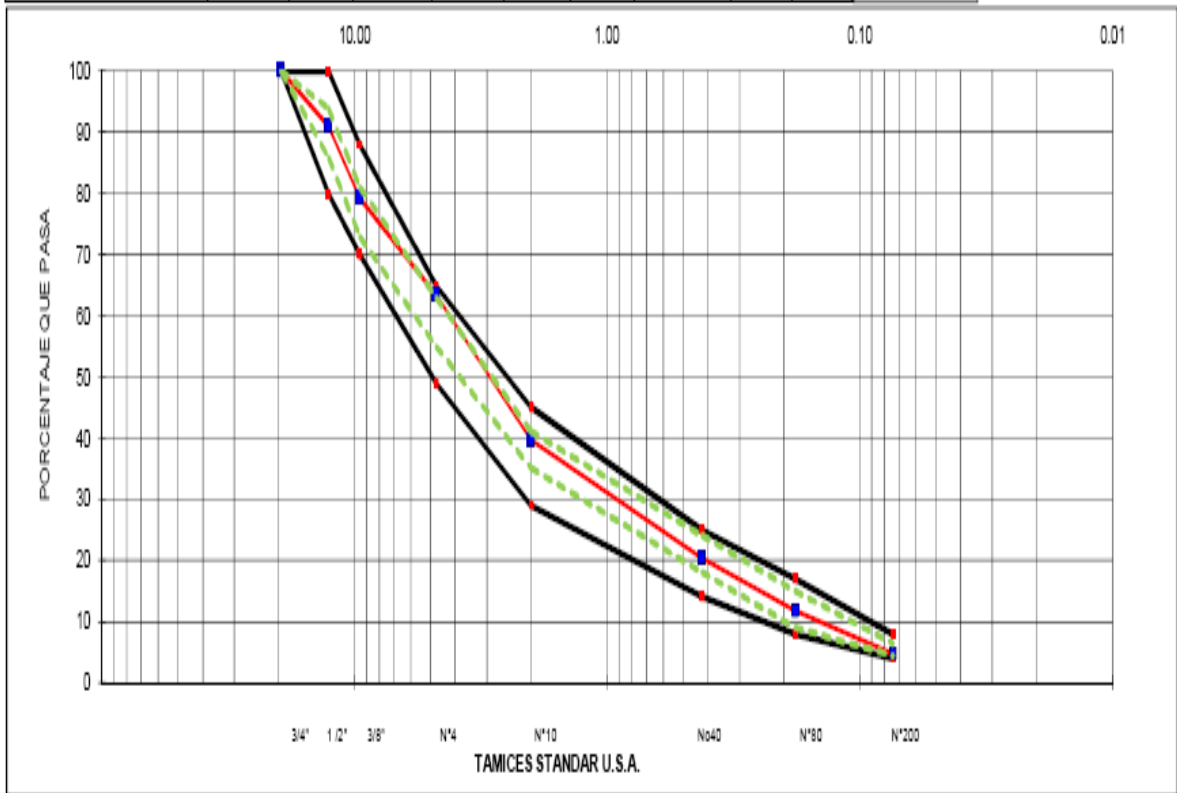


Figura 6. Formula de trabajo para el tramo 2 (muestra 3).

**ANÁLISIS CONTROL CALIDAD
MEZCLA ASFÁLTICA**

LUGAR PLANTA CONASFALTOS PESO TOTAL DE LA MUESTRA **1,504** gramos
 FECHA 21 DE JULIO DE 2009 PESO AGREGADO EXTRAÍDO **1,416** gramos
 REFERENCIA **RODADURA-MDC-2** PESO ASFALTO **87.8** gramos
 MUESTRA No **3/3** PORCENTAJE DE ASFALTO **5.0** %

TAMIZ		3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200	
TAMIZ (mm)		19.50	12.70	9.53	4.76	2.00	0.42	0.180	0.074	
NORMA	MINIMO	100	80	70	49	29	14	8	4	Especificación INV-02
INVIAS MDC-2 - 02	MAXIMO	100	100	88	65	45	25	17	8	
% PASA TOTAL		100	91	79	63	39	20	12	4.9	Granulometría
PESO RETENIDO		0.0	133.4	167.0	221.8	339.7	268.7	118.7	97.8	
% RETENIDO		0	9	12	16	24	19	8	6.9	Tolerancia diseño
% RETENIDO TOTAL		0	9	21	37	61	80	88	95	

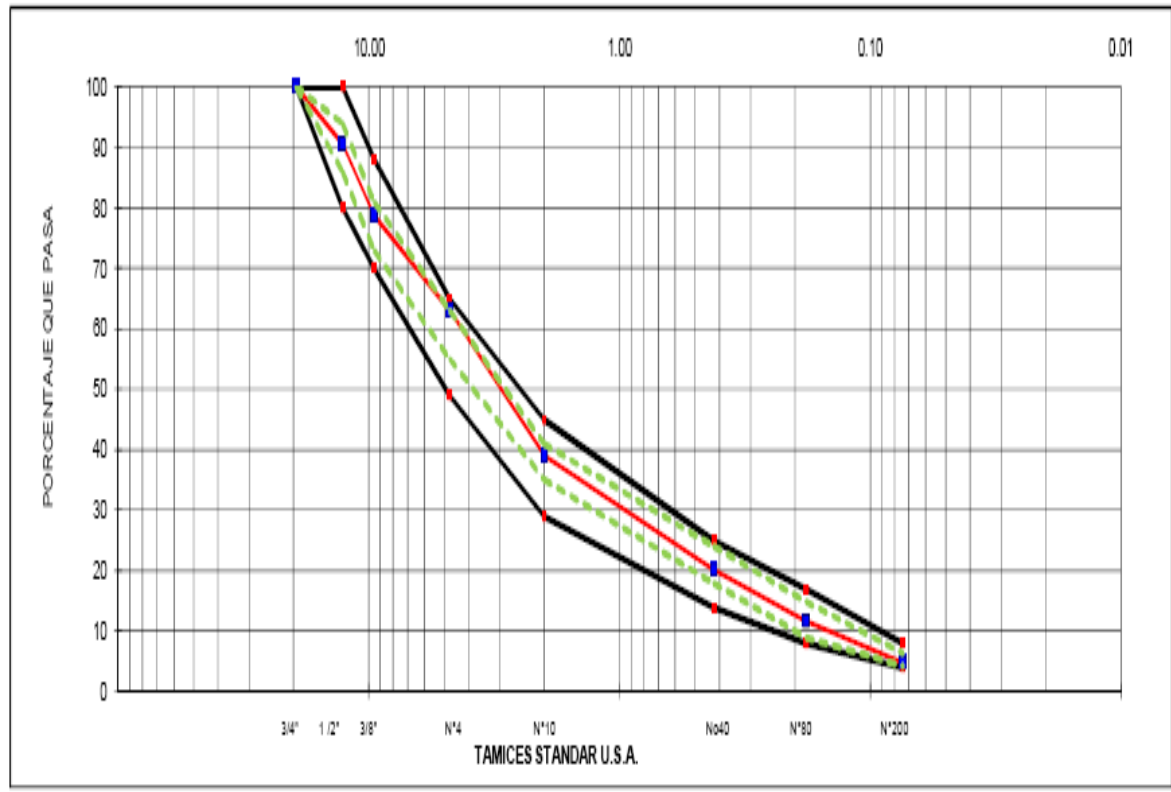


Tabla 11. Datos obtenidos según la fórmula de trabajo (tramo 2)

LOTE	Muestra N°	Briqueta N°	% de Asfalto		PESO ESPECIFICO			% DE VACIOS					
			Valor	C/NC	Gmb	Gmm	Gsb	VTM	C/NC	VAM	C/NC	VFA	C/NC
			1	—	4.67	C							
1	2	1	4.98	C	2.434	2.561	2.740	5.0	C	15.6	C	68.2	C
		2			2.433		2.740	5.0	C	15.6	C	68.0	C
	3	3	5.01	C	2.434	2.558	2.740	5.0	C	15.6	C	68.2	C
		4			2.433		2.740	4.9	C	15.7	C	68.8	C
	PROMEDIO		4.89	C	2.426	PROMEDIO	5.0	C	15.6	C	68.3	C	

ESTABILIDAD				FLUJO (mm)	INSPECCION			RELACION Estab/Flujo	
Medida	Altura (mm)	Factor corrección.	Corregida (Kg-F)		EI	EM	FM	Valor	C/CN
					C/NC	C/NC	C/CN		
1498	63.31	1.00	1504	3.41	C	—	—	441	C
1487	63.38	1.00	1491	3.46	C	—	—	431	C
1519	63.42	1.00	1522	3.56	C	—	—	427	
1518	63.40	1.00	1521	3.48	C	—	—	437	
PROMEDIO			1510	3.48	—	C	C	—	

6.1.3.1 Comparación de datos con la normativa

➤ Granulometría de la mezcla.

En cuanto a las granulometrías rige lo indicado en el numeral 450.2.1 del artículo 450 de la INV 2007

La granulometría que se halla en las tres muestras presentan poca variación entre ellas, lo que nos da argumentos para asumir que el agregado pétreo utilizado en la realización de la mezcla es homogéneo.

Por otro lado se resalta que las tres muestras granulométrica se ajustaron a las especificaciones exigidas tanto por el INVIAS como por diseño.

➤ Porcentaje de asfalto de la mezcla.

Rige lo indicado en el numeral 450.4.2 del artículo 450

El promedio del porcentaje de asfalto de la mezcla utilizada en el tramo 1 fue de 4.89% el cual cumple con la normatividad correspondiente.

➤ Estabilidad de la mezcla.

Después de evaluar las tres muestras de la mezcla y tomando 2 briquetas por muestra se identifica que se está cumpliendo con el debido proceso para determinar la estabilidad de la misma, según lo exigido el numeral 450.5.2.4 del artículo 450.

La estabilidad media de la muestra fue de 1510 Kg-f cumpliendo con la normativa que exige que sea mayor o igual al 90% de la estabilidad de la mezcla de la formula de trabajo (1650 Kg-f) y además la estabilidad de cada briqueta debe de ser mayor o igual al 80% del valor de la estabilidad media (1208 Kg-f) lo cual cumplen todas y cada una de las briquetas de cada muestra.

➤ **Flujo de la mezcla.**

Rige lo establecido en el numeral 450.5.2.4 del artículo 450.

El flujo promedio de las briquetas fue de 3.48mm encontrándose en el rango permitido, el cual está limitado entre un 15% por encima o por debajo del flujo de trabajo (3.25mm)

6.1.4. Análisis de control de calidad para el tramo 3. Control hecho en obra el día 28 de agosto de 2009 tomado en el tramo 3 comprendido entre Universidad de Antioquia y Aranjuez, en donde se tomaron tres muestras de la mezcla. (MDC-2)

Figura 7. Formula de trabajo para el tramo 3 (muestra 1).

