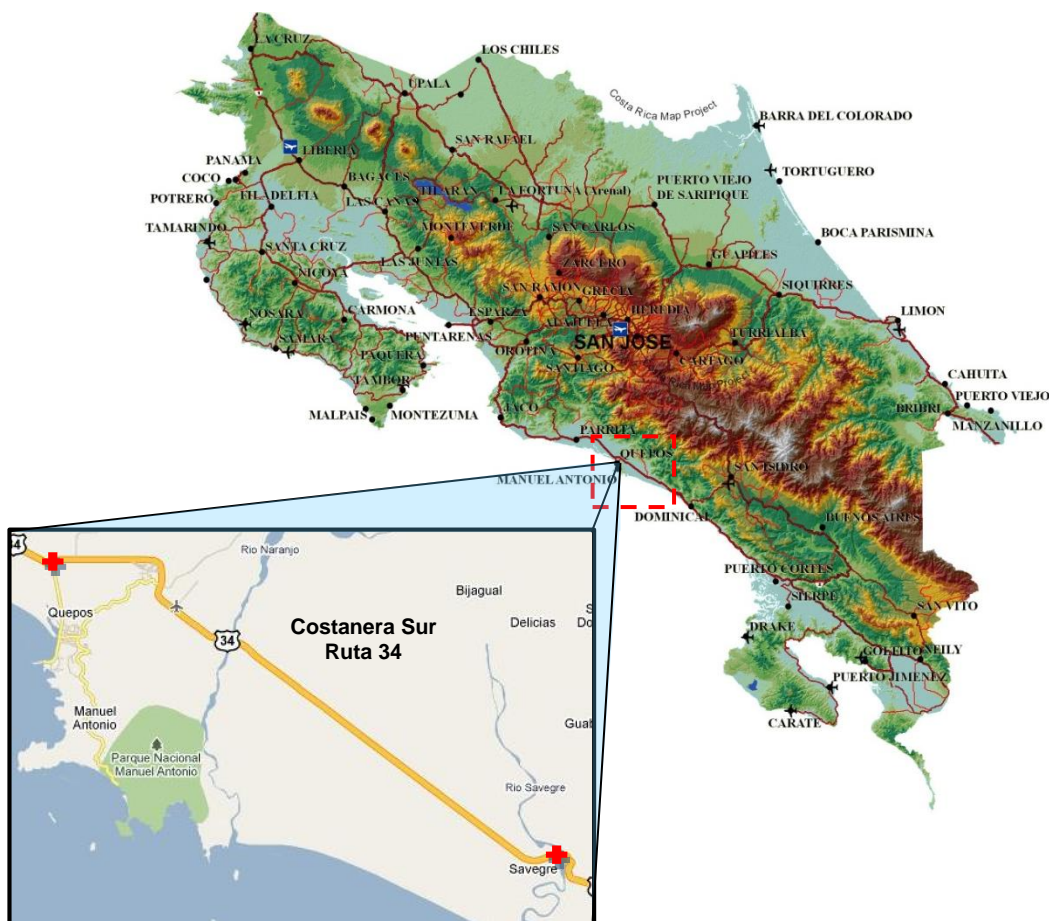


Evaluación del “Pago en función de la calidad” de Base Granular y Mezcla Asfáltica para la construcción del pavimento de la carretera Costanera Sur



Abstract

The present work consists of the evaluation of the quality of a stabilized base foundation made using Portland cement, and another asphalt mixture called SUPERPAVE which is manufactured in heat, both of them used for the construction of the Quépos-Savegre stage of the "Costanera Sur" highway. This evaluation was carried out using the method of the Payment Based on the Quality. This is a statistical process which besides evaluating the existence of the data within the established limits, determines how reliable the distribution is within the given limits. This evaluation grants a result of for the quality between 0 and 1, that indicates the percentage of payment for the construction executed within certain term of qualification.

Since it is a statistical method it requires of an effective tool to do the calculation, reason why for the accomplishment of the evaluation a sheet was programmed using Microsoft Office Excel, by means of this the engineering of the project and the administration of it was possible, allowing to us to obtain estimations of quality in real time and for each one of the periods of the invoicing.

With the implementation of the programmed sheet in Excel, plus the gathering of data in field, the work performed for the months of June, July, August and September 2009 was realized, including all the stabilized basic and it the mixed asphalt. Results of quality were obtained of 99% and 100% respectively for the months of June and July for the stabilized base. Values of 85%, 99% and 98% were obtained respectively for the months of July August and September for the asphalt mixture.

Finally an analysis is realized of the quality factors obtained and their consequences in the construction of the highway, besides the different behaviors produced by the method of evaluation in relation to the variation of the tests.

Key Words: Highway, Mixed asphalt, Stabilized base foundation, Quality, Superpave, Grain size analysis

Resumen

El presente trabajo consiste en la evaluación de la calidad de la base estabilizada con cemento portland, y la mezcla asfáltica SUPERPAVE fabricada en caliente, utilizados para la construcción de la etapa Quépos-Savegre de la carretera Costanera Sur.

Esta evaluación es realizada mediante el método de Pago en Función de la Calidad. Proceso estadístico que además de evaluar la presencia de los datos dentro de los límites establecidos, determina que tan confiable es la distribución de los mismos dentro de dichos límites. Esta evaluación otorga un resultado de calidad entre 0 y 1, que indica el porcentaje de pago de la obra construida en un determinado plazo de calificación.

Al ser un método de tipo estadístico requiere de una herramienta eficaz de cálculo, por lo que para la realización de la evaluación se programa una hoja en Microsoft Office Excel mediante la cual la ingeniería del proyecto y la administración de este, puedan obtener estimaciones de calidad en tiempo real y para cada uno de los períodos de facturación.

Con la implementación de la hoja programada y la toma de datos en campo se evalúa la obra para los meses de junio, julio, agosto y setiembre de 2009, para la totalidad de base estabilizada y la primera capa de carpeta asfáltica. Dando como resultados la obtención de una calidad del 100% y 99% respectivamente para los meses de junio y julio en la base estabilizada. Y valores de 85%, 99% y 98% respectivamente para los meses de julio agosto y setiembre en la mezcla asfáltica.

Por último es realizado un análisis de los factores de calidad obtenidos y su consecuencia en la construcción, además de los diferentes comportamientos que puede adoptar el método de evaluación con la variación de las pruebas.

Palabras clave:

- | | |
|----------------------|------------------|
| 1) Carretera | 4) Calidad |
| 2) Mezcla Asfáltica | 5) Superpave |
| 3) Base estabilizada | 6) Granulometría |

Evaluación del “Pago en función de la Calidad” de Base Granular y Mezcla Asfáltica para la construcción del pavimento de la carretera Costanera Sur

DENIS FERNÁNDEZ MESÉN

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Enero 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

PREFACIO	1
RESUMEN EJECUTIVO	2
INTRODUCCIÓN.....	3
MARCO TEÓRICO	6
METODOLOGÍA	16
RESULTADOS	23
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	40
CONCLUSIONES	47
APÉNDICES	49
ANEXOS	50
REFERENCIAS	51

Prefacio

La aplicación del Pago en Función de la Calidad en un proyecto de gran envergadura como lo es la construcción de las últimas etapas de la carretera Costanera Sur, implica la aplicación de estrictos métodos de control de calidad, además de la creación de nuevas herramientas para llevar a cabo este proceso de evaluación.

Aunada a la importancia de la terminación de una ruta nacional, parte de la carretera interamericana, se encuentra la implementación de novedosos métodos de diseño, como el presente en la mezcla asfáltica de tipo SUPERPAVE. Ambos factores implican la realización de un control estricto y adecuado de la calidad de la obra constructiva, tanto por la importancia para el país en el caso de la primera, como para la aplicación a futuro de las nuevas técnicas de evaluación y construcción en el caso de la segunda.

De esta manera la práctica profesional toma una gran relevancia en el proyecto de construcción. Ya que en la misma se evalúan de forma directa los principales elementos de la obra constructiva, como lo son la base estabilizada y la mezcla asfáltica.

Además de esto, el producto de la misma resulta ser de suma utilidad para el análisis y control de futuros proyectos de naturaleza similar, los cuales serán controlados mediante la utilización de hojas programadas como la desarrollada en este proceso de evaluación.

Es por esto que se desarrolla el objetivo de valorar el Pago en Función de la Calidad para una Base Granular Estabilizada con Cemento Portland y la Mezcla Asfáltica SUPERPAVE producida en caliente, utilizadas para la construcción del tramo Quépos Savegre de la Costanera Sur, con la implementación en este proceso de hojas programadas mediante Microsoft Office Excel.

Finalmente debo agradecer a la empresa Constructora MECO S.A, por permitir la realización de mi práctica en un proyecto de tanta importancia para el país, en especial al ingeniero

residente de la obra Rodrigo Fernández Calvo, por su apoyo y guía en la propuesta y desarrollo de la práctica profesional dirigida, además de las facilidades brindadas en el proceso de visita e integración al proyecto.

Esta práctica marca el final de una carrera, la cual depende del trabajo de profesionales de ingeniería comprometidos con el aprendizaje y formación de profesionales destacados en el mercado, por lo que es necesario agradecer a todos los profesores de la escuela de Ingeniería en Construcción por su compromiso y colaboración, de igual manera al profesor Sergio Fernández Cerdas, por brindar la guía para el desarrollo correcto de la práctica profesional.

Sin duda las gracias son para Dios por permitirme cumplir este sueño, darme el valor y rodearme de personas especiales a las que debo felicitar y agradecer, esas que junto a mí cursaron cada uno de los cursos de mi carrera, a mis papás y hermanos, que sacrificaron su tiempo y recursos por permitir la finalización de esta meta tan importante. Por ser un ejemplo de perseverancia y sacrificio, todo con en pos de ser una persona exitosa y de valores incondicionales. Y por supuesto a esa persona tan especial que Dios puso en mi camino, que en los últimos años de carrera me llenó de felicidad y me enseñó el valor del compromiso y la disciplina, con el fin de cumplir este objetivo. A todos ellos gracias, son lo más importante en mi vida, este hito de mi carrera es en su honor.

Resumen ejecutivo

El presente proyecto tiene como fin primordial la evaluación de la calidad de la obra construida en la ampliación de la carretera Costanera Sur, específicamente en el tramo Quépos-Savegre, procedimiento realizado por la empresa Constructora Meco S.A.

El pago al contratista será definido mediante el método de pago en función de la calidad, el cual consiste en la realización de un estudio estadístico de los datos de muestras de control extraídos de los materiales y elementos de construcción de la obra. Tal método arroja como resultado final un factor entre 0 y 1 que define el monto a pagar por la obra, en función de la calidad que esta posea, es decir que la obtención de factores como 0,90, implicaría el pago del 90% de la obra construida en un determinado período de evaluación.

Debido a la importancia de la finalización de la carretera costanera sur para el país, se debe implementar este proceso de evaluación continuo de la obra y los procesos constructivos. Por tal motivo la calidad de la carretera construida será evaluada en función de sus elementos más importantes como lo son la capa de rodamiento y la base que soporta las cargas que esta recibe del tránsito de vehículos.

Ambas poseen propiedades y límites de calidad que deben cumplir a cabalidad. En el caso de la mezcla asfáltica, esta debe adaptarse a las condiciones de diseño establecidas por el Manual de Diseño de Carreteras y los procedimientos de diseño de método SUPERPAVE, aplicado por primera vez en el país en esta obra constructiva. Las características evaluadas para la mezcla asfáltica son el contenido de vacíos en campo, la granulometría de la mezcla, el contenido de vacíos SUPERPAVE y el contenido de asfalto de la mezcla.

Por otro lado la base, tendrá que cumplir con los requisitos de una base estabilizada con cemento portland, por lo que se evalúan

características de resistencia a los 7 días, granulometría y compactación en sitio.