**ANÁLISIS CONTROL CALIDAD
MEZCLA ASFÁLTICA**

LUGAR PLANTA CONASFALTOS PESO TOTAL DE LA MUESTRA **1,502** gramos
 FECHA 28 DE AGOSTO DE 2009 PESO AGREGADO EXTRAÍDO +FINOS FILTRO **1,410** gramos
 REFERENCIA **RODADURA-MDC-2** PESO ASFALTO **91.7** gramos
 MUESTRA No **1/3** PORCENTAJE DE ASFALTO **5.3** %

TAMIZ		3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200	
TAMIZ (mm)		19.50	12.70	9.53	4.76	2.00	0.42	0.180	0.074	- - - -
NORMA	MINIMO	100	80	70	49	29	14	8	4	Especificación INV-02
INVIAS MDC-2 - 02	MAXIMO	100	100	88	65	45	25	17	8	
% PASA TOTAL		100	90	77	62	40	22	13	4.6	Granulometría
PESO RETENIDO		0.0	134.8	183.7	213.0	312.6	250.6	130.2	120.5	
% RETENIDO		0	10	13	15	22	18	9	8.5	Tolerancia diseño
% RETENIDO TOTAL		0	10	23	38	60	78	87	95	

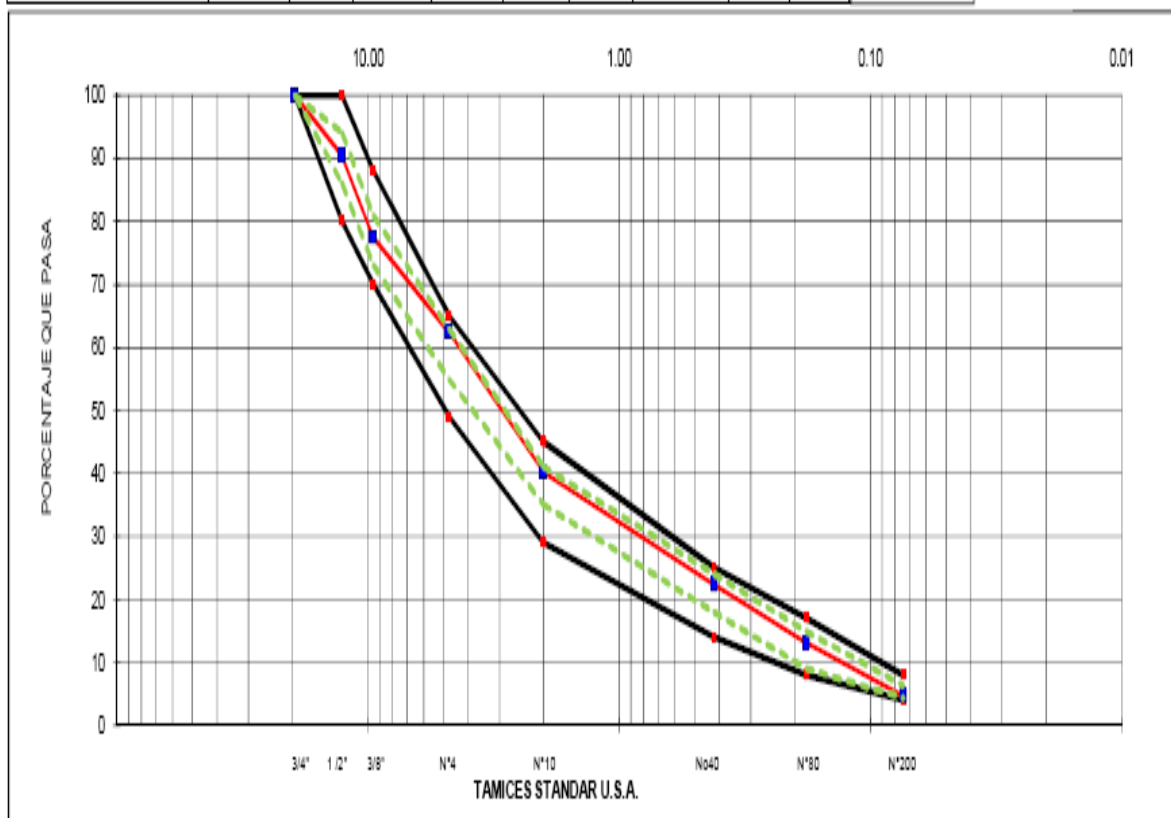


Figura 8. Formula de trabajo para el tramo 3 (muestra 2).

**ANÁLISIS CONTROL CALIDAD
MEZCLA ASFÁLTICA**

LUGAR	PLANTA CONASFALTOS	PESO TOTAL DE LA MUESTRA	1,503	gramos
FECHA	28 DE AGOSTO DE 2009	PESO AGREGADO EXTRAÍDO	1,412	gramos
REFERENCIA	RODADURA-MDC-2	PESO ASFALTO	91.5	gramos
MUESTRA No	2/3	PORCENTAJE DE ASFALTO	5.3	x

TAMIZ		3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200	
TAMIZ (mm)		19.50	12.70	9.53	4.76	2.00	0.42	0.180	0.074	- - - -
NORMA	MINIMO	100	80	70	49	29	14	8	4	Especificación INV-02
INVIAS MDC-2 - 02	MAXIMO	100	100	88	65	45	25	17	8	—
% PASA TOTAL		100	90	78	63	41	23	14	5.0	Granulometría
PESO RETENIDO		0.0	146.3	166.5	213.9	305.4	253.1	128.9	130.1	—
% RETENIDO		0	10	12	15	22	18	9	9.2	Tolerancia diseño
% RETENIDO TOTAL		0	10	22	37	59	77	86	95	

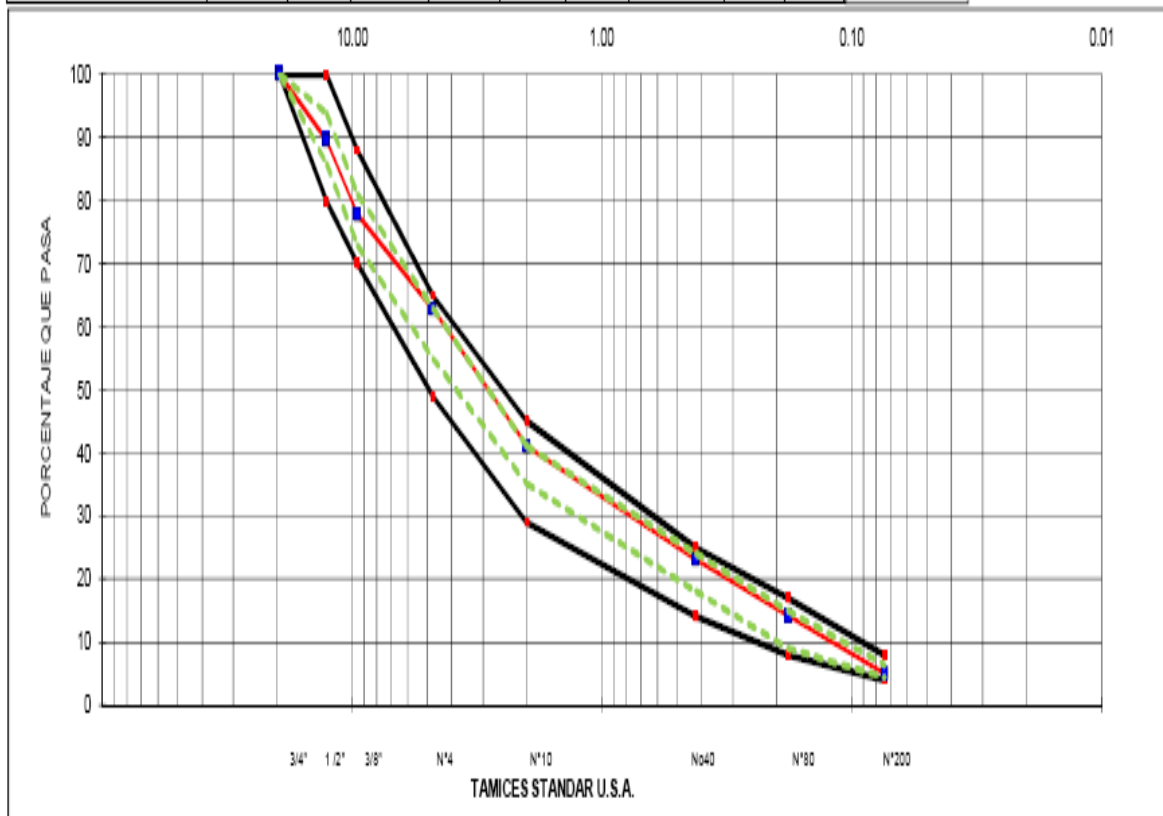


Figura 9. Formula de trabajo para el tramo 3 (muestra 3).

**ANÁLISIS CONTROL CALIDAD
MEZCLA ASFÁLTICA**

LUGAR PLANTA CONASFALTOS PESO TOTAL DE LA MUESTRA **1,502** gramos
 FECHA 28 DE AGOSTO DE 2009 PESO AGREGADO EXTRAÍDO **1,415** gramos
 REFERENCIA **RODADURA-MDC-2** PESO ASFALTO **87.4** gramos
 MUESTRA No **3/3** PORCENTAJE DE ASFALTO **5.0** %

TAMIZ		3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200	
TAMIZ (mm)		19.50	12.70	9.53	4.76	2.00	0.42	0.180	0.074	- - - -
NORMA	MINIMO	100	80	70	49	29	14	8	4	Especificación INV-02
INVIAS MDC-2 - 02	MAXIMO	100	100	88	65	45	25	17	8	—
% PASA TOTAL		100	87	73	59	39	22	13	4.6	Granulometría
PESO RETENIDO		0.0	178.8	201.3	204.7	275.4	246.4	125.1	118.4	—
% RETENIDO		0	13	14	14	19	17	9	8.4	Tolerancia diseño
% RETENIDO TOTAL		0	13	27	41	61	78	87	95	

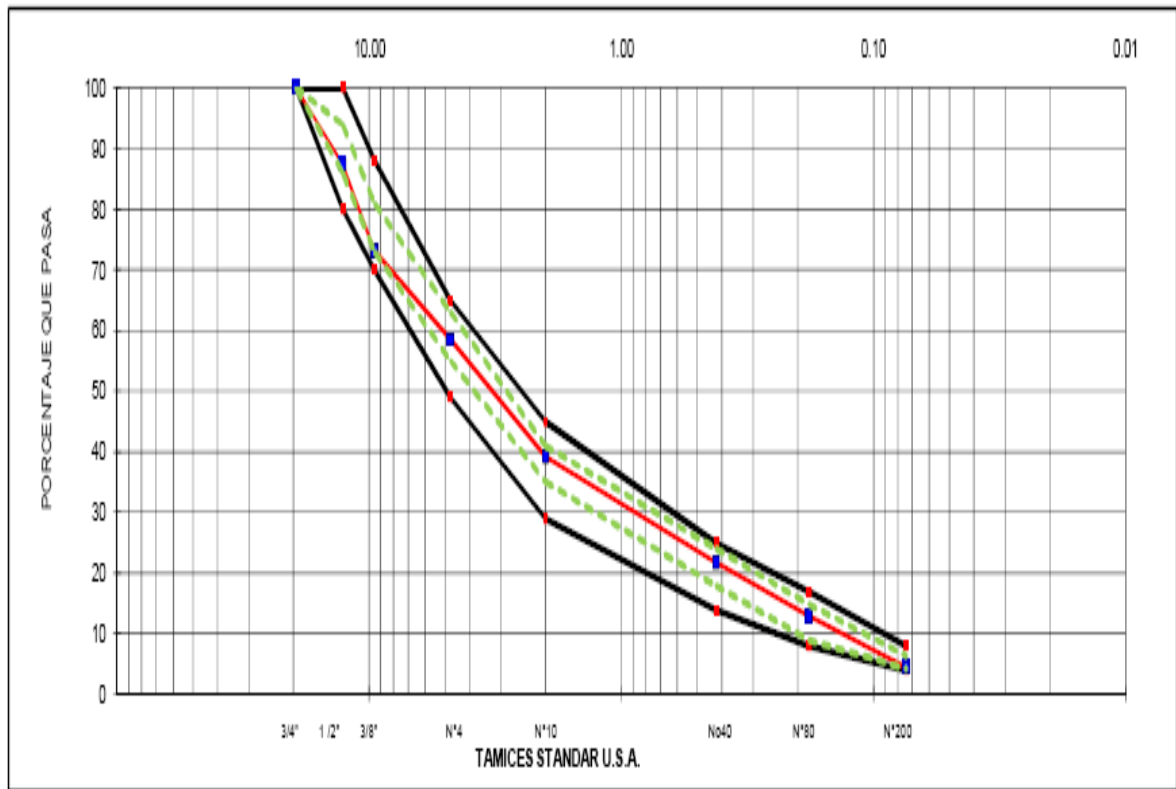


Tabla 12. Datos obtenidos según la fórmula de trabajo (tramo 3).

LOTE	Muestra N°	Briqueta N°	% de Asfalto		PESO ESPECIFICO			% DE VACIOS							
			Valor	C/NC	Gmb	Gmm	Gsb	VTM	C/NC	VAM	C/NC	VFA	C/NC		
1		—	5.28												
	1	1	5.26	C	2.440	2.559	2.740	4.7	C	15.6	C	70.2	C		
		2			2.438		2.740	4.7	C	15.7	C	69.9	C		
			4.99	C	2.436	2.559	2.740	4.8	C	15.5	C	69.1	C		
					2.439		2.740	4.7	C	15.4	C	69.6	C		
	PROMEDIO			5.17	C	2.431	PROMEDIO	4.7	C	15.6	C	69.7	C		

ESTABILIDAD				FLUJO (mm)	INSPECCION			RELACION Estab/Flujo	
Medida	Altura (mm)	Factor corrección.	Corregida (Kg-F)		EI	EM	FM	Valor	C/CN
					C/NC	C/NC	C/CN		
1645	63.51	1.00	1645	3.47	C	—	—	474	C
1605	63.53	1.00	1604	3.50	C	—	—	458	C
1575	63.53	1.00	1574	3.46	C	—	—	455	C
1600	63.50	1.00	1600	3.42	C	—	—	468	C
PROMEDIO			1606	3.46	—	C	C	—	—

6.1.4.1 Comparación de datos con la normativa

➤ Granulometría de la mezcla.

En cuanto a las granulometrías rige lo indicado en el numeral 450.2.1 del artículo 450 de la INV 2007

La granulometría que se halla en las tres muestras presentan poca variación entre ellas, lo que nos da argumentos para asumir que el agregado pétreo utilizado en la realización de la mezcla es homogéneo.

Por otro lado se resalta que las tres muestras granulométrica se ajustaron a las especificaciones exigidas tanto por el INVIAS como por diseño aunque se encuentran un poco ceñidas a este último.

➤ **Porcentaje de asfalto de la mezcla.**

Rige lo indicado en el numeral 450.4.2 del artículo 450

El promedio del porcentaje de asfalto de la mezcla utilizada en el tramo 1 fue de 5.17% el cual cumple con la normatividad correspondiente.

➤ **Estabilidad de la mezcla**

Después de evaluar las tres muestras de la mezcla y tomando 2 briquetas por muestra se identifica que se está cumpliendo con el debido proceso para determinar la estabilidad de la misma, según lo exigido el numeral 450.5.2.4 del artículo 450.

La estabilidad media de la muestra fue de 1606 Kg-f cumpliendo con la normativa que exige que sea mayor o igual al 90% de la estabilidad de la mezcla de la formula de trabajo (1650 Kg-f) y además la estabilidad de cada briqueta debe de ser mayor o igual al 80% del valor de la estabilidad media (1285 Kg-f) lo cual cumplen todas y cada una de las briquetas de cada muestra.

➤ **Flujo de la mezcla**

Rige lo establecido en el numeral 450.5.2.4 del artículo 450.

El flujo promedio de las briquetas fue de 3.46mm encontrándose en el rango permitido, el cual está limitado entre un 15% por encima o por debajo del flujo de trabajo (3.25mm)

6.2. FALENCIAS EN LOS PROCESOS DE CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS DE PAVIMENTACIÓN.

A pesar de no encontrar falencias en anterior análisis, procederemos a mencionar las principales causantes para que los pavimentos en el valle de aburra no sean de buena calidad.

- pedir material para la construcción de la carpeta de rodadura, sin que el tramo sobre el cual se va a construir, este aprobado por la interventoría.
- Llevar un mal control de la formula de trabajo, obtenida en el ensayo de diseño Marshall.
- Tener mal control de calidad de los materiales en las plantas de tratamiento, ya sea en la dosificación, almacenamiento y transporte.

- Regar las mezclas (mezcla densa en caliente) bajo condiciones de altas lluvias.
- Utilizar mezcla que esté quemada (de coloración café), a la hora de llevar acabo un proceso de pavimentación.
- Compactar cuando la mezcla densa en caliente tipo 2 (MDC – 2) este con temperaturas mayores a 140°C y menores a 110°C, y cuando la mezcla modificada este con temperaturas mayores a 155°C y menores a 115°C.
- Excederse en los tiempos de riego y colocación de la mezcla, los cuales no pueden sobrepasar en más de 8 horas.
- El medio de transporte de la mezcla (volquetas), no esté debidamente tapado con una carpa de lona.
- Vaciar el material de pavimentación en sitio, sin orden y/o aprobación de la supervisión. (interventor).
- Vaciar la mezcla sobre zonas donde presente humedad y material arcilloso.
- Controlar inadecuadamente las densidades (compactación).
- Hacer una comprobación visual directamente en el campo a la hora de revisar, pagar y entregar obra.
- Cuando se presenta ahuellamiento corregir en ese instante o remover totalmente la zona que se pavimento.
- No Utilizar material ligante en juntas y áreas de vaciado.
- Colocación de la mezcla en forma de escala.
- No controlar adecuadamente las juntas longitudinales.
- Cuando se presenta segregación en la estructura no ventear (regar), un material para corregir esto.
- Compactar las brechas con el equipo inadecuado.
- Vaciado de la mezcla por capas.

- Tener en cuenta que las brechas se deben dejar con espesores un poco mayores.
- Toma de muestras antes del tiempo del curado de la mezcla asfáltica.
- Aplicar mezcla asfáltica sobre la base granular sucia y con grumos.
- Control inadecuado de ejes del proyecto y de ceros en todos los tramos.
- Deficiencia en la gradación de los agregados y/o heterogeneidad en su dureza.
- Falta de estructuras de confinamiento como sardineles y bermas.
- Uso de agregados susceptibles al desgaste prematuro.
- Uso de asfaltos de baja penetración.
- Falta de construcción de Subdrenajes los cuales son vitales para la calidad de la estructura de pavimento.
- Demasiado finos en la mezcla.
- Bajo porcentaje de caras fracturadas de los agregados.
- Falta de confinamiento de la banca.

6.3. HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS PARA LA EVALUACIÓN DE VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS DE PAVIMENTACIÓN.

➤ **Grafico de control de espesores:** es una herramienta que nos permite identificar el comportamiento del espesor de la carpeta asfáltica, la cual es una variable determinante en el funcionamiento y comportamiento de un pavimento flexible.

El procedimiento llevado a cabo en este método se basa en la toma de datos aleatorios en cualquier parte del tramo a estudiar, en donde en primer lugar se calcula la media aritmética de todos los datos, luego se calcula la desviación estándar, para poder tener un rango de variación aceptable para el espesor y de


paso encontrar las zonas del tramo estudiado que no cumplen con el espesor de diseño.

Permite de igual forma identificar los datos que de alguna manera pueden presentar múltiples causas de error debido a la forma como se extrajo la muestra o al espesor mismo, dado que las condiciones en las que se estudio esta variable no permiten cambios abruptos entre si.

Este método también nos permite encontrar límites de espesores superiores e inferiores a la media de estos, dándonos una franja donde se encuentran los valores óptimos.

6.3.1. Análisis estadístico para los espesores del tramo 1 (puente Colombia – Fatelares).

Tabla 13. Control resumen tramo 1

	NOMBRE DEL DOCUMENTO	EXTRACCIÓN - GRADACIÓN - DENSIDAD DE NÚCLEOS DE MEZCLA ASFÁLTICA	
	TRAMO	Puente colombia - Fatelares	
	INSTITUCION EDUCATIVA	Politecnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid	

ESPEJOR MEDIO (cm)	8,04	COEFICIENTE DE VARIACION (ESPEJOR)	6%
DESVIACIÓN ESTANDAR (ESP) :	0,52		

	TOTAL	DATOS	PORCENTAJES
ESPEJORES MAYOR 8,3 (cm.)	50	15,0000	30
ESPEJORES MENOR 7,7 (cm.)	50	12,0000	24
ESPEJORES ESPECIFICADOS	50	23,0000	46