Dadas las características estadísticas del proceso de evaluación, y la variedad de aspectos de la obra a evaluar, se presenta la necesidad de poseer una herramienta de cálculo que facilite el proceso de evaluación de la calidad. Por tal motivo se decide desarrollar una hoja programada en Microsoft Office Excel, para evaluar tanto la construcción de la base estabilizada como la de la mezcla asfáltica.

Dicha hoja debe cumplir con los requisitos establecidos por la empresa constructora y por el ente de evaluación, en este caso específico el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), entre esos requisitos se encuentran, la simplificación del proceso de cálculo limitado a la introducción de un historial de datos al cual el programa realizará el estudio de una forma automática. En virtud de la simplicidad buscada se implementa un formato de resumen para los resultados obtenidos, el mismo es determinado por el CONAVI y utilizado como formato de resultados finales para el proceso de evaluación.

Para realizar tales objetivos se debieron digitalizar los cuadros de evaluación utilizados por el método estadístico de estimación de la calidad, además se debieron establecer las condiciones para que la hoja programada fuera lo más adaptable posible a la variación de límites de diseño y naturaleza de los elementos evaluados.

Terminado el proceso de programación de las hojas, se procede a verificar en campo los procesos constructivos y la toma de datos de las muestras de evaluación, con los cuales se realiza la evaluación periódica establecida por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

En total se realiza el análisis para los meses de junio, julio, agosto y setiembre del año 2009, durante los cuales se construyó la totalidad de la base estabilizada y de la primera capa de la mezcla asfáltica producida en caliente.

Como principales resultados se obtienen para la base estabilizada factores de pago de 1 para el mes de junio y 0,99 para los meses de julio y agosto en conjunto.

En el caso de la mezcla asfáltica, su evaluación arrojó valores de 0,85, 0,99 y 0,98, para los meses de julio agosto y setiembre respectivamente. De tales evaluaciones se observa un comportamiento de calidad bajo para los primeros meses de construcción de mezcla asfáltica, fallando en factores como el contenido de asfalto, porcentaje de vacíos y granulometría. Conforme avanzaba la construcción se presentan mejoras en la colocación de mezcla asfáltica, a pesar de esto, se mantienen errores en la granulometría y más específicamente en la malla N°4 por la cual estaba pasando menos material del que debía pasar.

En el caso de la base estabilizada y la mezcla asfáltica, ambas presentaron sus principales deficiencias en la granulometría, por lo que este se vuelve el factor preponderante en la pérdida de calidad de la obra.

Además de las evaluaciones periódicas establecidas por la administración, se realizan evaluaciones con conjuntos mínimos de 5 pruebas para cada aspecto de evaluación, con el fin de analizar el comportamiento del método estadístico.

De este ejercicio se desprenden conclusiones como la posible variación de los resultados de calidad con el cambio del número de pruebas evaluadas, disminuyendo u aumentando los factores de pago dependiendo de las agrupaciones de los datos, por lo que se recomienda el aplicar este mismo procedimiento en las nuevas construcciones a evaluar, detectando posibles cambios abruptos en los resultados para menores intervalos de estimación de calidad.

Por último se destaca la importancia de la utilización de nuevos métodos de cálculo y evaluación como lo son las hojas programadas, que le suman al trabajo realizado características como la velocidad comodidad y posibilidad de variación de los métodos antes aplicados.

En conjunto con esto se denota la importancia de poseer como estudiante el conocimiento de ingeniería aunado a la facilidad de integración o manejo de otros recursos como lo son los programas computacionales, que en este caso permitieron evaluar la construcción y definir la calidad acertada de la base estabilizada

y los desaciertos en la construcción de la mezcla asfáltica en caliente.

Introducción

En 1942, durante el gobierno de Rafael Ángel Calderón Guardia y bajo el mando del Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE), se estableció la construcción de una carretera que permitiera viajar a las zonas del pacífico sur sin tener que utilizar la ruta al Valle del General, con la ventaja de no tener que transitar por el Cerro de la Muerte, ahorrando al menos 2 horas de viaje. Además esta ruta sería de vital importancia para la conexión entre los viajes realizados por tierra entre Panamá y Nicaragua, ya que se establecería una ruta interamericana que no entraría en el área metropolitana y por ende descongestionaría las principales carreteras del país.

La totalidad de la obra comprendía 222 kilómetros desde Barranca de Puntarenas hasta Palmar Norte en el cantón de Osa, dicha construcción ha permanecido inconclusa desde su planteamiento, debido a apelaciones a carteles de licitación, conflictos con expropiaciones y hasta por escándalos en pagos excesivos a empresas involucradas.

A partir del año 2008 la terminación de las secciones incompletas de la obra son adjudicadas en diferentes sectores a varias empresas constructoras del país. En el caso del sector comprendido entre la ciudad de Quépos y el poblado de Savegre, la construcción de la carpeta asfáltica, sus respectivos elementos de cimentación, sistemas de drenaje y obras complementarias, con una longitud de 19,5 kilómetros, es adjudicada mediante licitación pública al consorcio de empresas Constructora MECO S.A – Constructora Santa Fe Ltda.

Tales obras tendrían como características principales la implementación de nuevos métodos de diseño y construcción de la carpeta asfáltica, como lo es el método de diseño SUPERPAVE, el cual nunca había sido utilizado en el país, y la implementación de un asfalto modificado con polímeros, con el fin de combatir los efectos provocados sobre el pavimento por el clima

costero como el presente en la zona y el paso de vehículos pesados.

Estas nuevas características implican la utilización de nuevos métodos de evaluación de calidad, además de mejoras en los procesos de diseño y construcción de los elementos. Por tal motivo se implementa el método de Pago en Función de la calidad para este proyecto de gran relevancia para el desarrollo de la infraestructura vial del estado.

Debido a la naturaleza estadística de dicho método de evaluación, se requieren nuevas herramientas de cálculo, que permitan tanto al constructor como al controlador de calidad el realizar un trabajo eficaz, en el menor tiempo y con las condiciones adecuadas para el entendimiento de las partes.

De esta manera surge la necesidad de mantener un control constante de la calidad de los elementos a construir. En este caso los factores preponderantes en la facturación de la obra son la base estabilizada con cemento portland, y la antes mencionada mezcla asfáltica modificada con polímeros.

Este es realizado mediante el manejo constante de datos de pruebas de evaluación de laboratorio, tanto de autocontrol por parte de la empresa, como de control de calidad por parte del estado. Esto implica la existencia de una cantidad de datos importantes que en virtud de la comodidad y rapidez, son analizados mediante hojas programadas, que realizan el estudio estadístico y calculan los resultados de calidad.

Surge debido a esto, la necesidad por parte de la empresa y luego del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, de poseer tanto las herramientas para el control, como un medio único para manejo y cálculo de los datos, por lo que a sugerencia de la ingeniería del proyecto se plantearon los siguientes objetivos para la realización de un práctica profesional dirigida, supervisada por el ingeniero residente del mismo.

Objetivo General

Valorar el pago en función de la calidad para una Base Granular Mejorada con Cemento Portland y una Mezcla Asfáltica SUPERPAVE producida en caliente y en planta con asfaltos modificados, específicamente para el proyecto “Construcción del Pavimento de la Carretera Costanera Sur” de la empresa MECO Constructora.

Objetivos específicos

1. Analizar en sitio el proceso de construcción de una Base Granular Mejorada con Cemento Portland y el de una Mezcla Asfáltica SUPERPAVE fabricada en caliente.
2. Elaborar hojas programadas mediante el uso de Microsoft Office Excel que permitan la tabulación de datos y el cálculo de los Porcentajes de incumplimiento de calidad constructiva.
3. Valorar el proceso de pago en función de la calidad para una base granular mejorada con cemento Portland tomando en cuenta para la valoración: la granulometría, la compactación y la resistencia a los 7 días de construida.
4. Valorar en función del: contenido de asfalto, granulometría, vacíos SUPERPAVE y vacíos en núcleos, el pago en función de la calidad de una mezcla asfáltica producidas en planta y en caliente bajo los parámetros SUPERPAVE.

Con la realización de estos objetivos la empresa constructora tendrá un control continuo y veraz de la calidad de la obra construida a los largo de los meses de julio, agosto y setiembre. Además podrá evaluar, no solo mensualmente para las fechas de facturación, sino que también lo podrá hacer en tiempo real, permitiéndole realizar proyecciones e identificaciones tempranas de la calidad de la construcción, otorgándole una ventaja de tiempo importante en el caso de requerir una corrección al detectarse valores de calidad inadecuados.

Marco Teórico

A partir de la utilización de la rueda como complemento para el transporte humano y de carga, surge la necesidad de otorgarle al camino nuevas características de resistencia que le aseguraran inicialmente al transporte, un tránsito rápido, que luego con la aparición del automóvil y vehículos de motor, demandaría además de la rapidez, la seguridad adecuada y hasta el confort del viajero.

Es por esta razón que a través de la historia de la humanidad, las actuales carreteras han evolucionado en varias etapas de reforzamiento, desde brechas en medio de selvas, a caminos recubiertos con piedra, con sus respectivas mejoras como lo son la implementación de varias capas de estas con diferentes tamaños y sistemas de amarre con morteros primitivos, descubriendo además con el tiempo que la implementación de sistemas de drenaje que alargan la vida de estas y una inmensa cantidad de aplicaciones que dan forma a las grandes autopistas actuales que atraviesan ciudades, países y hasta continentes.

Con tales antecedentes, la ingeniería de carreteras o caminos presenta actualmente retos muy intensos en pos de encontrar el medio de reforzamiento o pavimento de la superficie de ruedo con un diseño y construcción que permitan alargar al máximo posible su vida útil y manteniendo en este los principios de rapidez, confort y seguridad.

El pavimento como la parte más importante de una carretera ha evolucionado y con el pasar del tiempo y como se mencionó anteriormente, llegó a encontrarse conformado con varias capas o elementos de soporte, los cuales tienen una función específica especialmente en la forma de trasladar las cargas generadas por el tránsito al suelo o sub-rasante.

Debido a las variaciones en las necesidades del usuario y en especial de las condiciones de la zona de construcción, resulta en algunas condiciones más conveniente poseer varias capas con diferentes capacidades de

soporte, que le den la estabilidad y duración adecuadas al camino, o utilizar una única capa con mayores exigencias de capacidad que logre soportar la mayoría o totalidad de cargas generadas.

Es por eso que se establecen dos grandes grupos, que definen los tipos de pavimentos a utilizar en carreteras o caminos, estos son los pavimentos flexibles, que incluyen a los asfaltados, adoquinados, entre otros; y los pavimentos rígidos, caracterizados por los elementos rígidos de concreto.

En el caso del sistema vial nacional, alrededor de 4209 kilómetros de ruta nacional y 3500 kilómetros cantonales, se encuentran construidos en pavimento flexible con mezcla asfáltica, incluyendo las anteriores y nuevas etapas de la carretera Costanera Sur "ruta #34". Por lo que es de suma importancia establecer las características principales y componentes de este método de pavimentación.

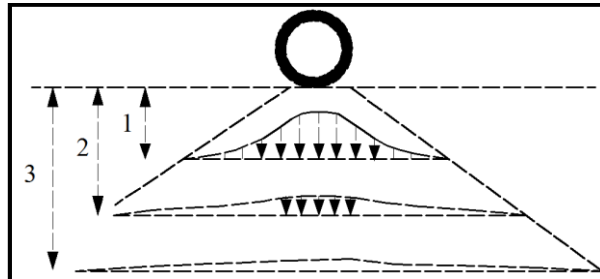
Pavimento Flexible

Se le llama de esta forma, debido a la manera en que este distribuye la carga a la subrasante o terreno natural, ya que se conforma por una o varias capas de material granular con determinadas características de soporte, encargadas de trasladar las cargas al suelo. Estas capas aumentarán su capacidad estructural conforme se avanza hacia la superficie con el fin de recibir las cargas por punzonamiento generadas por los vehículos sobre la capa superficial, la cual es la que posee mayor capacidad en toda la estructura.