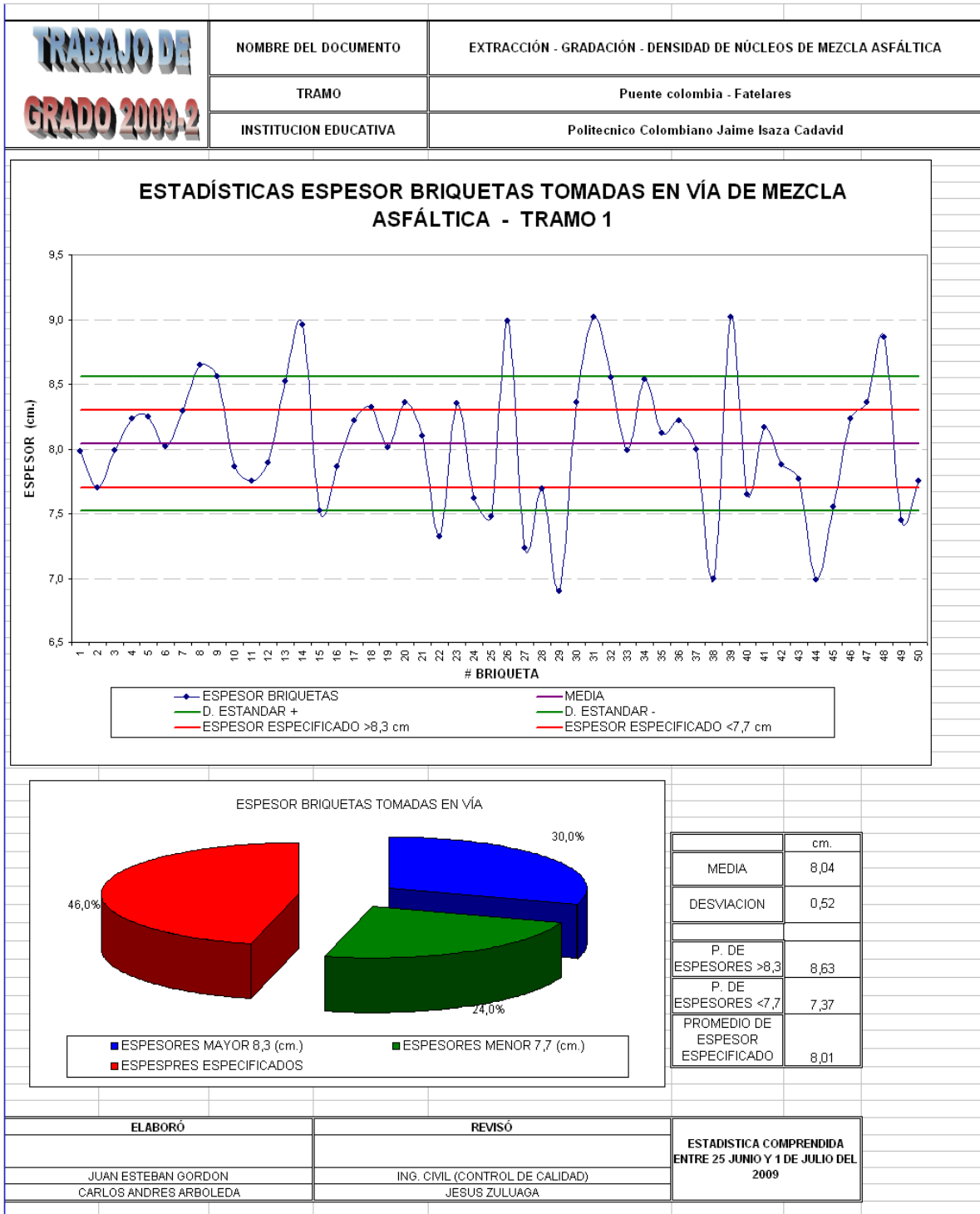
Tabla 14. Datos obtenidos tramo 1

BRIQUETA No	TIPO DE MEZCLA	FECHA TOMA MUESTRA	SITIO PRODUCCION	ABSCISA TOMA NUCLEO	LADO	ALTURA PROMEDIO BRIQUETA (CM)
1	MDC-2 2009	29-jun-09	Conasfaltos	k0+010 LD	LD	7,98
2	MDC-2 2009	29-jun-09	Conasfaltos	K0+015 LD	LD	7,70
3	MDC-2 2009	29-jun-09	Conasfaltos	K0+020 LD	LD	7,99
4	MDC-2 2009	29-jun-09	Conasfaltos	K0+025 EJE	EJE	8,23
5	MDC-2 2009	29-jun-09	Conasfaltos	K0+030 EJE	EJE	8,25
6	MDC-2 2009	29-jun-09	Conasfaltos	K0+035 LI	LI	8,02
7	MDC-2 2009	29-jun-09	Conasfaltos	K0+040 LI	LI	8,29
8	MDC-2 2009	29-jun-09	Conasfaltos	K0+045 LI	LI	8,65
9	MDC-2 2009	29-jun-09	Conasfaltos	K0+050 LD	LD	8,56
10	MDC-2 2009	29-jun-09	Conasfaltos	K0+052 LD	LD	7,86
11	MDC-2 2009	29-jun-09	Conasfaltos	K0+059 LI	LI	7,75
12	MDC-2 2009	29-jun-09	Conasfaltos	K0+064 LD	LD	7,89
13	MDC-2 2009	29-jun-09	Conasfaltos	K0+066 LD	LD	8,52
14	MDC-2 2009	29-jun-09	Conasfaltos	K0+069 EJE	EJE	8,96
15	MDC-2 2009	29-jun-09	Conasfaltos	K0+075 LI	LI	7,52
16	MDC-2 2009	29-jun-09	Conasfaltos	K0+075 LI	LI	7,86
17	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+082 LD	LD	8,22
18	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+087 LD	LD	8,32
19	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+091 LI	LI	8,01
20	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+096 LI	LI	8,36
21	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+102 LI	LI	8,10
22	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+106 EJE	EJE	7,32
23	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+111 EJE	EJE	8,35
24	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+119 LI	LI	7,62
25	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+126 LD	LD	7,48
26	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+133 LD	LD	8,99
27	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+136 LI	LI	7,23
28	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+140 LI	LI	7,69
29	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+144 EJE	EJE	6,90
30	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+148 EJE	EJE	8,36
31	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+153 LI	LI	9,02
32	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+159 LI	LI	8,55
33	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+163 LD	LD	7,99
34	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+169 LD	LD	8,54
35	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+174 LD	LD	8,12
36	MDC-2 2009	30-jun-09	Conasfaltos	K0+178 LD	LD	8,22
37	MDC-2 2009	1-jul-09	Conasfaltos	K0+185 LI	LI	8,00
38	MDC-2 2009	1-jul-09	Conasfaltos	K0+191 LI	LI	7,00
39	MDC-2 2009	1-jul-09	Conasfaltos	K0+199 EJE	EJE	9,02
40	MDC-2 2009	1-jul-09	Conasfaltos	K0+209 LI	LI	7,65
41	MDC-2 2009	1-jul-09	Conasfaltos	K0+212 LD	LD	8,17
42	MDC-2 2009	1-jul-09	Conasfaltos	K0+218 LD	LD	7,88
43	MDC-2 2009	1-jul-09	Conasfaltos	K0+226 LI	LI	7,77
44	MDC-2 2009	1-jul-09	Conasfaltos	K0+230 LD	LD	6,99
45	MDC-2 2009	1-jul-09	Conasfaltos	K0+235 EJE	EJE	7,55
46	MDC-2 2009	1-jul-09	Conasfaltos	K0+239 EJE	EJE	8,23
47	MDC-2 2009	1-jul-09	Conasfaltos	K0+242 LD	LD	8,36
48	MDC-2 2009	1-jul-09	Conasfaltos	K0+251 LI	LI	8,86
49	MDC-2 2009	1-jul-09	Conasfaltos	K0+259 LI	LI	7,45
50	MDC-2 2009	1-jul-09	Conasfaltos	K0+266 LI	LI	7,75

Tabla 15. Análisis estadístico tramo 1

ANALISIS ESTADISTICO PARA ESPESORES							
ALTURA PROMEDIO DE ESPESORES	LIMITE SUPERIOR RESPECTO A LA VARIACION ESPERADA	LIMITE INFERIOR RESPECTO A LA VARIACION ESPERADA	LIMITE INFERIOR ESPECIFICADO	LIMITE SUPERIOR ESPECIFICADO	briquetas con altura mayor a 8,3cm	briquetas con altura menores a 7,7cm	briquetas con altura especificada
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	7,98
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	7,7
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	7,99
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	8,23
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	8,25
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	8,02
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	8,29
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	8,65	0	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	8,56	0	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	7,86
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	7,75
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	7,89
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	8,52	0	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	8,96	0	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	7,52	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	7,86
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	8,22
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	8,32	0	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	8,01
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	8,36	0	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	8,1
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	7,32	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	8,35	0	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	7,82	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	7,48	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	8,99	0	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	7,23	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	7,69	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	6,9	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	8,36	0	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	9,02	0	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	8,55	0	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	7,99
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	8,54	0	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	8,12
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	8,22
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	8
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	7	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	9,02	0	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	7,65	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	8,17
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	7,88
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	7,77
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	6,99	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	7,55	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	8,23
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	8,36	0	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	8,86	0	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	7,45	0
8,0420	8,56	7,52	7,7	8,3	0	0	7,75


Grafico 7. Análisis estadístico tramo 1



- Se identifica que la desviación estándar es 0.52 la cual indica que hay poca variación entre los espesores del tramo estudiado y por ende el coeficiente de variación es menor 10%, lo cual es óptimo para el diseño según lo especificado.
- En promedio el espesor es de 8.04 cm en donde se identifica que cumple con el espesor de diseño el cual es de 8 cm.
- Se identifica que el 46% de los espesores se encuentran dentro del especificado, el 30% esta por encima del limite superior especificado el cual es de 8.3 cm y el 24% esta por debajo del limite inferior especificado el cual es del 7.7cm.

6.3.2. Análisis estadístico para los espesores del tramo 2 (Fatelares – U de A).

Tabla 16. Control resumen tramo 2.

	NOMBRE DEL DOCUMENTO		EXTRACCIÓN - GRADACIÓN - DENSIDAD DE NÚCLEOS DE MEZCLA ASFÁLTICA	
	TRAMO		Fatelares - U de A	
	INSTITUCION EDUCATIVA		Politecnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid	

ESPEJOR MEDIO (cm)	8,13	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	8%
DESVIACIÓN ESTANDAR:	0,65		

	TOTAL	DATOS	PORCENTAJES
ESPEORES MAYORES 8,3 (cm.)	50	16	32
ESPEORES MENOR 7,7 (cm.)	50	11	22
ESPEJOR ESPECIFICADO	50	23	46

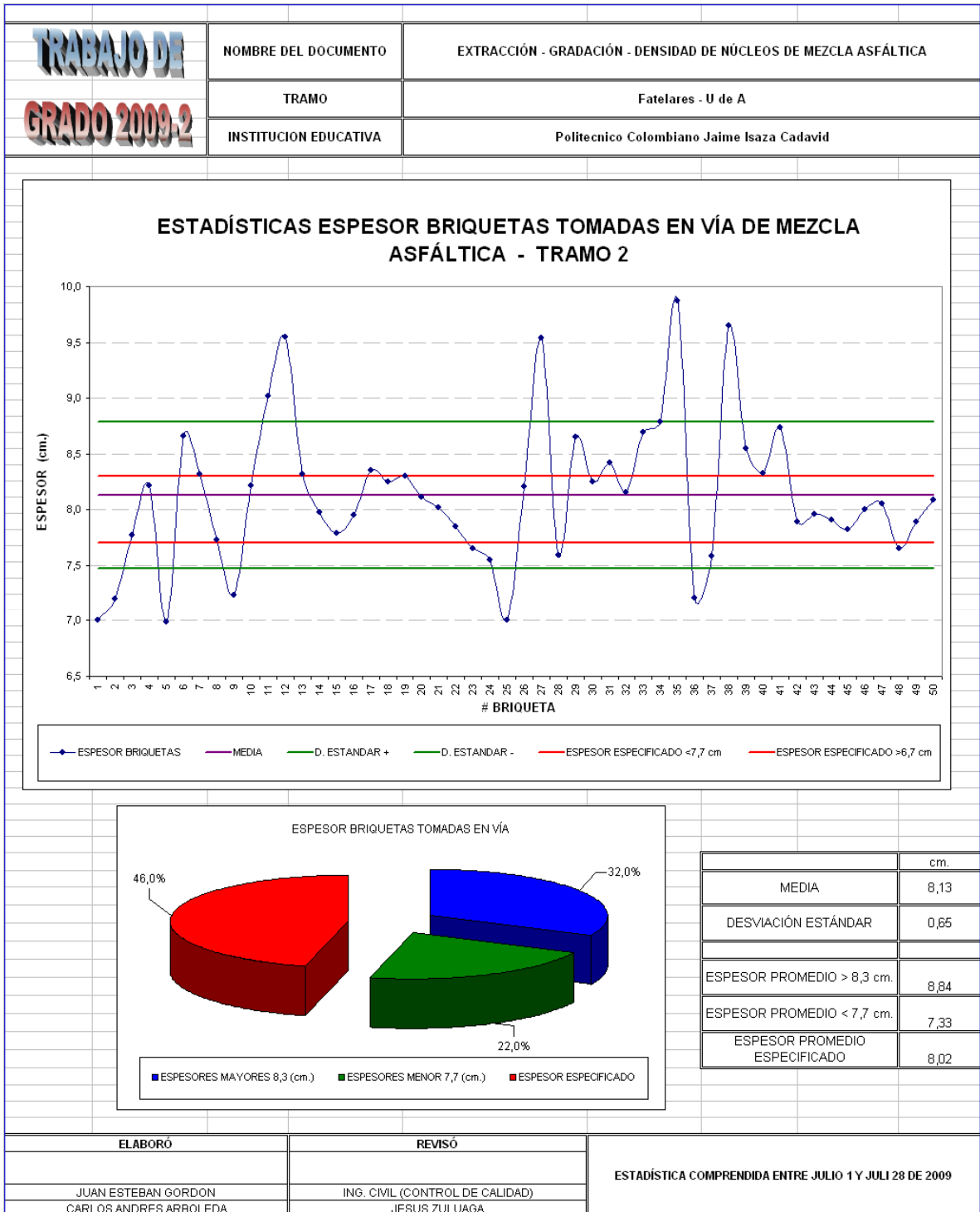
Tabla 17. Datos obtenidos tramo 2.

BRIQUETA No	TIPO DE MEZCLA	FECHA TOMA MUESTRA	SITIO PRODUCCION	ABSCISA TOMA NUCLEO	LADO	ALTURA PROMEDIO BRIQUETA (CM)
1	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+285 EJE	EJE	7,00
2	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+290 EJE	EJE	7,20
3	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+296 EJE	EJE	7,77
4	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+303 LD	LD	8,22
5	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+308 EJE	EJE	6,99
6	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+315 LD	LD	8,66
7	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+321 LD	LD	8,32
8	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+325 LI	LI	7,73
9	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+330 LD	LD	7,23
10	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+239 LD	LD	8,22
11	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+ 244 LD	LD	9,02
12	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+249 LI	LI	9,55
13	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+255 LI	LI	8,32
14	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+260 LD	LD	7,98
15	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+266 EJE	EJE	7,79
16	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+270 EJE	EJE	7,95
17	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+277 LD	LD	8,35
18	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+282 EJE	EJE	8,25
19	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+288 EJE	EJE	8,30
20	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+295 LI	LI	8,11
21	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+300 EJE	EJE	8,02
22	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+305 LD	LD	7,85
23	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+310 EJE	EJE	7,65
24	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+315 LD	LD	7,55
25	MDC-2 2009	27-jul-09	Conasfaltos	K1+320 LD	LD	7,00
26	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+328 LD	LD	8,21
27	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+333 LI	LI	9,54
28	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+339 LI	LI	7,59
29	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+344 LI	LI	8,65
30	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+349 LD	LD	8,25
31	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+355 LD	LD	8,42
32	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+361 LI	LI	8,16
33	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+366 EJE	EJE	8,69
34	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+375 LI	LI	8,79
35	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+385 LD	LD	9,87
36	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+390 LI	LI	7,21
37	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+400 EJE	EJE	7,58
38	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+413 LD	LD	9,65
39	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+420 LI	LI	8,55
40	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+430 EJE	EJE	8,33
41	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+440 LD	LD	8,74
42	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+450 LD	LD	7,89
43	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+455 LI	LI	7,96
44	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+465 LD	LD	7,91
45	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+470 EJE	EJE	7,82
46	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+477 LI	LI	8,00
47	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+488 EJE	EJE	8,05
48	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+495 LI	LI	7,65
49	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+505 EJE	EJE	7,89
50	MDC-2 2009	28-jul-09	Conasfaltos	K1+515 LD	LD	8,09

Tabla 18. Análisis estadístico tramo 2

ANALISIS ESTADISTICO							
ALTURA PROMEDIO DE ESPESORES	LIMITE SUPERIOR RESPECTO A LA VARIACION ESPERADA	LIMITE INFERIOR RESPECTO A LA VARIACION ESPERADA	LIMITE INFERIOR ESPECIFICADO	LIMITE SUPERIOR ESPECIFICADO	briquetas con altura mayor a 8,3cm	briquetas con altura menores a 7,7cm	briquetas con altura especificada
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	7	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	7,2	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	7,77
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	8,22
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	6,99	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	8,66	0	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	8,32	0	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	7,73
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	7,23	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	8,22
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	9,02	0	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	9,55	0	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	8,32	0	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	7,98
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	7,79
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	7,95
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	8,35	0	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	8,25
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	8,3
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	8,11
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	8,02
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	7,85
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	7,65	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	7,55	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	7	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	8,21
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	9,54	0	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	7,59	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	8,65	0	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	8,25
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	8,42	0	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	8,16
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	8,69	0	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	8,79	0	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	9,87	0	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	7,21	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	7,58	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	9,65	0	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	8,55	0	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	8,33	0	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	8,74	0	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	7,89
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	7,96
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	7,91
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	7,82
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	8
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	8,05
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	7,65	0
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	7,89
8,1304	8,78	7,48	7,7	8,3	0	0	8,09

Grafico 8. Análisis estadístico tramo 2.