Dicha superficie puede ser construida mediante la utilización de adoquines, empedrados y superficies asfálticas. Ambas se caracterizan por presentar una gran flexibilidad en la deformación generada por el movimiento de los vehículos, ya sea por no ser elementos monolíticos como en el caso del empedrado y los

adoquines, o por ser monolíticos pero con una flexibilidad importante como es el caso de las carpetas asfálticas.

Por tanto la función principal de un pavimento flexible es recibir los esfuerzos mediante capas de capacidad estructural mayor, y transmitirlos a las capas inferiores de menor capacidad hasta llegar a trasladar la mínima cantidad de carga a la superficie del terreno, mediante una distribución de cargas en forma de área creciente como la mostrada a continuación:



AUTOCAD 2008

Figura 1. Diagrama de distribución de cargas del pavimento flexible

A continuación se detallarán cada uno de los componentes que conforman un pavimento flexible y su función en el sistema de soporte de cargas.

Subrasante

Es la superficie definida generalmente por la parte superior del suelo natural que conforma el terraplén o corte necesario para darle forma al trazo horizontal y vertical de la carretera. Conformar el cimiento de la estructura de pavimento por lo que es clave para su buen funcionamiento que esta tenga unas características de soporte que le permitan asimilar y resistir las cargas aplicadas por parte del tráfico. Ameritando de esta forma la realización de estudios minuciosos de campo y en laboratorio para determinar principalmente su nivel de aguas freáticas¹, granulometría, plasticidad², compresibilidad y principalmente su capacidad de soporte o CBR³.

En el caso de que este suelo no cumpla con las condiciones necesarias de soporte se puede recurrir a métodos de mejora de subrasante como

¹ Niveles de aguas subterráneas

² Capacidad de deformarse permanentemente.

³ California Bearing Ratio (ver referencias 2 y 4)

los son el tratamiento con químicos o la sustitución de la misma por “material de préstamo” con mejores características de soporte.

Sub-Base

Sobre la capa de subrasante, se encuentran las capas de soporte intermedias como lo son la sub-base y la base. Ambos elementos se encargarán de transmitir al suelo las cargas aplicadas a la superficie de rueda, por lo que toman suma importancia en la estabilidad y funcionalidad de una carretera, en especial la capa de base que será la superficie inmediata a la capa de rodamiento en recibir las cargas del tránsito.

En el caso de la sub-base su función principal es la de disminuir los costos de la estructura de pavimento, ya que en muchos casos las cargas aplicadas a la carpeta asfáltica, generan esfuerzos muy altos en su inmediata inferior, es decir la base, material que debe cumplir con claros requerimientos de capacidad portante, razón por la cual adquiere un costo importante en lo que a adquisición se refiere.

De esta forma es como se vuelve viable la sustitución de un porcentaje de la capa base por un espesor de material de menor calidad y si es posible de suelos locales o sub-base, que continuará transmitiendo las cargas, a un menor costo de construcción.

Esto es posible gracias a la distribución característica de esfuerzos, generada en los pavimentos flexibles, donde los materiales superiores reciben la mayor cantidad de cargas y las distribuyen en una mayor área en las zonas inferiores de menor calidad.

Base

Como se mencionó anteriormente la base es la encargada de recibir las cargas aplicadas directamente sobre la superficie de rueda, lo que implica que esta deba tener la suficiente capacidad para asimilar los esfuerzos generados por el tránsito y transmitirlos de una manera adecuada a la capa siguiente. Por tal razón la base debe cumplir con características especiales que le permitan cumplir con su función durante la mayor cantidad de tiempo posible.

En el caso de la granulometría, es de suma importancia que esta sea bien graduada con el fin de evitar que los materiales se segreguen⁴ con las manipulaciones de transporte y colocación a la que se verá sometida. Bien graduada en este caso se refiere a poseer varios tamaños de material granular en proporciones establecidas que le den una variedad de estos en la totalidad de la sección de base, con la ventaja de acomodar de mejor forma el material y reducir al máximo los vacíos inter-particulares.

Además este aspecto es de vital importancia debido a que la resistencia de una base granular depende principalmente de los roces entre las partículas granulares que la componen.

De esta manera se vuelve esencial el reducir la presencia de materiales finos y arenosos, los cuales con la acción constante de las cargas llegan a formar una especie de lubricante entre las partículas de mayor tamaño, eliminando el soporte generados por los roces inter-particulares, dando paso a la formación de baches a una edad temprana.

También es necesario el controlar la naturaleza y características de estos materiales finos, los cuales podrían poseer alta sensibilidad al agua, como los limos y arcillas, que generarían daños por pérdida de permeabilidad o cambios repentinos de volumen por intromisión de agua a la estructura de pavimento.

Al poseer un material granular variable, con un control adecuado de materiales finos y con partículas áridas lo más duras y resistentes posibles, se obtendrá un elemento con grandes características estructurales que mediante rozamiento interno soportará las cargas transmitidas por la superficie de ruedo.

Muchas veces por las condiciones de ubicación de la obra constructiva, por disponibilidad y transporte de material, resulta demasiado costoso desde el punto de vista económico el construir una base granular con materiales de alta calidad.

En tales casos se recurre a la utilización de un material de menor calidad, pero modificado mediante técnicas constructivas y elementos externos que le otorgarán la resistencia adecuada. A este proceso se le conoce como la construcción de una "Base Estabilizada". A continuación se presentan algunos de los

⁴ Se separan los granos de diferentes tamaños

principales mecanismos de estabilización de bases.

Estabilización con Cal Hidratada

Se utiliza generalmente en suelos con un alto contenido arcilloso, mediante la combinación de la cal y agua con el material granular con arcilla, esta última se ve sometida a una cementación de sus partículas por medio de una reacción química o ionización⁵, disminuyendo la plasticidad de las mismas, lo que a la vez permite un aumento en la resistencia a compresión de la mezcla de material.

Este proceso además permite combatir la sensibilidad de los elementos arcillosos a la humedad o presencia de agua. Por lo que dependiendo de cuál sea la principal necesidad entre, humedad, plasticidad o resistencia se establecerá la proporción de cal a utilizar.

Es importante considerar que para su construcción, es necesario brindar un tiempo adecuado para adquirir resistencia debido a que esta es obtenida mediante reacciones químicas que requieren un tiempo específico para producirse. Además debido a este lapso de tiempo entre la los inicios de la reacción química y la resistencia final, la aplicación de agua no necesariamente debe ser inmediata sino que puede ser gradual, a diferencia de la estabilización con cemento.

Estabilización con Cemento Portland

Como su nombre lo indica, la estabilización con cemento Portland consiste en la mezcla de un suelo de base granular con cemento portland y agua. Al realizar esta mezcla se produce un material con mejores características que el utilizado para construir bases granulares, presentando mayor dureza, resistencia a las cargas y menor susceptibilidad a la exposición de agua.

Se utiliza generalmente en la presencia de suelos con alta plasticidad o suelos con resistencias bajas, evitando al máximo la presencia de suelos orgánicos. En el caso de los

⁵ Proceso químico de producción de iones, cargados eléctricamente

suelos de alta plasticidad como arcillas, el cemento funciona como aglomerante, además de generar una reacción iónica que contrarresta los altos contenidos de humedad en sub-bases y subrasantes.

En el caso de suelos granulares, se recomienda la utilización de agregados con una granulometría cerrada, ya que esta además de poseer más áreas de contacto en las que pueda actuar la acción cementante, serán más fáciles de compactar, permitiendo la construcción de una capa sólida con gran resistencia a las cargas continuas.

De tal forma se obtendrá una capa de cimentación, con mayor resistencia a un formada únicamente por material granular. Además de poseer más resistencia, la rigidez de esta capa generará que las cargas sean distribuidas en un área mayor y por ende llegarán con menor magnitud a las capas inferiores ya sean la subbase o la subrasante.

Tomando en cuenta nuevas características como una mayor impermeabilidad, por conformar un elemento sólido, que a diferencia de otros tipos de tratamientos y estructuras, no pierde resistencia mediante la presencia de agua, puesto que por la naturaleza del cemento, la humedad toma parte importante en la resistencia que este alcance, capacidad que además aumenta con el pasar del tiempo.

Este aspecto a diferencia de otros tratamientos, le otorga una alta resistencia a la erosión generada por el agua, elemento que también con su presencia, genera cambios volumétricos importantes en los elementos granulares, evitados en la estabilización con cemento portland.

Todas estas ventajas se consiguen mediante un control adecuado de los principales factores influyentes en la resistencia de una base estabilizada con cemento, los cuales son: la dosificación de cemento y agua, la compactación y la edad de la mezcla compactada.

En el caso del primero como en la elaboración del concreto, la relación entre el agua y el cemento definirá gran parte de la resistencia alcanzada por el elemento y a qué edad este alcanzará su mayor capacidad. Es importante considerar para tal aspecto los tiempos de aplicación del agua durante la mezcla y el tiempo de curado de la misma.

Con respecto a la compactación de la base se debe considerar que entre mayor compactación

posea esta, menos espacios vacíos habrán entre las partículas granulares, lo que implica que existirán mayores zonas de contacto entre partículas en las cuales actuará el cemento, además que es de suma importancia considerar que una mezcla mal compactada utilizará mayores cantidades de cemento en espacios vacíos que no cumplirán con su función, sumado a los posibles efectos del excesos de cementante que generarían grietas de contracción en el proceso de fraguado. Y por supuesto como en cualquier otro elemento que requiera compactación, la realización adecuada de esta evita que con el pasar del tiempo y el soporte de cargas, las partículas se reacomoden y se generen asentamientos indeseados en la estructura del pavimento.

Como se mencionó anteriormente, los elementos de concreto y en general los que se construyan con cemento, adquieren mayor resistencia con el pasar del tiempo de uso, por lo que esta es una gran ventaja en la fabricación de bases estabilizadas con cemento portland.

Al igual que los elementos fabricados a base de concreto, las bases estabilizadas con cemento portland, al perder capacidad de carga, tienden a fallar mediante la aparición de grietas que muchas veces tienden a notarse o a transmitirse a la capa de rodamiento, por lo que se debe considerar durante su construcción el adecuado curado de la misma, durante al menos 7 días, además de la protección temprana con capas superiores bituminosas o mezcla asfáltica, que eviten el sometimiento a cargas de tránsito altas a una edad temprana.



Figura 2. Mezcla de cemento portland con material granular para la fabricación de base estabilizada con cemento

Otros Medios de Estabilización

Además de los métodos mencionados anteriormente, también se recurre en algunas ocasiones a estabilizar bases con ligantes bituminosos, o a construir bases mediante el uso de materiales como la toba-cemento plástica.

En el primero de estos métodos, se trata de mezclar con betúnes o ligantes bituminosos materiales como suelos gravas o arenas, que no cumplan con las características de resistencia requeridas, por lo que al igual que el cemento el ligante bituminoso actuaría como un elemento que brinde una mejor calidad a los materiales utilizados.

La utilización de toba-cemento plástica, consiste en la implementación de un concreto de baja resistencia y consistencia plástica, utilizado para sustituir materiales de mala calidad.



Figura 3. Tratamiento de base mediante ligantes bituminosos

Mezcla o Carpeta Asfáltica

Esta es la capa superficial de la estructura de pavimento flexible, se encuentra conformada por agregado pétreo y asfalto. Al igual que las capas inferiores de cimentación, su espesor varía con respecto a la carga aplicada sobre este y en casos de tránsito intenso se utilizan varias capas, conocidas como carpeta de liga y carpeta de desgaste.

Su función esencial es la de brindar una superficie lisa y segura para el tránsito de los vehículos. Por tales motivos este componente debe ser resistente, tanto a las cargas aplicadas por los vehículos, como al desgaste producido por su circulación y por ende la fricción de las ruedas y la carpeta. Además de ser lo suficientemente rugosa para evitar el derrape de

los vehículos, y no deformarse en forma excesiva con tal de no afectar el movimiento sobre ella.

Existen varios tipos de carpetas asfálticas, que varían con respecto a la carga a las que se someterán, entre ellas se encuentran: las carpetas o tratamientos superficiales, las carpetas de mezcla en el lugar y las carpetas de concreto asfáltico, citadas de menor a mayor demanda de capacidad de soporte.

Tanto los tratamientos superficiales como las mezclas en sitio, se utilizan en caminos o carreteras de mediana a baja circulación. La primera de ellas consiste en realizar un riego de asfalto o emulsión asfáltica sobre la base y cubrirla con material pétreo, lo que la convierte en un método de construcción sencillo pero de poca calidad. En el caso de la mezcla en lugar, su calidad es superior a la del tratamiento superficial, ya que su proceso de construcción es más elaborado, comenzando por la mezcla de una o varias capas de material granular y asfalto sobre el lugar de tránsito, seguido del acomodo manual o con maquinaria especial, finalizando con la compactación de la mezcla.

Por último las carpetas de concreto asfáltico, son las utilizadas para las cargas de tránsito más altas, se encuentran conformadas por una o varias capas de agregado granular bien graduado y mezclado, en caliente y en proporciones exactas, con cemento asfáltico, de ahí el nombre de concreto asfáltico. Esta posee como principal ventaja la posibilidad de fabricar carpetas de espesor mayor al resto de los métodos de construcción de carpetas asfálticas.

Existen métodos similares a este pero sin la necesidad de calentar la mezcla, esto gracias a la utilización de asfaltos emulsificados⁶ o asfaltos diluidos, conocidas con mezclas en frío.

Además las formas de construcción varían en diferentes métodos como la mezcla en planta asfáltica, transporte a sitio de construcción, colocación con maquinaria especializada y compactación, donde en algunos casos se puede sustituir la mezcla en planta por mezcla en sitio con maquinaria especializada, o sustituir la colocación con maquinaria por colocación manual, dependiendo de las condiciones del sitio de construcción, disponibilidad de recursos y magnitud del proyecto.

⁶ Mezcla de agua con agente emulsificador y cemento asfáltico, alcanza rigidez al evaporarse el agua.



Figura 4. Colocación de mezcla asfáltica en caliente

Al igual que la mayoría de materiales utilizados en la construcción, la mezcla asfáltica posee varias formas de diseño y estimación de la proporción de sus componentes, la mayoría generadas de la práctica, la teoría y actualmente con el uso de computadoras.

Entre los métodos de diseño utilizados a lo largo del tiempo de construcción se encuentran el método de diseño Hveem, el método Marshall y el método de diseño Superpave, que actualmente (2009), es el más innovador utilizado en el país. Es importante mencionar que el método Hveem es muy poco utilizado en el país, debido a que ha sido desplazado por nuevos métodos, a continuación se presentan los detalles más relevantes del método más aplicado, y del más reciente en lo que a investigación respecta.

Método Marshall

Desarrollado inicialmente por el departamento de carreteras del estado de Mississippi en Estados Unidos, retomado y modificado más tarde por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército.

Su objetivo primordial es el determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados pétreos. Además de establecer las densidades y contenido de vacíos que se deben aplicar.

Por lo que el paso inicial para diseñar una mezcla mediante el método Marshall es determinar la demanda de soporte que requiere la carpeta asfáltica, incluyendo en este aspecto, la resistencia, durabilidad, rugosidad, entre otras características.

Una vez identificadas las características que deberá poseer la carpeta asfáltica, se escoge el agregado a utilizar. Este factor hace muy importante a este método de diseño, ya que uno de los elementos que representan más costo en un proyecto de construcción, es la obtención de los agregados adecuados, procurando minimizar los costos de acarreo y extracción, por lo que el adaptar el diseño al tipo de agregado con el que se cuente en la zona o el de menor costo vuelve muy conveniente al método Marshall.

Al poseer las características definidas para el agregado y la capacidad del pavimento, se procede a identificar un tipo de asfalto compatible con el tipo de suelo a utilizar y las demandas constructivas de la obra.

Mediante la conformación de diferentes probetas o "pastillas Marshall" con diferentes combinaciones de agregados y asfalto se estimará el punto de asfalto óptimo. Esto mediante diferentes procedimientos de laboratorio, encabezados por la determinación del peso específico de la mezcla, seguido del ensayo de estabilidad y fluencia, encargado de medir la resistencia a la deformación de la mezcla.

Por último se realiza un análisis de densidad y vacíos, con el fin de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada. Estos datos junto con los obtenidos anteriormente son graficados y mediante estas gráficas se obtendrá la combinación más eficiente para el pavimento, tomando como referencia un valor de vacíos de 4 por ciento.

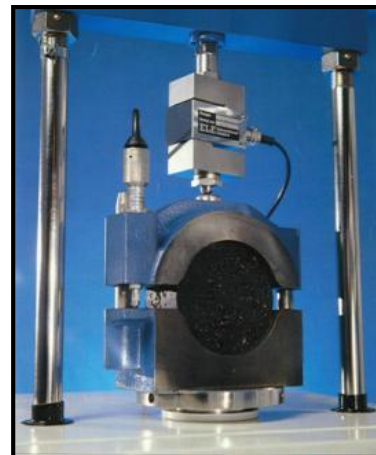


Figura 5. Pastillas Marshall, ensayo estabilidad y fluencia

Método Superpave

A partir de 1987, el congreso de los Estados Unidos creó el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras, o por sus siglas en inglés SHRP. Su creación se realizó con el fin de evaluar y mejorar el desempeño de las carreteras construidas en este país.

Mediante estas investigaciones se determinó que los métodos utilizados anteriormente poseían un estricto carácter empírico del diseño de mezcla asfáltica y que su veracidad dependía en su mayoría de la experiencia en casos anteriores.

Por tal motivo se desarrolla el sistema de diseño SUPERPAVE (SUPERior PERforming Asphalt PAVEMENTS), por sus siglas en inglés. En español se traduciría como Pavimentos Asfálticos de Desempeño Superior, debido a que Superpave incluye en sus métodos la escogencia y estudio tanto del cemento asfáltico, como del agregado pétreo y además del conjunto de ambos al mezclarse. También, el método de diseño se apoya en software y modelos de predicción, encargados de analizar el comportamiento del asfalto en el futuro.

El método también se encuentra conformado con tres niveles de estudio, dependiendo de la cantidad esperada de ejes equivalentes⁷ de carga durante el período de diseño. El nivel 1, es conocido como Proporcionamiento Volumétrico, que aplica controles de granulometría y volumétricos.

En el caso de los dos siguientes niveles, ambos son aplicados para cargas de diseño muy altas y requieren de una investigación más amplia, además de una inversión mayor en pruebas y equipos. El nivel 2 se encarga del estudio del comportamiento mecánico de la mezcla, mediante pruebas de deformación permanente y agrietamiento al pavimento, con el fin de predecir qué ocurrirá con el pavimento en su vida útil.

Por último en el Nivel 3, lo integran ensayos complementarios con el fin de ampliar el conocimiento sobre el comportamiento obtenido en el nivel 2, además de realizar pruebas al pavimento utilizándose en variedades de temperatura. Dada la complejidad de los dos

últimos niveles, la aplicación de estos se restringe en países como Costa Rica por lo que la aplicación del Superpave al momento se limita a la utilización del Nivel 1, el cual se describe a continuación.

Selección de cemento asfáltico

Este procedimiento se realiza tomando en cuenta las temperaturas de colocación y utilización del asfalto, además de la capa o profundidad que este ocupe, generalmente es realizado mediante estudios de clima y temperatura del aire en la zona del proyecto.

Todas las mezclas superpave poseen los mismos requerimientos para el asfalto, conocido como Performance Grade (PG) o Grado de Desempeño, el cual se obtiene variando las temperaturas de diseño, las cuales serán: temperatura máxima promedio de siete días (MM) y la temperatura mínima registrada en el estudio (mm), dando como resultado finalmente una nomenclatura de diseño PG MM-mm.

Es importante tomar en cuenta para la obtención del PG el comportamiento del asfalto ante todas las temperaturas y las implicaciones que tendría sobre esto el funcionamiento en estas condiciones.

Selección de Agregado

A pesar de la importancia del ligante asfáltico en la conformación de una mezcla asfáltica, se debe tomar en cuenta que el agregado representa alrededor de un 95% del peso de la misma y que este será el encargado de soportar las cargas aplicadas sobre el tráfico al pavimento. Por tal motivo el método de diseño superpave establece dos tipos de propiedades que deben ser estudiadas y especificadas sobre el agregado a utilizar en la mezcla asfáltica. Estas son las propiedades de consenso y las propiedades de origen del agregado pétreo.

Las propiedades de consenso son: la angularidad del agregado grueso y fino, partículas alargadas y aplanadas, el contenido equivalente de arena (contenido de arcilla) y granulometría combinada. Estas son obtenidas para especificar el comportamiento de la mezcla de acuerdo a la calidad del agregado, dependiendo si este es lo suficientemente

⁷ Conversión de diferentes tipos de carga de vehículos a carga tipificada de ejes de 8200 kg

resistente y durable para resistir las cargas aplicadas.

Por otro lado las propiedades de origen, son utilizadas para calificar la calidad de la fuente de obtención de los agregados, estas a pesar de no poseer límites críticos, forman parte importante de la estimación de calidad de la mezcla. Se encuentra conformada por factores como: dureza del agregado, durabilidad y partículas frágiles y desmenuzables.

En el caso de la granulometría de la mezcla el sistema superpave mantiene usos granulométricos dependientes del tamaño máximo nominal. Este tamaño máximo nominal es el primer tamiz que retiene 10% del agregado. Por lo tanto se establecen mezclas para tamaños máximos nominales de 35,5 mm, 25 mm, 19 mm, 12,5 mm y 9,5 mm.

Selección de mezcla de diseño

Luego de escogido el tipo de cemento asfáltico a utilizar y teniendo un estudio detallado del comportamiento del agregado, se procede a fabricar varias mezclas de prueba con un contenido de asfalto que produzca como resultado un porcentaje de vacíos de aire de aproximadamente un 4% en la mezcla asfáltica.

A continuación de este proceso se realiza la estimación o estudio volumétrico característico del nivel 1 de superpave. Este consiste en la realización de estimaciones volumétricas de la mezcla para obtener el contenido de asfalto que permita obtener exactamente un 4% de vacíos en la mezcla. Las estimaciones o requerimientos volumétricos incluyen el estudio de vacíos de aire, vacíos del agregado mineral y vacíos llenos de asfalto.

Obtenida la combinación de granulometría y asfalto se realizan las pruebas de comportamiento ante la humedad y la proporción de polvo que esta posea con respecto al contenido de asfalto. Verificadas la combinación de granulometría y contenido de asfalto, y las pruebas de requerimientos, se define la combinación más satisfactoria, esta combinación es conocida como "Fórmula de Trabajo" de la mezcla.

La compactación utilizada en este método de diseño se realiza mediante la implementación del compactador giratorio o SGC (Superpaver Gyrotory Compactor), el cual efectúa una rotación con un ángulo de 1,25 grados que

aplica una fuerza de confinamiento sobre la mezcla de 600 kilopascales, simulando el efecto de los rodillos compactadores de mezcla asfáltica. Además se apoya en el uso de programas computarizados que determinan el grado de compactación de la mezcla.