- Se identifica que la desviación estándar es 0.66 la cual indica que hay poca variación entre los espesores del tramo estudiado y por ende el coeficiente de variación es menor 10%, lo cual es óptimo para el diseño, según lo especificado.
- En promedio el espesor es de 8.13 cm en donde se identifica que cumple con el espesor de diseño el cual es de 8 cm.
- Se identifica que el 46% de los espesores se encuentran dentro del especificado, el 32% esta por encima del limite superior especificado el cual es de 8.3 cm y el 22% esta por debajo del limite inferior especificado el cual es del 7.7cm.

6.3.3. Análisis estadístico para los espesores del tramo 3 (U de A – Palos vedes).

Tabla 19. Control resumen tramo 3.


	NOMBRE DEL DOCUMENTO	EXTRACCIÓN - GRADACIÓN - DENSIDAD DE NÚCLEOS DE MEZCLA ASFÁLTICA	
	TRAMO	U de A - Palos verdes	
	INSTITUCION EDUCATIVA	Politecnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid	
Cm			
MEDIA:	7,17	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	9%
DESVIACIÓN ESTANDAR:	0,64		
ESPESOR MAYOR 7,3 (cm.)	50	20,00	40
ESPESOR MENOR 6,7 (cm.)	50	10,00	20
ESPESOR ESPECIFICADO	50	20,00	40

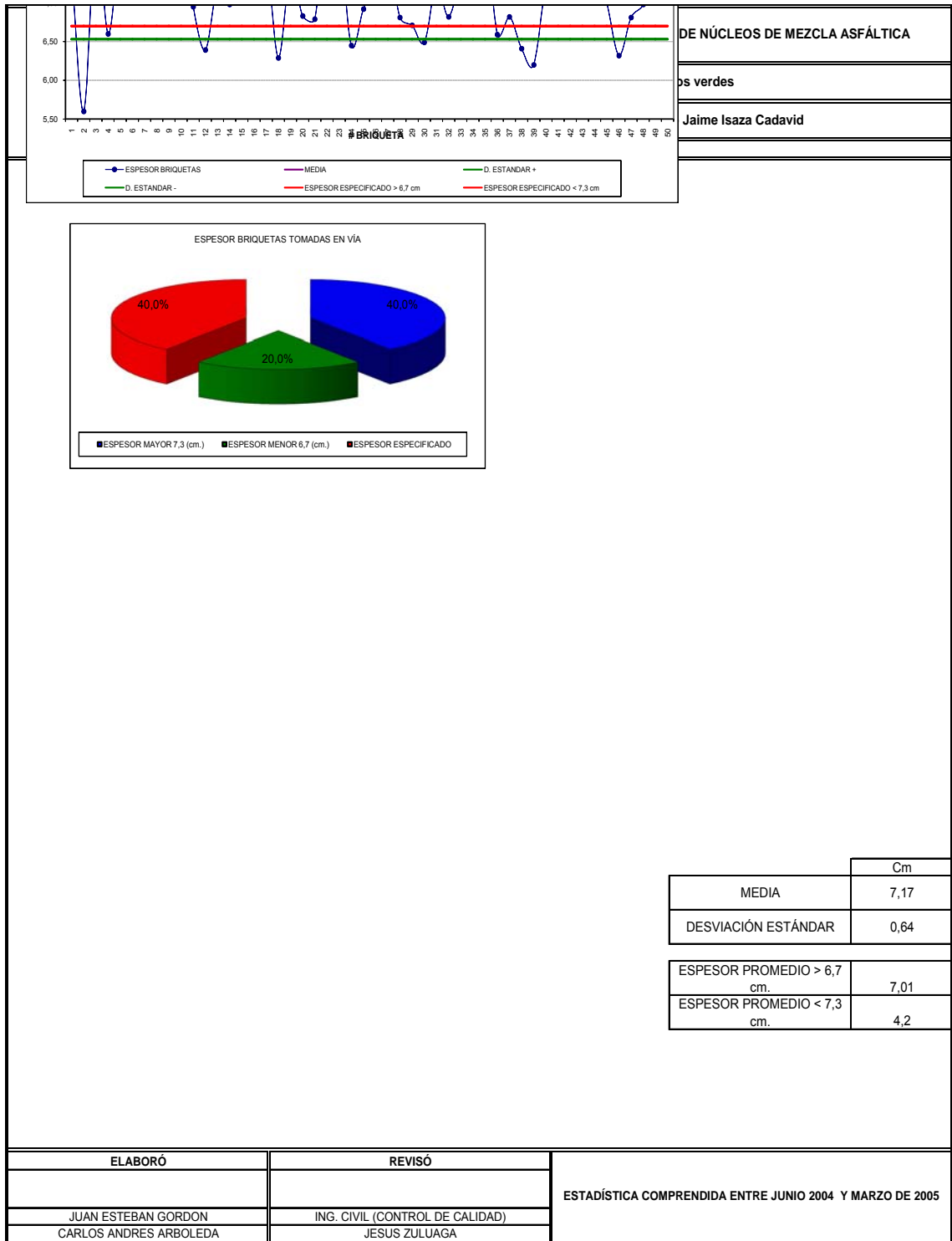
Tabla 20. Datos obtenidos tramo 3.

BRIQUETA No	TIPO DE MEZCLA	FECHA TOMA MUESTRA	SITIO PRODUCCION	ABSCISA TOMA NUCLEO	LADO	ALTURA PROMEDIO BRIQUETA (CM).
1	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K1+900 LI	IZQ	7,40
2	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K1+905 EJE	EJE	5,60
3	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K1+910 EJE	EJE	8,00
4	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K1+918 LD	DER	6,60
5	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K1+924 LI	IZQ	7,70
6	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K1+930 LD	DER	7,60
7	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K1+936 EJE	EJE	9,00
8	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K1+940 LI	IZQ	8,70
9	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K1+945 LD	DER	7,60
10	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K1+957 EJE	EJE	8,00
11	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K1+962 LI	IZQ	6,95
12	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K1+969 EJE	EJE	6,39
13	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K1+976 LI	IZQ	7,21
14	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K1+982 EJE	EJE	6,98
15	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K1+990 LD	DER	7,12
16	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K1+997 LD	DER	7,31
17	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K2+005 LI	IZQ	7,60
18	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K2+010 EJE	EJE	6,29
19	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K2+017 LD	DER	7,41
20	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K2+022 LI	IZQ	6,83
21	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K2+029 EJE	EJE	6,79
22	MDC-2 2009	30-ago-09	Conasfaltos	K2+034 LD	DER	8,20
23	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+039 EJE	EJE	7,90
24	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+045 LI	IZQ	6,45
25	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+051 LD	DER	6,92
26	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+060 LD	DER	7,23
27	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+065 LD	DER	7,60
28	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+072 LI	IZQ	6,81
29	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+082 LI	IZQ	6,71
30	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+091 LD	DER	6,49
31	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+099 EJE	EJE	7,23
32	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+110 EJE	EJE	6,82
33	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+117 LI	IZQ	7,36
34	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+222 EJE	EJE	7,93
35	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+229 LI	IZQ	8,01
36	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+238 EJE	EJE	6,59
37	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+246 LD	DER	6,82
38	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+251 EJE	EJE	6,41
39	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+268 LD	DER	6,20
40	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+271 EJE	EJE	7,20
41	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+285 LD	DER	7,32
42	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+296 LD	DER	7,19
43	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+300 LI	IZQ	7,01
44	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+312 LI	IZQ	7,40
45	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+321 EJE	EJE	7,00
46	MDC-2 2009	31-ago-09	Conasfaltos	K2+329 LI	IZQ	6,32
47	MDC-2 2002	31-ago-09	Conasfaltos	K2+337 EJE	EJE	6,81
48	MDC-2 2002	31-ago-09	Conasfaltos	K2+345 LI	IZQ	6,98
49	MDC-2 2002	31-ago-09	Conasfaltos	K2+352 LI	IZQ	7,43
50	MDC-2 2002	31-ago-09	Conasfaltos	K2+359 EJE	EJE	7,20

Tabla 21. Análisis estadístico tramo 3.

ANALISIS ESTADISTICO							
ALTURA PORMEDIO DE ESPESORES	LIMITE SUPERIOR RESPECTO A LA VARIACION ESPERADA	LIMITE INFERIOR RESPECTO A LA VARIACION ESPERADA	LIMITE INFERIOR ESPECIFICADO	LIMITE SUPERIOR ESPECIFICADO	briquetas con altura mayor a 8,3cm	briquetas con altura menores a 7,7cm	briquetas con altura especificada
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	7,4	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	5,6	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	8	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	6,6	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	7,7	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	7,6	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	9	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	8,7	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	7,6	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	8	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	6,95
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	6,392	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	7,21
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	6,98
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	7,12
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	7,31	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	7,6	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	6,29	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	7,41	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	6,83
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	6,79
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	8,2	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	7,9	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	6,45	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	6,92
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	7,23
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	7,6	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	6,81
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	6,71
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	6,49	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	7,23
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	6,82
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	7,36	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	7,93	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	8,01	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	6,59	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	6,82
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	6,41	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	6,2	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	7,2
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	7,32	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	7,19
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	7,01
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	7,4	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	7
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	6,32	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	6,81
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	6,98
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	7,43	0	0
7,17	7,81	6,53	6,70	7,30	0	0	7,2

Grafico 9. Análisis estadístico tramo 3.



- Se identifica que la desviación estándar es 0.64 la cual indica que hay poca variación entre los espesores del tramo estudiado y por ende el coeficiente de variación es menor 10%, lo cual es óptimo para el diseño según lo especificado.
- En promedio el espesor es de 7.17 cm en donde se identifica que cumple con el espesor de diseño el cual es de 7 cm.
- Se identifica que el 40% de los espesores se encuentran dentro del especificado, el 40% está por encima del límite superior especificado el cual es de 7.3 cm y el 20% está por debajo del límite inferior especificado el cual es del 6.7cm.

6.3.4. Correlaciones entre las variables más representativas de la mezcla densa en caliente tipo 2 (MDC-2).

Tabla 22. Datos de variables del tramo 1 (puente Colombia – Fatelares).