Figura 6. Compactador giratorio superpave

Modificación con Polímeros

Muchas veces en la construcción de carreteras, se presentan casos en los cuales la mejor combinación de diseño no responde de forma satisfactoria a las solicitaciones que se ve sometida, debido generalmente al exceso de carga o las condiciones ambientales del proyecto.

Es por eso que se han ideado soluciones externas a la combinación de agregados y cemento asfáltico, que generalmente aumentan el costo de la obra, pero que a largo plazo, le otorgan una mayor durabilidad a la construcción, recuperando lo invertido en trabajos de mantenimiento y hasta reconstrucción.

Luego de años de investigación se ha determinado que la combinación de una mezcla asfáltica normal, con un polímero⁸, mejora significativamente sus características mecánicas, en especial en zonas de climas variantes o extremos como las costas o climas nevados.

Esto debido a la naturaleza del polímero como material deformable, de alta resistencia, no

⁸ Unión de grandes cantidades de moléculas simples o monómeros, formando diferentes estructuras que varían sus propiedades mecánicas.

susceptible a la humedad, entre otras características. En el caso de los pavimentos asfálticos, los polímeros aumentan sus capacidades en los casos en el que estos deban soportar cargas altas o de tránsito pesado, en condiciones de temperaturas altas y muy bajas.

Debido al comportamiento de la mezcla asfáltica ante los cambios de temperaturas se hace necesaria la inclusión de un elemento que supla o supere sus características en los momentos de variación térmica.

Tal es el caso del funcionamiento con cargas pesadas y temperaturas altas, donde el asfalto reduce su viscosidad y por ende se hace vulnerable a las deformaciones plásticas generadas por las altas sollicitaciones, conocidas como ahuellamientos.

Por el contrario en el caso de presentar temperaturas muy bajas, el cemento asfáltico adquiere una condición de alta rigidez, en la cual al aplicarse las cargas de tránsito normales, la mezcla se fracturará y perderá resistencia, generando una falla por fatiga del sistema de pavimento, que en un corto plazo implicará la desintegración de la mezcla y por consiguiente la de sus capas inferiores.

Es en estos momentos que el polímero toma parte de la mezcla, ya que en las altas temperaturas, este sustituirá al cemento asfáltico como medio de cohesión, lo que reducirá los efectos de la carga, y por ende las deformaciones excesivas. Además en las bajas temperaturas, el polímero nuevamente tomará el papel del cemento asfáltico como medio adhesivo, por lo cual al alcanzar fragilidad la mezcla, el polímero se encargará de mantener las partículas sujetas con una alta flexibilidad y resistencia a las tensiones generadas por la aplicación de carga.

Sin embargo la inclusión de polímeros, incluye además de estas otras ventajas como lo son la impermeabilización de la mezcla, aumento de durabilidad y reducción del costo del mantenimiento. Estas conseguidas realizando una inversión mayor al inicio de la obra y considerando un control estricto de las condiciones de trabajo, debido al cambio de consistencia en la mezcla por la inclusión del nuevo material lo que implica una supervisión adecuada del mezclado y elaboración de la misma.

Pago en Función de la Calidad

Debido a la creciente magnitud de los proyectos de carreteras y la implementación de nuevos métodos de diseño y constructivos, se hace necesaria la presencia de un método de evaluación que permita controlar la calidad del proyecto sin establecer únicamente límites de cumplimiento, sino que además considere los efectos de los resultados dentro de estos límites y el efecto global de estos sobre la estructura en general.

Esto debido a que las evaluaciones de calidad generalmente, se realizaban considerando diferentes elementos de la obra, los cuales se verificaban con límites determinados, y el cumplimiento de estos definía el pago o no de este rango a un precio específico.

Sin embargo al presentar un elemento de mala calidad, no se toma en cuenta el efecto que este puede provocar sobre los otros que puedan tener una calidad adecuada, por lo que se ve la necesidad de valorar individualmente cada componente de la obra, pero se castigará esta como un elemento único y global el cual al presentar un defecto en alguno de sus elementos, presenta menor calidad en su totalidad.

Además de esto, el método de evaluación estadístico, analiza no solo la permanencia de los resultados de calidad dentro de los límites de especificación de la obra, sino que además controla la variación de los mismo dentro de estos límites, castigando en forma proporcional la cercanía de los resultados a alguno de los límites, lo que significaría una clara tendencia a valores erróneos y por ende una disminución de calidad de alguno de los factores, que afectaría al conjunto.

Por tanto se desarrolla un sistema de evaluación estadístico, que determinaría el porcentaje de incumplimiento de calidad de un elemento específico, el cual se ve afectado principalmente por el promedio aritmético y por la desviación estándar de las muestras tomadas.

El mayor porcentaje de incumplimiento de cada uno de los aspectos que conforman un elemento como por ejemplo: mezcla asfáltica, compuesta por, granulometría, contenido de

asfalto porcentaje de vacíos, será el utilizado como el nivel de calidad aceptable (NCA). Se establecen dos tipos de categorías para NCA, Categoría I de 5%, y Categoría II de 10%.

Para realizar la evaluación de calidad se deben evaluar las siguientes características:

Características de calidad: como se mencionó anteriormente, son los factores a evaluar sobre cada componente de la obra; por ejemplo de una base estabilizada se evalúan características como: compactación, resistencia, granulometría.

Tamaño del lote: el tamaño del lote define un cantidad discreta a la cual se le realizará la evaluación estadística, se puede especificar por cantidades de trabajo o lapsos de tiempo, por ejemplo, realizar una evaluación cada 300 toneladas de producción de mezcla asfáltica, o realizar una evaluación mensual.

Frecuencia de muestreo: Indica el número de pruebas que deben ser aplicadas a cada característica a evaluar en un lote determinado. No debe ser menor a 5 pruebas por período de evaluación. Por ejemplo, se realizarán pruebas de contenido de asfalto a una mezcla cada vez que se coloquen 100 toneladas de la misma.

Lugar de muestreo: Como su nombre lo indica es el lugar donde se realiza el muestreo para cada característica, por ejemplo, el contenido de asfalto de una mezcla asfáltica puede ser muestreado del material de la vagoneta o en la planta de fabricación.

Métodos de Ensayo: Se deben indicar en las especificaciones, los métodos de ensayo que serán tomados como oficiales para el control de calidad, por ejemplo, gravedad específica de una mezcla asfáltica AASHTO T-166

Límites de especificación: Indican los límites que establecen la calidad de cada aspecto. Por ejemplo, el cartel de licitación indica para la resistencia a los 7 días de una base estabilizada, límite inferior 25 kg/cm², límite superior no posee.

Categoría: Como se mencionó anteriormente indican el nivel de calidad aceptable, dependiendo de la naturaleza del factor, por ejemplo, granulometría base estabilizada; categoría I, granulometría mezcla asfáltica categoría II. De estas dependerán los porcentajes de incumplimiento y de castigo de pago en cada parte de la obra.

Al encontrarse definidas cada una de las características de calidad para evaluarse, se procede a realizar el estudio estadístico y la búsqueda en las tablas de porcentajes de incumplimiento y factores de pago para la obra realizada.

Es muy importante conocer que el factor de pago mínimo a aceptar es de 0,75, es decir que se pagaría un 75% del valor de los elementos construidos, ya que si se obtuviese un valor menor a este se tomaría como una severa lesión a la seguridad y calidad de la obra, por lo que la obra construida deberá ser demolida y sustituida por otra que cumpla las condiciones establecidas, luego de someterse a evaluación.

En resumen el pago en función de la calidad establece un sistema de comparación de calidad entre elementos de diferente naturaleza, mediante la asignación de límites a cada uno de ellos, y de el análisis estadístico del comportamiento de los datos en estos límites, se obtienen para todos los rubros los porcentajes de incumplimiento. Estos porcentajes de incumplimiento permiten la comparación de calidad entre elementos con diferentes formas de evaluación, ya sean porcentajes de compactación, porcentaje retenido en mallas u otros, todos los elementos serán calificados mediante porcentajes de incumplimiento.

Al tener todos los elementos en un mismo sistema de evaluación se puede identificar el que posee el mayor incumplimiento, es decir el de menor calidad. Tomando en cuenta la filosofía de que "la cadena falla por el eslabón más débil", el pago en función de la calidad busca el elemento que menor calidad, el cual a pesar de la presencia de elementos con excelentes condiciones, provocará en algún momento el fallo de la obra constructiva.

Por tal motivo se establece como monto de facturación el obtenido por el elemento de menor calidad, evitando de esta manera el pago excesivo por elementos de calidad que se verán deteriorados por otros que no la poseen.

Metodología

La práctica profesional dirigida consistió en el cálculo del Pago en función de calidad para la empresa constructora Meco S.A, en el proyecto “Construcción del Pavimento y Obras Complementarias de la Carretera Costanera Sur, Ruta Nacional N° 34”, específicamente en la sección comprendida entre las ciudades de Quépos y Savegre, pertenecientes al cantón de Aguirre de la provincia de Puntarenas.

Entre los detalles del proyecto se indica que el punto inicial del sector a evaluar es el colegio de Quépos y el punto final es el puente que pasa sobre el Río Savegre, para un total de 19,5 kilómetros, como se muestra en la figura 7.



Figura 7. Recorrido del proyecto, tramo Quépos-Savegre

Esta evaluación estadística de calidad es realizada para dos de los principales elementos de la construcción, como lo son la base granular estabilizada con cemento portland y la mezcla asfáltica en caliente modificada con polímeros, fabricada mediante el diseño SUPERPAVE. Cabe destacar que esta mezcla es utilizada por primera vez en el país.

Como paso inicial, se procedió a estudiar y valorar las especificaciones contractuales y reglamentarias sobre los requerimientos a cumplir en la construcción.

Estas se encuentran comprendidas dentro del cartel de licitación y los respectivos códigos y reglamentos a los que este hace referencia.

Entre ellos se encuentran el manual CR-77 y las diferentes normas AASHTO y ASTM, referentes a la variedad de pruebas realizadas para el control de calidad de cada uno de los componentes de la obra constructiva. Es importante señalar la aclaración que hace el cartel a las sucesivas modificaciones del CR-77, ya que este no incluye en su contenido las especificaciones para el diseño de una mezcla asfáltica Superpave como la incluida en este proyecto, por lo que el nuevo Manual CR-2002 se suma como parte importante a la documentación reglamentaria a analizar, a pesar de no ser el vigente en los procesos de construcción oficiales.

Con respecto a la base estabilizada con cemento portland, el cartel de licitación indica que se deben colocar 25 centímetros de espesor, luego de compactada, a lo largo de toda la carretera. Esta debe contar con los requisitos de resistencia mínima y promedio de una base BE-25 especificada en el cuadro 1 tomado del cartel de licitación y el manual de diseño de carreteras.

Además su granulometría debe cumplir con los límites de porcentajes pasando para una base granular tipo B, de igual forma que su resistencia, según lo especificado en cartel y manuales de diseño, con los valores mostrados en la cuadro 2.

La construcción de esta se realiza mediante mezcladora móvil o al camino, y deberá cumplir con una densidad de compactación con un mínimo de 95%, de la densidad máxima teórica que esta pueda presentar.