	TRAMO 1			
BRIQUETAS	DENSIDAD (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (Kg-f)	FLUJO (mm)	% ASFALTO
1	2,471	1459,000	3,54	4,96
2	2,476	1695,000	3,53	4,69
3	2,448	1639,000	3,58	5,2
4	2,448	1496,000	3,56	4,98
5	2,465	1590,000	3,57	4,67
6	2,479	1365,000	3,69	4,95
7	2,391	1456,000	3,54	4,63
8	2,443	1459,000	3,58	4,95
9	2,501	1659,000	3,57	5,36
10	2,308	1590,000	3,48	5,2
11	2,502	1471,000	3,42	4,89
12	2,398	1463,000	3,49	4,52
13	2,498	1423,000	3,39	5,32
14	2,453	1589,000	3,47	5,12
15	2,478	1586,000	3,56	5,36

Tabla 23. Datos de variables del tramo 2 (Fatelares – U de A).

	TRAMO 2			
BRIQUETAS	DENSIDAD (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (Kg-f)	FLUJO (mm)	% ASFALTO
1	2,391	1501	3,56	5,1
2	2,494	1503	3,48	4,98
3	2,507	1498	3,58	5,26
4	2,395	1521	3,58	4,98
5	2,58	1489	3,65	4,87
6	2,471	1469	3,45	5,58
7	2,448	1502	3,49	5,62
8	2,476	1530	3,47	5,23
9	2,312	1496	3,41	5,24
10	2,256	1487	3,53	4,92
11	2,506	1456	3,61	4,98
12	2,399	1325	3,48	5,63
13	2,441	1459	3,37	4,85
14	2,502	1789	3,28	4,97
15	2,369	1509	3,47	4,69

Tabla 24. Datos de variables del tramo 3 (U de A – palos vedes).

	TRAMO 3			
BRIQUETAS	DENSIDAD (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (Kg-f)	FLUJO (mm)	% ASFALTO
1	2,446	1587	3,58	4,49
2	2,399	1548	3,47	4,68
3	2,412	1563	3,21	4,87
4	2,49	1549	3,25	5,02
5	2,471	1578	3,36	5,12
6	2,654	1547	3,48	5,03
7	2,502	1601	3,97	5,11
8	2,69	1536	4	5,23
9	2,512	1596	3,65	5,24
10	2,382	1587	3,58	5,15
11	2,393	1608	3,42	4,96
12	2,487	1536	3,47	5,07
13	2,478	1598	3,59	5,21
14	2,397	1578	3,68	5,06
15	2,237	1536	3,64	4,98

Para realizar evaluación de los resultados se estudia la densidad en función de las demás variables en cada tramo analizado. No se observa ningún patrón especial en el comportamiento de estas variables a lo largo de la progresiva de cada tramo.

A los efectos de buscar una posible relación entre los distintos parámetros medidos (densidad, estabilidad, fluencia y porcentaje de asfalto) se determina la matriz de correlación entre estas variables.

Un valor absoluto de coeficiente de correlación próximo a 1 implica una dependencia lineal entre las magnitudes correlacionadas (el signo de la correlación está asociado al comportamiento relativo de las variables: crecen ambas en el mismo sentido o no). si las magnitudes no están correlacionadas linealmente el valor es menor que uno, tendiendo a cero a medida que la correlación se hace más débil. Cabe recalcar que en una mezcla de laboratorio se espera una fuerte correlación entre las variables involucradas como resultado del procedimiento empleado para su elaboración. Los valores de los coeficientes de correlación obtenidos se muestran en la tabla 24.

Tabla 25. Correlaciones entre variables medidas.

	correlaciones entre variables medidas		
	Densidad/estabilidad	Densidad/flujo	Densidad/%asfalto
tramo 1	-0,01830	0,07165	0,21183
tramo 2	0,20328	0,16025	0,02583
tramo 3	-0,14841	0,29005	0,34077

A continuación se puede ver el comportamiento de estas variables gráficamente.