A continuación se presentan las tablas de las especificaciones requeridas para su construcción y evaluación de calidad:

CUADRO 1. REQUISITOS DE RESISTENCIA PARA BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND

Tipo de Base Estabilizada	Resistencia Mínima Permisible (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)	Tiempo de Curado
BE-25	25	30	7 días

CUADRO 2. LÍMITES DE GRADUACIÓN PARA BASE GRANULAR

Tamiz	% POR PESO QUE PASA POR LOS TAMICES DE MALLA CUADRADA		
	A	B	C
50,8 mm	100	--	--
37,5 mm	97-100	100	--
25,4 mm	--	97-100	100
19,0 mm	67-81	---	97-100
9,5 mm	---	56-70	67-79
4,75 mm (N° 4)	33-47	39-53	47-59
425 μm (N° 40)	10-19	12-21	12-21
75 μm (N° 200)	2-9	4-8	4-8

En el caso de la mezcla asfáltica, se establece que esta tendrá un tamaño de agregados máximo nominal de 19mm, y se colocarán en dos capas, una inferior de 6 centímetros como apoyo y otra superior de 7 centímetros como capa de desgaste. Como se mencionó anteriormente, esta será diseñada mediante el método superpave y además será modificada con polímeros, en este caso en específico se utiliza látex, con el fin de mejorar la flexibilidad, el comportamiento a altas temperaturas y la resistencia a la humedad de la misma.



GOOGLE SKETCHUP 6.0

Figura 8. Espesores de mezcla asfáltica y base estabilizada

Como características técnicas de diseño se especifica la utilización de un cemento asfáltico tipo AC-30, y el diseño para un grado de desempeño Superpave a una temperatura de 76° C, (PG-76). Se utilizará la cantidad de ligante necesaria para tener un 4% de vacíos para el número de giros de diseño, en este caso un

número de 8 giros inicial, 100 de diseño y un máximo de 160.

A diferencia de la base granular, los límites de aceptación de la granulometría de la mezcla asfáltica se encuentran sujetos al diseño obtenido según las características del ligante y los agregados pétreos a utilizar, dada la naturaleza del diseño de la misma. Por tal motivo se plantean para la obtención de sus límites, valores específicos de tolerancias que se aplicaran a los datos de diseño y que generarán de esta manera tales límites para la evaluación de calidad. En el siguiente cuadro se muestran estas tolerancias según el tamaño de la malla a analizar:

CUADRO 3. TOLERANCIAS PARA RANGOS DE MALLAS DE DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA

mallas > 4,75 mm	± 5 %
4,75 mm ≤ malla ≤ 75 μm	± 4 %
< malla 75 μm	± 2 %

Debe señalarse que tanto la base estabilizada y la mezcla asfáltica, requieren de distintos requisitos constructivos y de diseño que no son del alcance de este proyecto, por lo que no se mencionan o definen, además de otros requisitos que son mencionados en el pago en función de la calidad en cada uno de ellos.

En el caso de este proyecto, el pago tanto para la base estabilizada y la mezcla asfáltica se realiza con respecto a los aspectos establecidos anteriormente y en el pago en función de la calidad. Los otros aspectos de diseño y constructivos son corregidos mediante la inspección durante la construcción de la obra, o en el caso del incumplimiento de alguno de ellos se castigan con multas y no directamente en la facturación mensual.

Por lo tanto se establecen como requisitos para la evaluación del pago en función de calidad los presentados en la misma sección del cartel de licitación, con sus respectivos límites y los mencionados anteriormente. A continuación se presentan las tablas indicadoras de estos, aspectos junto con sus límites, frecuencia y lugar de muestreo, además de las normas utilizadas para realizar sus respectivas pruebas.

CUADRO 4. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE LA BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND

Propiedad o característica	Categoría	Método de prueba	Frecuencia	Puntos de muestreo	Rango de aceptación
Granulometría de los agregados	II	AASHTO T-11 y T-27	1 muestra cada 800 m ³	Del apilamiento	Cuadro 2
Densidad de la mezcla en el sitio de colocación	I	AASHTO T-238 y T-239	1 muestra cada 400 m ³ o una diaria	En el sitio en cada capa colocada y compactada	Compactación del 95% la densidad seca máxima
Resistencia a la compresión de la mezcla a 7 días	I	ASTM D 1633	1 muestra cada 400 m ³ o una diaria	A partir de material muestreado en planta o en sitio	Cuadro 1

CUADRO 5. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA FUERA DE LOS LÍMITES DE TOLERANCIA

Propiedad o característica	Categoría	Método de prueba	Frecuencia	Puntos de muestreo	Rango de aceptación
Contenido de asfalto (porcentaje de peso de la mezcla)	I	AASHTO T-164	1 muestra cada 300 toneladas o una por día	En vagoneta o en planta	± 0,5% respecto al valor de diseño
Granulometría (Todos los tamices)	I	AASHTO T-30	1 muestra cada 300 toneladas o una por día	En vagoneta o en planta	Tolerancias de Cuadro 3 aplicadas a granulometría de diseño
Vacíos superpave	I	AASHTO TP4	1 muestra cada 300 toneladas o una por día	En vagoneta o en planta	3,0 a 5,0 %
Vacíos en núcleos	I	AASHTO T-166 y T-209	1 cada 160 toneladas o una por día	En sitio después de compactación	5,5± 2,5% en valor absoluto

Definidas las condiciones a seguir para la construcción y evaluación de los componentes de la estructura vial a construir, se procede a estudiar y comprender a fondo el sistema de evaluación del pago en función de la calidad establecido por el Ministerio de Obras Públicas y

Transportes (en adelante MOPT). Este es el fin primordial de la práctica para la empresa constructora, la cual analizará por primera vez mediante este método la calidad de sus construcciones, en proyectos de gran envergadura.

El método inicia con un estudio estadístico de las diferentes muestras tomadas para cada requisito a evaluar tanto de la mezcla asfáltica como de la base estabilizada (Cuadros 4 y 5). Se utiliza el método de desviación estándar para determinar el porcentaje de estas muestras que se encuentra fuera de las especificaciones establecidas. Por lo que se calcula el promedio del total de muestras mediante la fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

Ecuación 1. Promedio de resultados de muestras

Donde:

Σ = sumatoria de

x= valor individual de la muestra

n= número total de valores de muestras

Seguidamente se calcula la desviación estándar de las muestras reportadas mediante la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{n * \sum(x^2) - (\sum x)^2}{n * (n - 1)}}$$

Ecuación 2. Desviación estándar para conjunto de muestras

Donde:

$\Sigma(x^2)$ = sumatoria de los cuadrados de los valores individuales de las muestras

$\Sigma(x)^2$ = sumatoria de los valores individuales de las muestras al cuadrado

Luego del cálculo de la desviación estándar y los promedios de las pruebas realizadas a las muestras tomadas de la base estabilizada y mezcla asfáltica, se procede a calcular su calidad. El paso inicial consiste en el cálculo de los índices de calidad, ya sean superior en inferior, que permitirán el cálculo de la relación de los valores obtenidos con los límites de calidad. A continuación se muestran las ecuaciones para calcular el índice de calidad superior (Q_s) y el índice de calidad inferior (Q_i):

$$Q_s = \frac{LSE - \bar{X}}{S}$$

Ecuación 3. Índice de calidad superior

Donde:

LSE= límite superior de especificación (valor especificado más la desviación permisible)

$$Q_i = \frac{\bar{X} - LIE}{S}$$

Ecuación 4. Índice de calidad inferior

Donde:

LIE= límite inferior de especificación (valor especificado menos la desviación permisible)

Al determinar los valores de los índices de calidad, es posible obtener los porcentajes de incumplimiento en cada uno de los factores analizados. De igual forma que los índices existe un porcentaje de incumplimiento superior, que define el porcentaje fuera del límite superior de la especificación, y un porcentaje de incumplimiento inferior, que define el porcentaje fuera del límite inferior de la especificación. En ambos casos de no señalarse un límite superior o inferior, el porcentaje de incumplimientos será igual a cero.

Ambos valores se obtienen, relacionando el número de muestras (n), con los índices de calidad superior e inferior (Q_s, Q_i), conforme lo indica la tabla "Porcentajes Estimados de trabajo fuera de los límites de especificación", ANEXO 1.

Se debe tener claro que si alguno de los índices de calidad presenta valor negativo, se obtendrá un valor de porcentaje estimado de trabajo fuera de los límites provisional utilizando el valor absoluto del índice, es decir un valor positivo, con la implicación de que el valor fuera de los límites definitivo será la resta de 100 menos el valor provisional obtenido con el valor absoluto del índice.

El nivel de calidad total de la obra se determina realizando la suma del porcentaje de incumplimiento superior y el porcentaje de incumplimiento inferior.

$$NC = P_i + P_s$$

Ecuación 5. Nivel de calidad de la obra

Obtenidos los niveles de calidad para cada una de las características analizadas (granulometría, compactación, resistencia, vacíos, etc), se procede a escoger la menor de estas como el valor que definirá la calidad del

elemento en forma global. De esta manera a pesar de la existencia de características con calidad superior, la obra será pagada o castigada en su totalidad según el aspecto que posea la menor calidad.

Al tener el nivel de calidad de la obra se obtiene el factor de pago del período analizado según lo indica la tabla "Factor de pago por calidad" (FPQ), ANEXO 2, mediante la relación del número de pruebas (n), el nivel de calidad de la obra y la categoría del aspecto analizado.

Es importante tomar en cuenta que existen elementos de la carretera, en los cuales la compactación es un proceso esencial, en el cual se definen características de resistencia y durabilidad de la obra como lo es el caso de la mezcla asfáltica. Por tal motivo se definen dos maneras de establecer el pago en función de la calidad, una en la que se evalúa como aspecto individual la compactación y otra en la que no se evalúa como aspecto individual.

El primer método es utilizado generalmente en elementos como bases estabilizadas, en este el factor de pago obtenido para la característica de menor calidad, es utilizado como la descripción de la calidad del elemento en forma global y es el utilizado para calcular el precio de la construcción del lote, se calcula de la siguiente manera:

$$PAQ=CM*PU*FPQ$$

Ecuación 6. Pago en función de la calidad sin evaluar compactación

Donde:

PAQ= pago en función de la calidad

CM= lote aprobado, o cantidad evaluada en un período específico

PU= precio unitario del contrato por elemento de construcción

FPQ= factor de pago por calidad

El segundo método de cálculo es utilizado en elementos como la mezcla asfáltica, en la cual se obtienen muestras o núcleos de compactación, que formarán parte muy importante en la calidad de la obra y que tomarán un porcentaje del total de la calidad de la misma. Por ende se realiza una ponderación entre menor de los niveles de calidad de las diferentes características evaluadas, y el nivel de calidad de la compactación, tomando un 70% y 30%

respectivamente, utilizando el siguiente método de cálculo:

$$PAQ=0,7*CM*PU*FPQ$$

Ecuación 7. Pago en función de la calidad evaluando compactación, características generales

$$PAC=0,3*CM*PU*FPC$$

Ecuación 8. Pago en función de la calidad evaluando compactación, compactación

Donde:

PAC= pago en función de la calidad ajustado por compactación

FPC= factor de pago por compactación

Por último para determinar el pago total de la obra construida se utiliza la siguiente fórmula:

$$PT=PAQ+PAC$$

Ecuación 9. Pago total función de la calidad evaluando compactación

Debido a que el precio unitario de los elementos de la carretera construida, son uno de los factores primordiales en el concurso de licitación de obra pública, la empresa restringe su uso y conocimiento, por lo que en el caso de la práctica profesional se evaluará hasta obtener los factores de pago de la obra, lo que implicaría que el precio de la misma sería proporcional a estos permitiendo de esta forma evaluar la calidad en un intervalo desde 0 a 1, para cada uno de los elementos y la empresa tendrá a su disposición los mismos para estimar o calcular el pago recibido en la facturación del período analizado.

La evaluación de este método de carácter estadístico para la obra construida implica la creación de nuevas formas y protocolos de control por parte de la empresa, dando paso a la necesidad de una hoja electrónica programada, la cual debería cumplir con los procedimientos de pago en función de la calidad establecidos por el MOPT en el cartel de licitación y además satisfacer los requisitos de presentación manejo e introducción de datos definidos por los evaluadores del Consejo Nacional de Vialidad (en adelante CONAVI) y personal de ingeniería de la empresa, entre los cuales se encuentran el realizar un manejo mínimo de los datos, la presentación final mediante un resumen con un formato establecido por el CONAVI ANEXO 3, la

capacidad de lograr introducir un historial de datos y que el programa realizara el estudio estadístico del mismo sin modificación alguna por parte del usuario.

Con tales indicaciones se inicia el desarrollo de dos hojas electrónicas programadas mediante el programa Microsoft Office Excel. En estas se debió digitalizar las tablas del método de cálculo estadístico utilizado por el método de establecer las condiciones necesarias para desarrollar en el menor tiempo posible las estimaciones estadísticas para cada uno de los elementos a evaluar.

Es muy importante mencionar que tales hojas realizan la evaluación para cada uno de los subcomponentes de la base estabilizada y la mezcla asfáltica, entre los que se encuentran la granulometría y la compactación, lo que permite no solo evaluar la calidad del total de la obra, sino que también de cada uno de los aspectos involucrados en esta, lo que le da un carácter más amplio al trabajo, permitiendo hacer caracterizaciones individuales para diferentes elementos en diferentes fechas y lugares de colocación, brindando como ventaja la evaluación en tiempo real previendo posibles errores en los procedimientos constructivos o en los componentes de los mismos, sin tener que esperar a la evaluación y estimación de calidad mensual realizada por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

El proceso de programación de dichas hojas programadas comprende gran parte del tiempo de la práctica profesional, ya que conforme se hacían las diferentes evaluaciones, surgieron recomendaciones y complementos adicionales a incluir en estas, por lo que el trabajo presentó una evolución escalonada hasta llegar a los archivos definitivos utilizados tanto por la empresa constructora como por el Consejo Nacional de Vialidad.

Debido a la singularidad de funciones y condicionales que debían realizar las hojas programadas, estas fueron sometidas a prueba mediante bases de datos ficticias facilitadas por la empresa, con diferentes tipos de resultados, los cuales fueron calculados con las hojas electrónicas y luego verificados manualmente, con el fin de darle veracidad al comportamiento de las mismas, para así poder asignar la responsabilidad total de la evaluación a estas.

Luego de estudiadas las condiciones establecidas en el cartel para los requerimientos

de construcción de la base estabilizada con cemento portland y mezcla asfáltica superpave en caliente, y de la programación de las hojas electrónicas, se procede a recopilar en obra los diseños utilizados por la empresa para la construcción de la carretera y con estos se realiza una verificación de las condiciones iniciales de producción, las cuales deberán cumplir con lo solicitado en el cartel y eviten la obtención de divergencias en los resultados de calidad con respecto a lo establecido inicialmente.

Estos diseños se obtuvieron mediante las visitas al proyecto, tanto en el plantel como en la planta de asfalto de la empresa. Dichos valores fueron facilitados por el ingeniero residente del proyecto. Al obtener estos valores se establecen para la evaluación de calidad los límites y las incertidumbres de estos para el cálculo del factor de pago en función de la calidad de la obra.

Además durante el proceso de realización de las hojas programadas, se efectuaron visitas continuas al laboratorio de autoevaluación de la empresa constructora. En Ingeniería Técnica de Pavimentos S.A (ITP), se observó el proceso de dichas pruebas, realizadas a los materiales del proyecto, además de conocer a fondo el sistema de manejo de los mismos y lo requisitos que debe cumplir un laboratorio de tal naturaleza para participar en la evaluación de un proyecto de origen gubernamental. En este caso se comprobó la existencia de una acreditación de calidad, que además de ser unos de los requisitos principales para los candidatos a evaluación, permite mantener un control adecuado en todos los aspectos, tanto administrativos como prácticos, de los procedimientos y personal de trabajo.

Dicha experiencia permitió un acercamiento al personal de laboratorio que facilitaría los datos de evaluación en tiempo real, y a la forma de operar del mismo.

Preparadas las hojas electrónicas programadas y teniendo un conocimiento del manejo y obtención de los datos a utilizar en estas, la ejecución del trabajo se traslada al proyecto de construcción en su totalidad, realizando viajes continuos a la zona de trabajo que cuenta con jornadas de trabajo bisemanales.

En el sitio de construcción se obtienen directamente los datos de diseño y de calidad de los elementos característicos a evaluar, además de presentarse un involucramiento más profundo

con los procesos constructivos y la corroboración visual de la calidad y procesos constructivos practicados por la empresa, permitiendo no solo un conocimiento teórico del comportamiento de los materiales, sino también la oportunidad de ver la forma práctica en que estos se utilizan, y los muchos factores que pueden interferir en su calidad o capacidad de trabajo.

Esto sin tomar en cuenta la importancia que implica para un estudiante universitario el involucrarse en un proyecto real de tal magnitud y el participar en conjunto con profesionales interdisciplinarios y equipo de trabajo del proyecto, además de relacionarse con las formas de trabajo de la empresa y del mercado en general en lo que respecta a la construcción de infraestructura nacional más específicamente el sector de las carreteras.

Mediante la permanencia en el proyecto durante el resto de tiempo que comprendió la práctica se realizaron las evaluaciones de los respectivos meses, tanto para el uso oficial de MOPT como para el uso propio de la empresa mediante su ente autoevaluador, además de realizar las estimaciones en tiempo real de la calidad del material construido.

Con esto se obtienen para la empresa y el mismo Ministerio de Obras Públicas, el factor que define el pago o facturación de la base estabilizada y mezcla asfáltica utilizadas para la construcción y terminación de la ruta nacional #34. Además de la obtención de conclusiones acerca del método de trabajo de la empresa y la calidad de sus obras.

Por último se procedió a realizar estimaciones especiales con el fin de analizar las ventajas o posibles debilidades del método de evaluación de calidad. Esto debido al carácter estadístico del mismo, donde para distintos casos o comportamientos de los datos, puede ser beneficioso o perjudicial para la administración del proyecto, la presencia de una pequeña cantidad de datos, o la variación mínima entre ellos. Por lo que este a pesar de ser un aspecto fuera de lo solicitado por la empresa, permite otorgarle un valor agregado a la práctica profesional, donde no solo se limita al cálculo de factores de pago, sino que también a analizar el método utilizado para conseguir este objetivo.

Resultados

Como resultados iniciales, se presentan las descripciones de las hojas programadas encargadas de realizar los cálculos para obtener el factor que definirá el pago en función de la calidad de la obra construida. Al igual que lo mencionado anteriormente, son programadas dos hojas; una para la evaluación de la base estabilizada con cemento portland y otra para la evaluación de la mezcla asfáltica. En las siguientes figuras se presentan la página inicial o menú de ambas hojas programadas, lugar donde se escogen los elementos a evaluar, los límites de evaluación, entre otros factores.

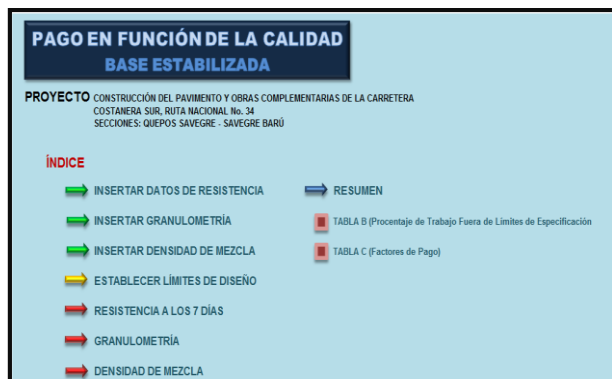


Figura 9. Índice, hoja programada evaluación de pago en función de la calidad para base estabilizada

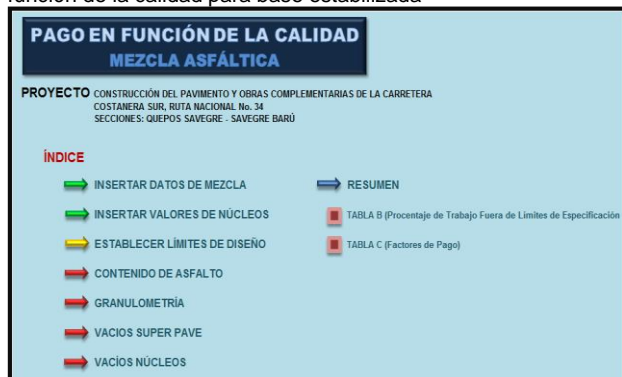


Figura 10. Índice, hoja programada evaluación de pago en función de la calidad para mezcla asfáltica

Ambas hojas programadas se encargan de realizar el cálculo de los factores de pago mediante la introducción de un historial de datos, en el cual el usuario señala el número de filas a contener y la hoja programada se encarga de establecer una tabla en la que se introducirán los datos de control de calidad para cada uno de los rubros a analizar y a los cuales se les realizará el estudio estadístico.

Promedio		100,00	97,67	82,50	72,33	42,67	26,33	17,67	12,50		
Desv Est		0,0000	1,5055	2,6646	2,8752	2,4221	1,8619	1,5055	1,2247		
Número de Datos		6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00		
NÚMERO DE FILAS DE TABLA		10									
		Imprimir Datos									
Fila	Nº Orden	Fecha	Mes	Malla 37,5 mm	Malla 25,0 mm	Malla 19,0 mm	Malla 9,5 mm	Malla Nº 4	Malla Nº 10	Malla Nº 40	Malla Nº 200
1	9-LOS-531-2001	28/06/2009	Julio	100	97	84	75	41	26	17	12
2	9-LOS-557-2001	03/07/2009	Julio	100	96	86	74	47	29	20	14
3	9-LOS-570-2001	04/07/2009	Julio	100	99	78	67	42	28	19	14
4	9-LOS-576-2001	05/07/2009	Julio	100	99	82	72	41	25	17	12
5	9-LOS-576-2001	07/07/2009	Julio	100	99	82	72	41	24	16	11
6	9-LOS-596-2001	08/07/2009	Julio	100	96	83	74	44	26	17	12
7											
8											
9											
10											

Figura 11. Tabla de introducción de datos de control de calidad, granulometría base estabilizada.

Antes de realizar la evaluación, deben ser introducidos los valores límites que definirán el cumplimiento o incumplimiento de calidad de cada aspecto a evaluar. La hoja programada posee inicialmente los valores establecidos tanto en cartel de licitación, como por la administración e inspección de la obra. Los mismos pueden ser modificados en la página de límites de la hoja programada, donde se encuentran tablas para cada rango a establecer, además de la posibilidad de modificar la categoría del factor a evaluar, esto con el fin de permitir la utilización de la hoja programada en proyectos de diferente naturaleza o forma de categorización, al proyecto original para el cual se creó.

En la siguiente figura se muestra la configuración de la página de límites descrita anteriormente, con los rangos utilizados para evaluar una base estabilizada con cemento portland.

Requisitos Base Estabilizada con Cemento Portland				
RESISTENCIA A LOS 7 DÍAS				
Tipo de Base Estabilizada	Resistencia Mínima Permisible (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Categoría
BE-25	25	30	7 días	I

DENSIDAD DE LA MEZCLA EN EL SITIO		
Densidad seca máxima (%)	Categoría	
95	I	

GRANULOMETRÍA			
Malla	Límite inferior	Límite Superior	Categoría
37,5 mm	100	100	II
25,0 mm	70	100	II
19,0 mm	60	90	II
9,5 mm	45	75	II
Nº 4	35	60	II
Nº10	25	50	II
Nº 40	10	30	II
Nº 200	5	15	II

MICROSOFT OFFICE EXCEL 2007

Figura 12. Página de límites, para evaluación de una base estabilizada con cemento portland

A continuación la hoja programada se encarga de realizar la obtención de cada uno de los factores de incumplimiento y de pago para cada uno de los elementos que conforman los dos principales rubros de evaluación, base y mezcla. Este procedimiento es realizado automáticamente, sin requerir la intervención del usuario de la misma.