Grafico 10. Correlación estabilidad vs densidad tramo 1

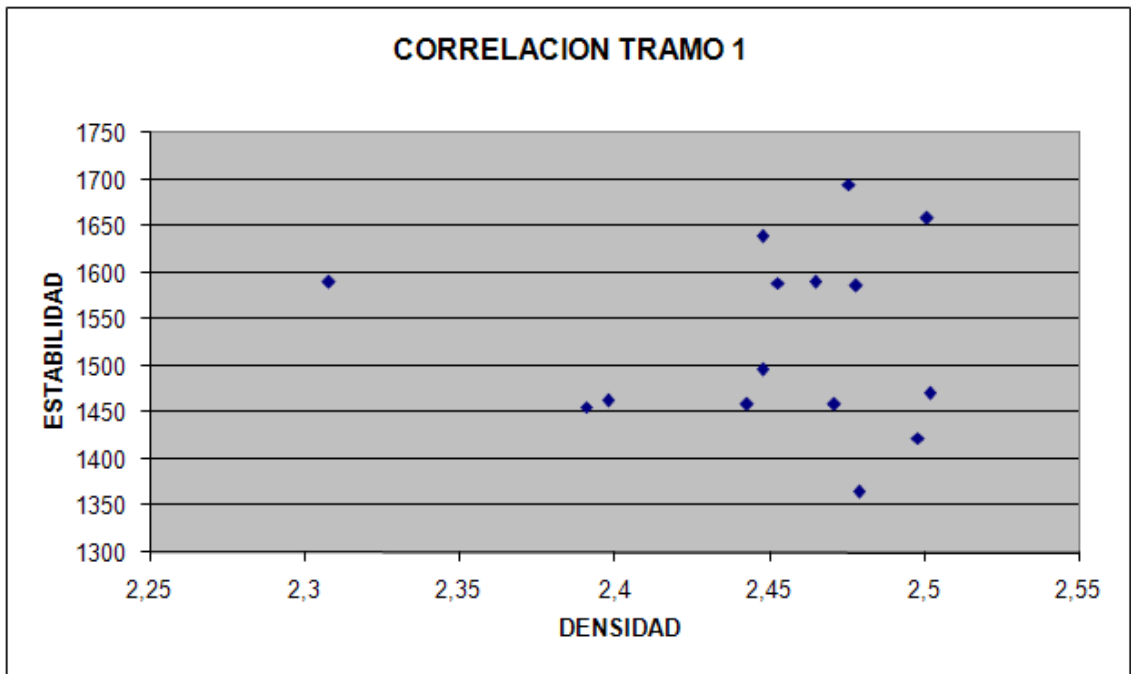


Grafico 11. Correlación flujo vs densidad tramo 1

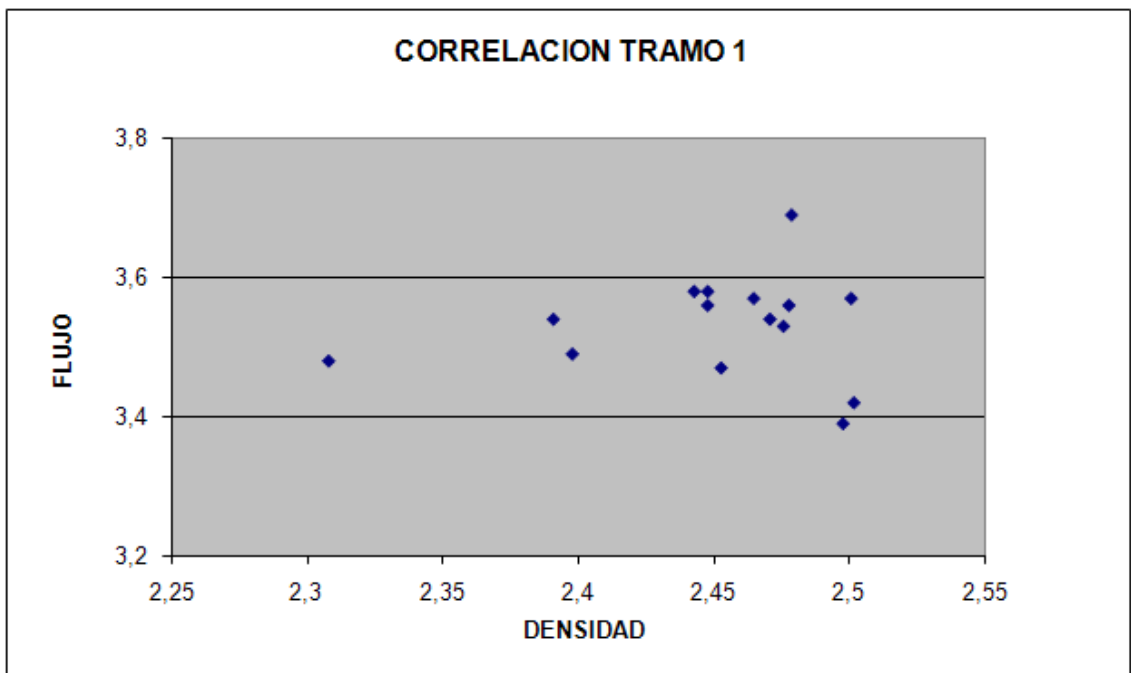


Grafico 12. Correlación % asfalto vs densidad tramo 1

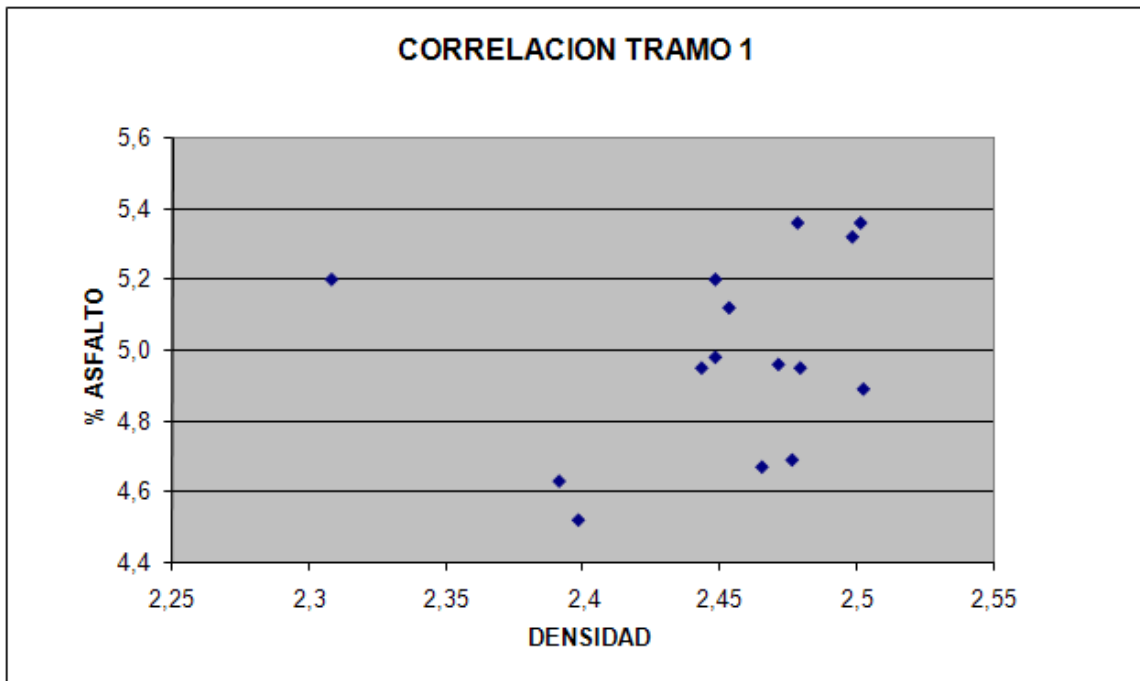


Grafico 13. Correlación estabilidad vs densidad tramo 2

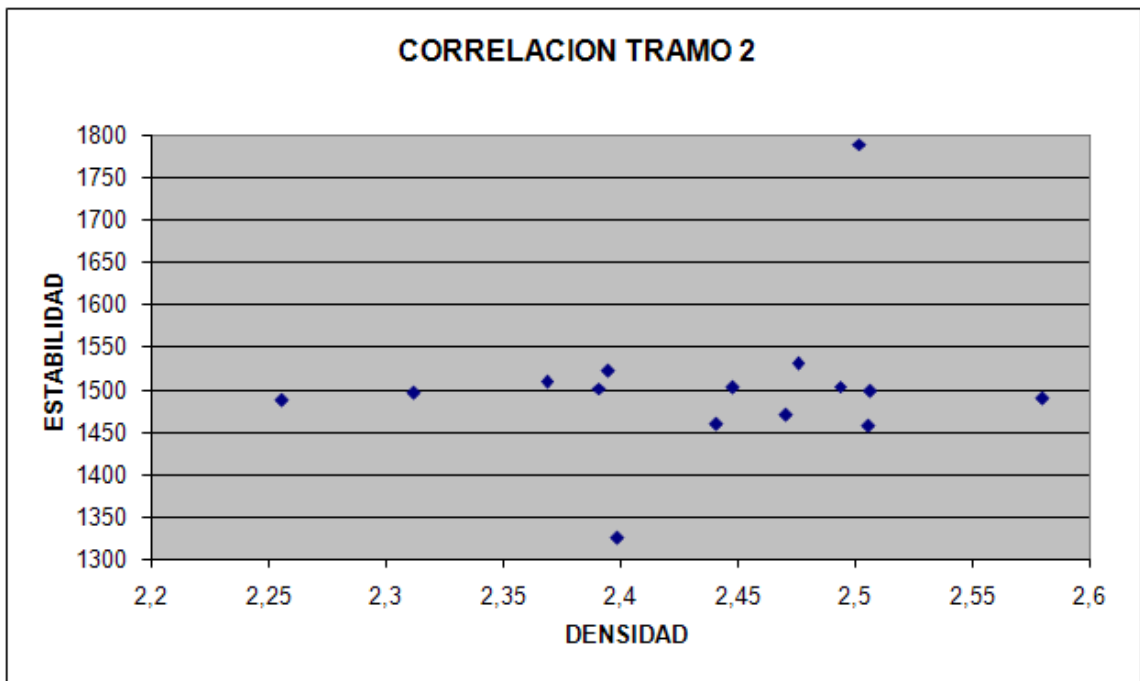


Grafico 14. Correlación flujo vs densidad tramo 2

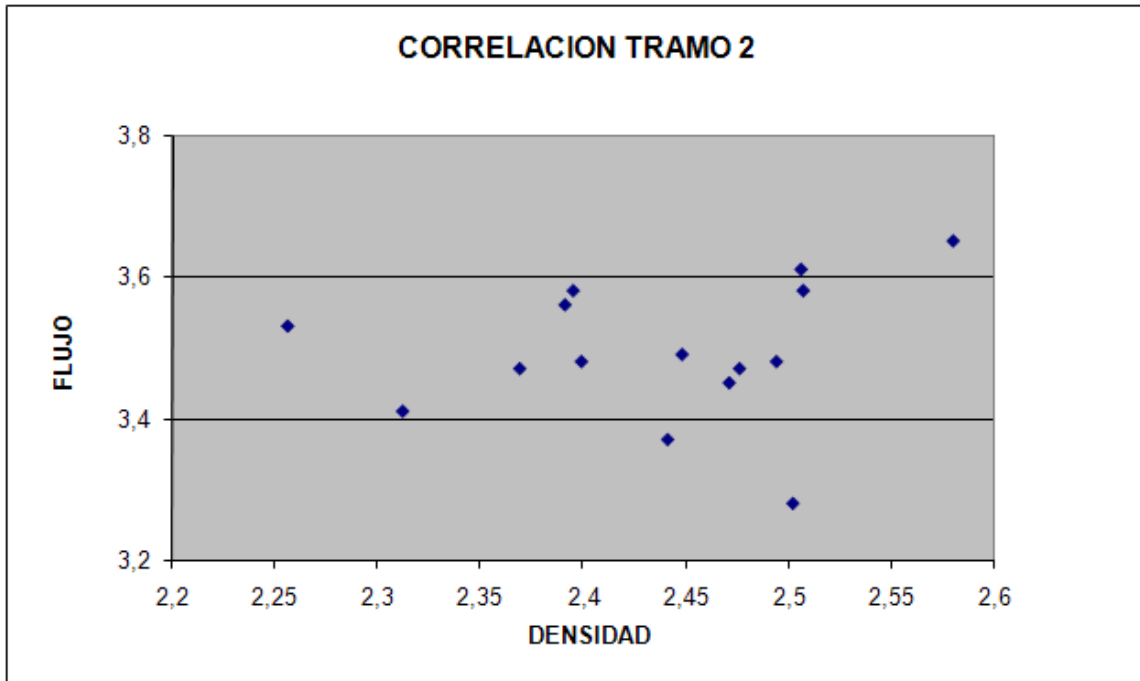


Grafico 15. Correlación % asfalto vs densidad tramo 2

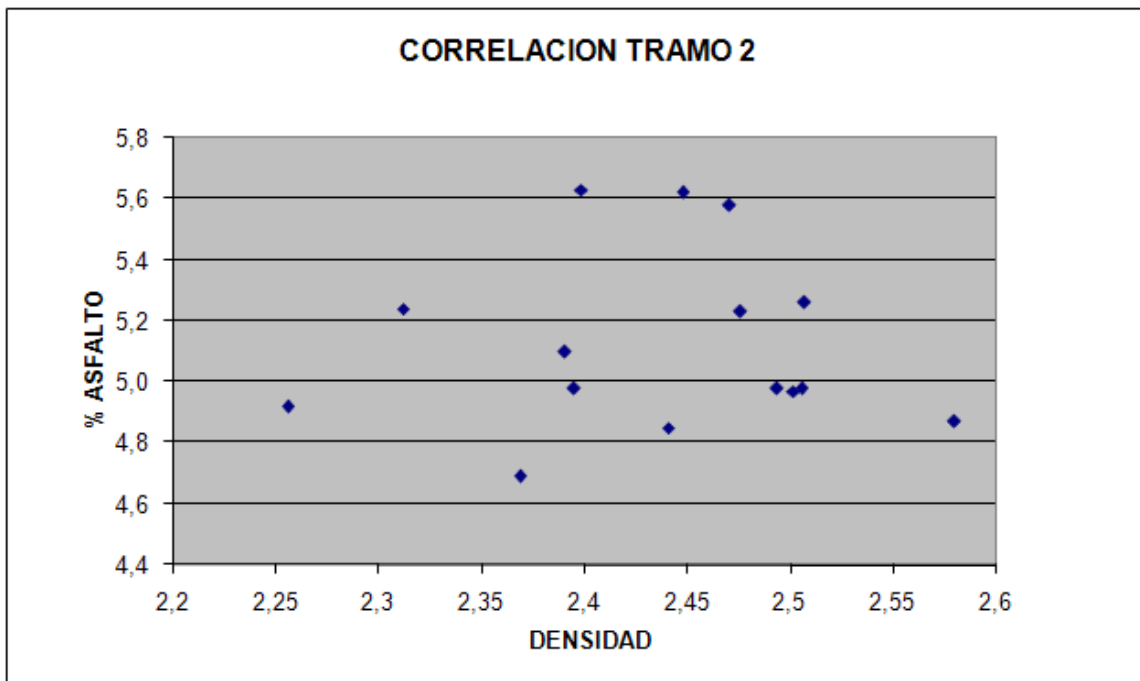


Grafico 16. Correlación estabilidad vs densidad tramo 3.

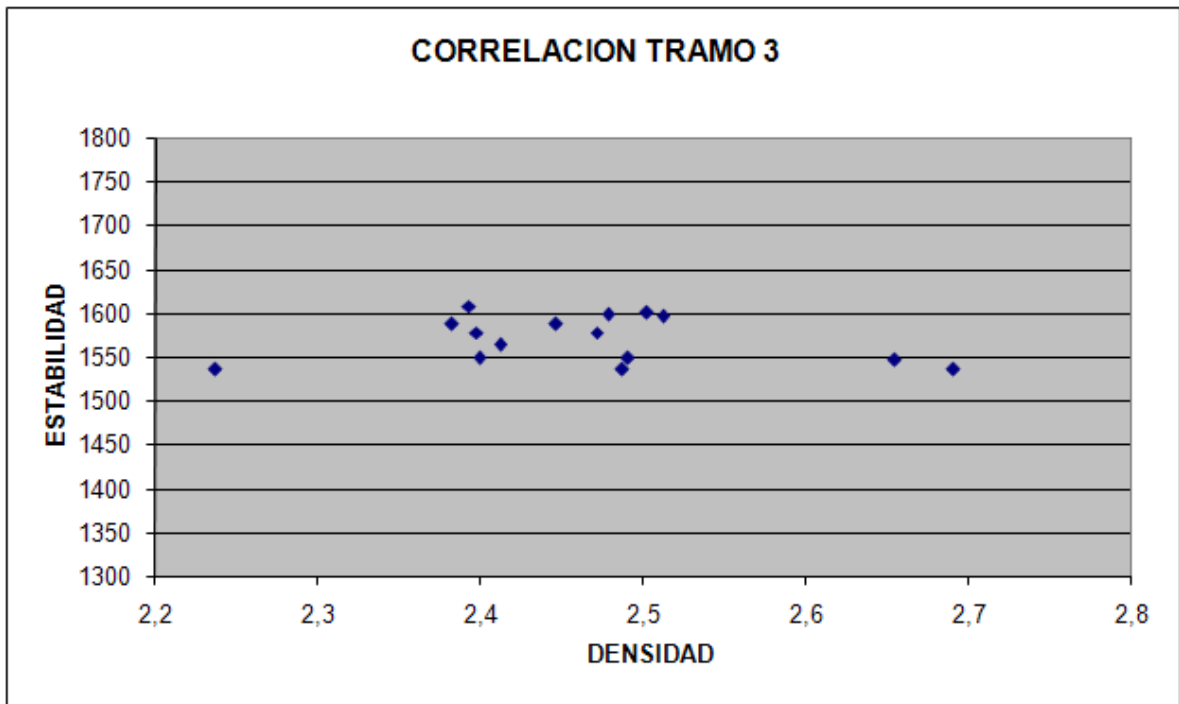


Grafico 17. Correlación flujo vs densidad tramo 3.

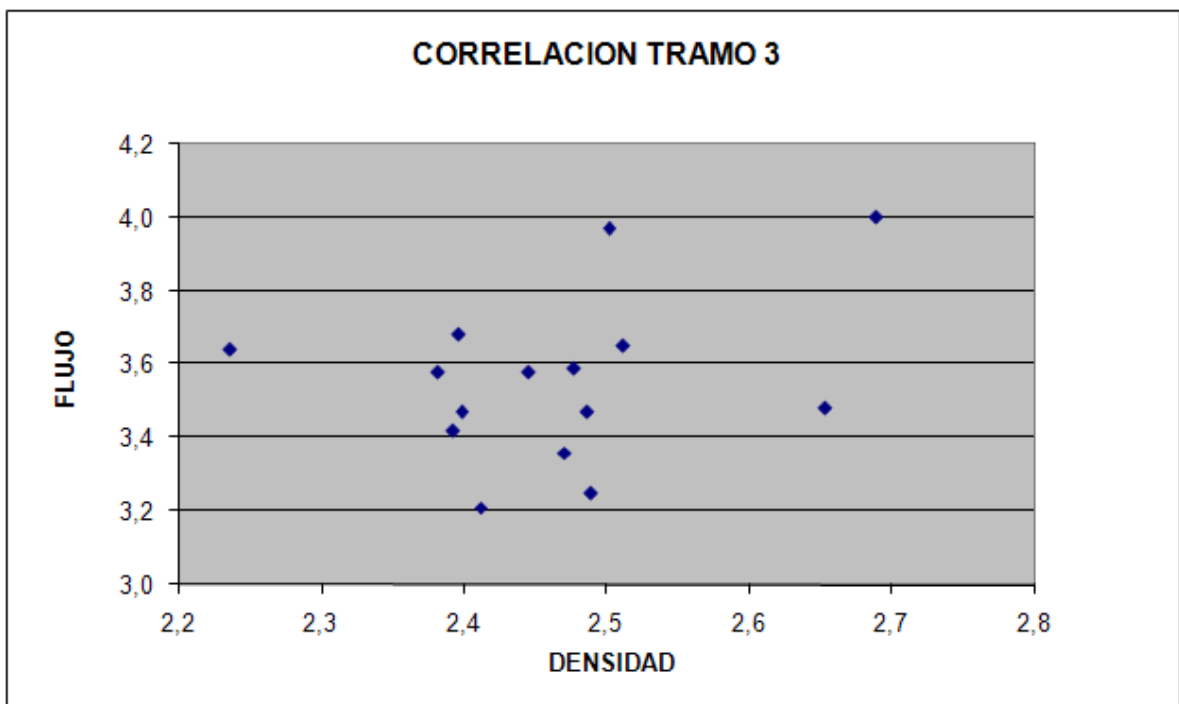
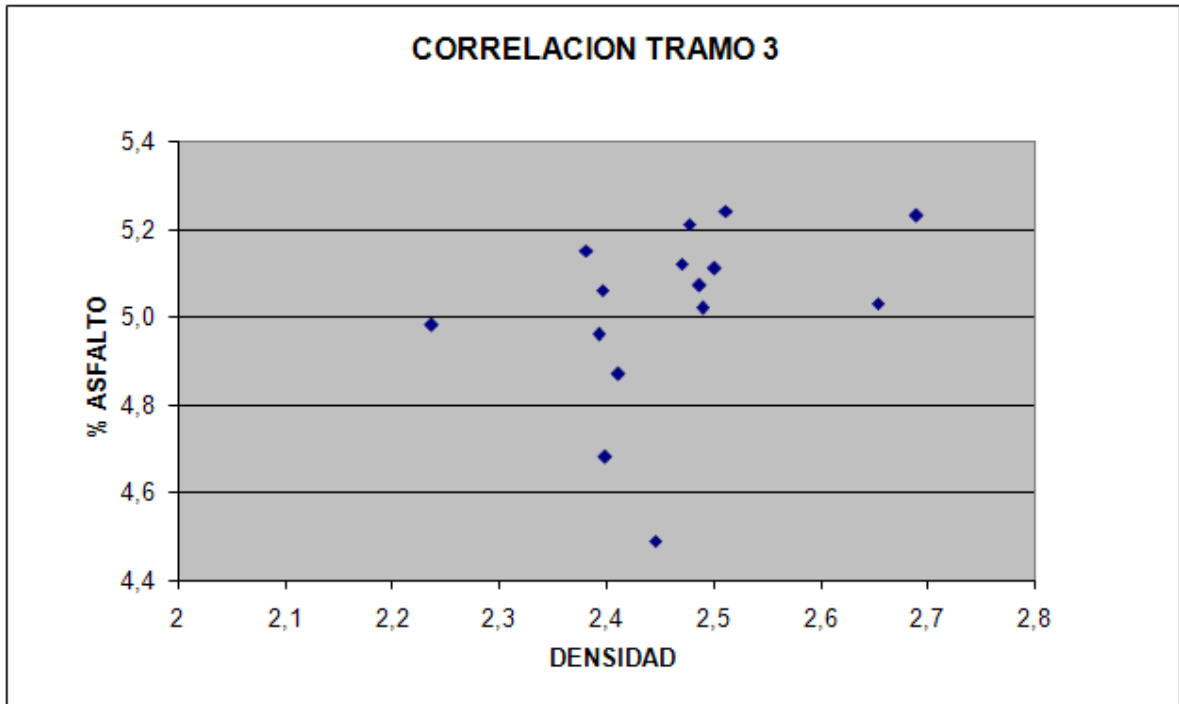


Grafico 18. Correlación % asfalto vs densidad tramo 3



A partir de estos datos se observa que en general no se detectan correlaciones fuertes entre las variables estudiadas. Los valores que deberían ser más grandes (próximos a 1) corresponden a la correlación entre densidad – estabilidad, pero esta correlación presenta de cualquier modo una gran variabilidad.

Para ilustrar gráficamente el comportamiento de las variable estudiadas se grafica estabilidad en función de densidad para cada tramo (ver grafico 10, 13, 16). La forma de estas gráficas está asociada al valor de la correlación densidad – estabilidad. En los casos que la correlación es alta (valor próximo a 1) las variables involucradas presentan un comportamiento lineal.

En algunos casos en que el valor del coeficiente de correlación es numéricamente bajo, las medidas están muy dispersas en toda la gráfica. En otros casos de baja correlación, se observa un comportamiento lineal en la mayor parte de la gráfica, pero se advierte la presencia de uno o más puntos que se apartan fuertemente de la recta, lo que se traduce en una disminución del valor numérico del coeficiente de correlación.

De este comportamiento general se concluye que no es posible predecir el valor de una de las variables a partir de la medida de las otras. La medida de una sola variable como representativa del conjunto de las mismas sólo es viable cuando dichas variables están fuertemente correlacionadas.

6.4. METODOLOGÍA DE CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS DE PAVIMENTACIÓN.

Se propone la utilización de los métodos estadísticos desarrollados anteriormente, debido a que de alguna manera pueden llegar a ser útiles para el control de costos por parte de la empresa constructora en cuanto a gastos generados por incrementos de material.

CONCLUSIONES

Después del análisis realizado a las muestras obtenidas en los distintos tramos estudiados, se puede afirmar que en estas zonas muy posiblemente no se presenten fallas en la estructura del pavimento debido a que se cumplió con el debido proceso del control de calidad realizado en obra y a las especificaciones dadas por la norma INVIAS.

Se levanto un estado de arte adecuado sobre el control de la calidad en obras de pavimentación en la ciudad de Medellín, obteniendo la información necesaria para llevar a cabo este tipo de trabajo en obra.

Se logro identificar las principales variables a controlar dentro del comportamiento de la mezcla densa en caliente tipo 2 (MDC-2), para así tomar medidas preventivas a la hora de llevar a cabo el control de calidad y asegurar la entrega de un producto final de optimas condiciones para el servicio a prestar.

Se identifica que se pueden presentar espesores de carpeta asfáltica variable en tramos de vía construidos, por lo tanto se obtuvo una herramienta estadista la cual puede regular esta variable en obra, arrojándonos la información necesaria para determinar si se hace necesaria la repavimentación o no de diferentes tramos de vía.

Se logro identificar por medio de la estadística que variables como: densidad, flujo, estabilidad y % de asfalto presentan poca dependencia entre sí.

Se logro obtener una herramienta que sirve para el control de costos en una via, identificando espesores dados.

El estudio realizado es una base fundamental para las personas que estén encargadas de llevar el control de calidad en una via.

BIBLIOGRAFIA

BAÑÓN, Luis. Manual de Carreteras Volumen II. Trabajo de Grado. Universidad de Alicante, Escuela politécnica Superior. Facultad de Ingeniería. Pavimentos 1999. 225 p.

CONSEJO DE DIRECTORES DE CARRETERAS DE IBERIA E IBEROAMÉRICA. m5.1. catálogo de deterioros de pavimentos flexibles. Montreal 7 de septiembre 1995.

Normas y Especificación Instituto Nacional de Vías y Transporte (INVIAS), versión 2007. República de Colombia.

KRAEMER Carlos, Del Val Miguel Ángel. Firmes y pavimentos. España, Madrid 1996. 283 p.

SANCHEZ Sabogal, Fernando. Guía para la ejecución e interpretación de resultados. El control de la calidad en la construcción de pavimentos. Bogotá 1990. (157 – 195 p).

KUME Hitoshi, Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad. Bogotá. 1992. 236p.

ARTÍCULOS CARRETERAS. Francisco Rama Labrador. España 2004. 10p.

CIBERGRAFIA

<http://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>

<http://www.cpasfalto.org/35reunion/Lunes-10-11-08/4-Analisis-estadistico-resultados-ensayos-pavimentos-asfalticos-segun-norma-ASTM-%20D-69.pdf>

www.conasfaltos.com/

ANEXOS

ANEXO 1. Planta de elaboración de mezclas asfálticas.

Anexo 1.1. Tolva para recibo de agregados



Anexo 1.2. Acopio de Material crudo en planta.



Anexo 1.3. Almacenamiento del material llenante o filler.



Anexo 1.4. Acopio de material para la elaboración de las mezclas.



Anexo 1.5. Bandas transportadoras.



Anexo 1.6. Bandas transportadoras.



Anexo 1.7. Tolva de mezclado.



Anexo 1.8. Banda transportadora



Anexo 1.9. Silo de almacenamiento del producto terminado



Anexo 1.10. Tanques para el asfalto



Anexo 1.11. Cuarteador de materiales



Anexo 1.12. Silo de almacenamiento del producto terminado (Zona de carga del material).



Anexo 1.13. Compuerta de descargar del producto terminado.



Anexo 1.14. Mezcla asfáltica tipo (MDC 2).



Anexo 1.15. Volqueta cargada con la mezcla densa en caliente.



Anexo 1.16. Tanques de almacenamiento de asfalto.



Anexo 2. Archivo fotográfico de los tramos estudiados.

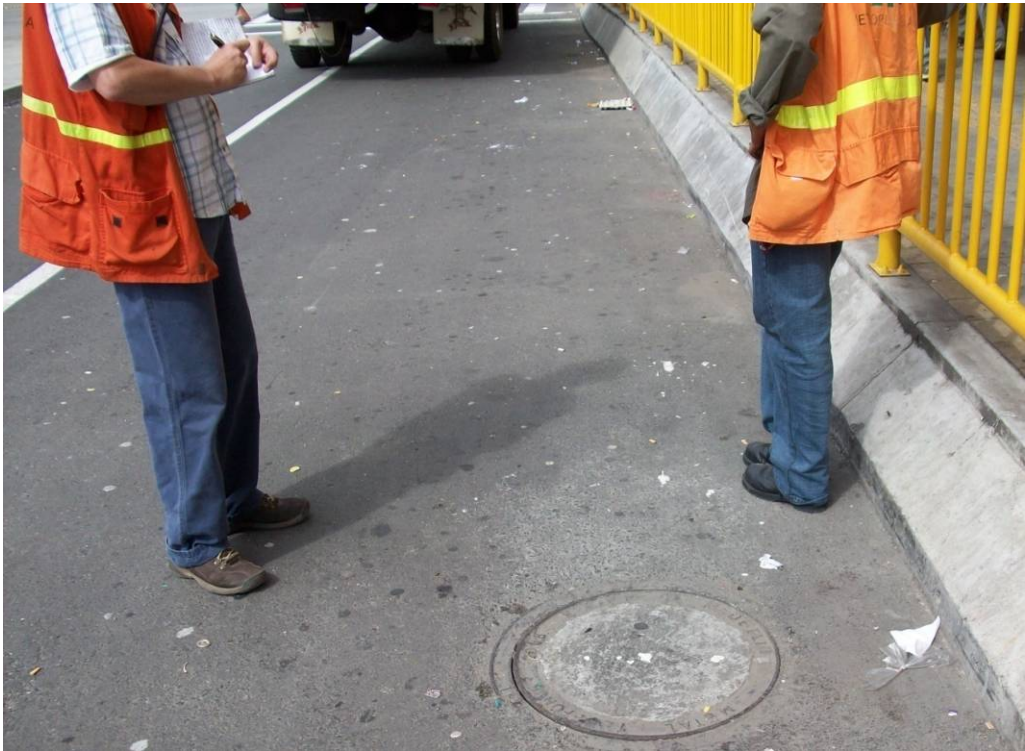
Anexo 2.1. Panorámica de la terminación del tramo 1.



Anexo 2.2. Núcleo extraído del tramo 1



Anexo 2.3. Detalle terminación MH tramo 1.



Anexo 2.4 Toma de muestra (núcleo).



Anexo 2.5. Panorámica del urbanismo para el tramo 1.



Anexo 2.6. Panorámica 2 urbanismo tramo 1.



Anexo 2.7. Compactación de la carpeta (maquinaria) tramo 2.



Anexo 2.8. Terreno sin adecuación para el riego de la mezcla en el tramo 2.



Anexo 2.9. Excavación en el pavimento existente en el tramo 2.



Anexo 2.10 Espesor de la carpeta asfáltica existente.



Anexo 2.11. Volquetas esperando para el riego del material, totalmente tapadas con carpas de lona)



Anexo 2.12. Reemplazo de la carpeta asfáltica.



Anexo 2.13 Compactación de la carpeta asfáltica en el tramo 3.



Anexo 2.14. Personal y equipo para riego de mezcla.



Anexo 2.15. Finisher regando material.



Anexo 2.16. Compactación y terminación de detalles.



Anexo 2.17. Riego de material.



Anexo 2.18. Fisuras presentes en la carpeta asfáltica.