Tales cálculos pueden ser consultados en la página de cada rubro analizado (figura 13), las cuales conforman en conjunto el medio para

escoger el valor del pago en función de la calidad definitiva.

Vacíos Núcleos		
Datos de Pruebas de Calidad		
Promedio Aritmético	4,81	%
Desviación Estándar	0,9423	
Número de Pruebas	22	
LSE	8	%
Índice de Calidad Superior (Qs)	3,39	
LIE	3	%
Índice de Calidad Inferior (Qi)	1,92	
Ps	2	%
Pi	0	%
Porcentaje defectuoso (Ps+Pi)	2	%

MICROSOFT OFFICE EXCEL 2007

Figura 13. Página de cálculo porcentaje de incumplimiento para los vacíos en núcleos de una mezcla asfáltica.

Luego del proceso de evaluación individual de cada rubro analizado, la hoja programada, realiza la escogencia del menor de estos y lo clasificará dependiendo si es un factor de compactación o no. Al haber realizado esta clasificación, se obtiene un factor ponderado final, que indicará el porcentaje de pago con respecto al valor unitario de producción tanto de la base como de la mezcla. Estos resultados deben ser presentados en un formato previamente establecido por la evaluación, por lo que se incluye un resultado final como resumen del proceso de todos los datos, como se presenta a continuación:

	RESULTADOS ENSAYOS									RESULTADOS COMPACTACIÓN
	Ensayos presentados	6								7
Mínimo de Ensayos	5	5								5
Parámetro	Resistencia a los 7 días	Malla 37,5 mm	Malla 25,0 mm	Malla 19,0 mm	Malla 9,5 mm	Malla Nº 4	Malla Nº 10	Malla Nº 40	Malla Nº 200	Densidad de Mezcla
Factor de Pago por Categoría	I	II	II	II	II	II	II	II	II	I
LSE	No posee límite superior	100	100	90	75	60	50	30	15	No posee límite superior
Diseño LIE	25	100	70	60	45	35	25	10	5	95
PROMEDIO	27,00	100,00	97,67	82,50	72,33	42,67	26,33	17,67	12,50	97,86
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)	1,4142	0,0000	1,5055	2,6646	2,8752	2,4221	1,8619	1,5055	1,2247	0,6901
ÍNDICE SUPERIOR DE CALIDAD (Qs)	No se calcula	0,00	1,55	2,81	0,93	7,15	12,71	8,19	2,04	No se calcula
ÍNDICE INFERIOR DE CALIDAD (Qi)	1,41	0,00	18,38	8,44	9,51	3,17	0,71	5,09	6,12	4,14
PORCENTAJE EST. FUERA LSE (Ps)	0	0	4	0	18	0	0	0	0	0
PORCENTAJE EST. FUERA LIE (Pi)	6	0	0	0	0	0	25	0	0	0
PORCENTAJE DE INCUMPLIMIENTO	6	0	4	0	18	0	25	0	0	0
FACTORES DE PAGO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MÁXIMO INCUMPLIMIENTO					25					0
MÍNIMO FACTOR DE PAGO					1,00					1,00
FACTOR DE PAGO PONDERADO					0,70					0,30
FACTOR DE PAGO A APLICAR AL ÍTEM					1,00					

MICROSOFT OFFICE EXCEL 2007

Figura 14. Hoja resumen de la evaluación del pago en función de la calidad para una base estabilizada

Las muestras tomadas para la base estabilizada y mezcla asfáltica, son estudiadas para la facturación mensual, por lo que la evaluación del pago en función de la calidad, se realiza con las muestras tomadas en cada mes a partir del mes de julio y hasta el mes de setiembre, en lo que respecta a la primera capa de mezcla asfáltica, los meses de junio, julio y agosto en lo que

respecta a base estabilizada con cemento portland. Destacando que el análisis de calidad de los meses julio y agosto se realizó en conjunto para la base estabilizada. A continuación se presentan los resultados mensuales de base estabilizada y mezcla asfáltica, con sus respectivas evaluaciones de factor de pago en función de la calidad.

CUADRO 6. RESULTADOS DE MUESTRAS DE GRANULOMETRÍA DE BASE ESTABILIZADA PARA JUNIO DEL 2009

Fila	Fecha	Malla 37.0 mm	Malla 25.0 mm	Malla 19.0 mm	Malla 9.5 mm	Malla Nº 4	Malla Nº 10	Malla Nº 40	Malla Nº200
1	22/05/2009	100	98	90	58	39	27	13	6,1
2	23/05/2009	100	97	84	56	37	25	12	5,7
3	10/06/2009	100	100	90	64	45	30	13	5,2
4	12/06/2009	100	99	88	67	49	33	13	5,1
5	16/06/2009	100	99	88	67	49	33	13	5,1
6	17/06/2009	100	94	84	65	49	35	17	7,1
7	18/06/2009	100	100	89	71	57	42	17	5,9
8	29/06/2009	100	99	82	60	42	28	10	5,1

Luego de la obtención de la granulometría de la base, se procede a la realización de pruebas de resistencia a los 7 días, a continuación se presentan los cuadros de resistencia:

CUADRO 7. RESULTADOS DE RESISTENCIA A 7 DÍAS PARA BASE

Fila	Fecha	Resistencia 7 días (kg/cm ²)
1	22/05/2009	31,46
2	22/05/2009	33,16
3	22/05/2009	33,16
4	22/05/2009	37,41
5	22/05/2009	31,46
6	27/05/2009	32,31
7	27/05/2009	35,71
8	27/05/2009	35,71
9	27/05/2009	36,56
10	27/05/2009	35,71
11	12/06/2009	39,97
12	12/06/2009	39,97
13	12/06/2009	39,97
14	16/06/2009	45,92
15	16/06/2009	50,17

16	16/06/2009	45,07
17	16/06/2009	52,72
18	16/06/2009	52,72
19	16/06/2009	51,02
20	17/06/2009	40,82
21	17/06/2009	43,37
22	17/06/2009	43,37
23	17/06/2009	38,27
24	17/06/2009	37,41
25	17/06/2009	38,27
26	12/06/2009	41,67
27	12/06/2009	40,82
28	12/06/2009	43,37
29	18/06/2009	35,71
30	18/06/2009	37,41
31	18/06/2009	36,56
32	19/06/2009	44,22
33	19/06/2009	44,22
34	19/06/2009	44,22
35	20/06/2009	32,31
36	20/06/2009	32,31
37	20/06/2009	31,46
38	22/06/2009	57,82
39	22/06/2009	58,67

40	22/06/2009	60,37
41	23/06/2009	35,71
42	23/06/2009	36,56
43	23/06/2009	36,56
44	23/06/2009	36,56
45	23/06/2009	36,56
46	23/06/2009	39,12
47	23/06/2009	36,56
48	23/06/2009	36,56
49	23/06/2009	52,72
50	26/06/2009	52,72
51	26/06/2009	49,32
52	26/06/2009	25,17
53	25/06/2009	25,26
54	25/06/2009	25,09
55	25/06/2009	40,82
56	27/06/2009	40,82
57	27/06/2009	39,12
58	27/06/2009	64,63
59	30/06/2009	64,63
60	30/06/2009	62,93
61	30/06/2009	39,12
62	30/06/2009	33,16
63	30/06/2009	33,16
64	30/06/2009	33,16
65	01/07/2009	35,71
66	01/07/2009	34,86
67	01/07/2009	27,21
68	01/07/2009	28,06
69	01/07/2009	26,36
70	01/07/2009	49,32
71	02/07/2009	50,17
72	02/07/2009	51,02
73	02/07/2009	39,97
74	03/07/2009	40,82
75	03/07/2009	39,97
76	03/07/2009	40,82
77	04/07/2009	44,22
78	04/07/2009	39,12
79	04/07/2009	44,22
80	07/07/2009	43,37

81	07/07/2009	42,52
82	07/07/2009	49,32
83	08/07/2009	48,47
84	08/07/2009	47,62
85	08/07/2009	34,86
86	08/07/2009	35,71
87	08/07/2009	35,71

De igual manera son tabulados los resultados de pruebas de compactación obtenidos durante el mes de julio:

CUADRO 8. RESULTADOS DE COMPACTACIÓN PARA BASE ESTABILIZADA JUNIO 2009		
Fila	Fecha	Compactación (%)
1	19/06/2009	97,5
2	19/06/2009	98,2
3	19/06/2009	97,9
4	19/06/2009	99,5
5	19/06/2009	99,5
6	19/06/2009	101,7
7	19/06/2009	102,7
8	19/06/2009	103,3
9	19/06/2009	96,6
10	19/06/2009	98,3
11	19/06/2009	97,4
12	19/06/2009	97,6
13	21/06/2009	97,1
14	21/06/2009	100
15	21/06/2009	96,9
16	21/06/2009	100
17	21/06/2009	96,7
18	21/06/2009	100
19	21/06/2009	97,5
20	24/06/2009	98,2
21	24/06/2009	97,3
22	24/06/2009	101,5
23	24/06/2009	100,3
24	24/06/2009	101,5
25	24/06/2009	100,3
26	24/06/2009	97,7

27	24/06/2009	97,3
28	24/06/2009	100,7
29	24/06/2009	100,7
30	24/06/2009	100,7
31	24/06/2009	97,5
32	24/06/2009	103,8
33	24/06/2009	102,6
34	24/06/2009	97,3
35	25/06/2009	97,3
36	25/06/2009	97,4
37	25/06/2009	98,6
38	25/06/2009	98,8
39	25/06/2009	100,1
40	25/06/2009	96,1
41	25/06/2009	96,7
42	25/06/2009	97,1
43	25/06/2009	105,2
44	25/06/2009	96,4
45	25/06/2009	99
46	25/06/2009	96,8
47	25/06/2009	102,6
48	25/06/2009	96,8
49	26/06/2009	97,4
50	26/06/2009	97,2
51	26/06/2009	98,8
52	26/06/2009	97,3
53	26/06/2009	98,3
54	26/06/2009	97,5
55	26/06/2009	97,6
56	26/06/2009	97,3
57	27/06/2009	97,6
58	27/06/2009	97,8
59	27/06/2009	99,3
60	27/06/2009	98,1
61	27/06/2009	98,2
62	27/06/2009	99,9
63	27/06/2009	98,3
64	27/06/2009	100,5
65	02/07/2009	101
66	02/07/2009	99,7
67	02/07/2009	97,7
68	02/07/2009	98
69	02/07/2009	97,9
70	02/07/2009	98,8

71	02/07/2009	97,3
72	02/07/2009	98,1
73	02/07/2009	98,5
74	02/07/2009	100,2
75	02/07/2009	98,1
76	02/07/2009	97,7
77	02/07/2009	100
78	02/07/2009	97,5
79	02/07/2009	98,4
80	02/07/2009	97,9
81	02/07/2009	100
82	02/07/2009	98,7
83	02/07/2009	98,2
84	02/07/2009	98,9
85	02/07/2009	100,1
86	03/07/2009	96,5
87	03/07/2009	96
88	03/07/2009	95,9
89	03/07/2009	98
90	03/07/2009	99,9
91	03/07/2009	97,6
92	03/07/2009	96,8
93	03/07/2009	98,1
94	03/07/2009	99,9
95	03/07/2009	100,4
96	03/07/2009	96,7
97	03/07/2009	97,7
98	03/07/2009	97,9
99	03/07/2009	98,2
100	03/07/2009	99,4
101	03/07/2009	98,3
102	04/07/2009	99,8
103	04/07/2009	98,7
104	04/07/2009	98,9
105	04/07/2009	99,8
106	04/07/2009	99,8
107	04/07/2009	99,6
108	04/07/2009	99,9
109	04/07/2009	101
110	04/07/2009	100,4
111	05/07/2009	98,8
112	05/07/2009	98,5
113	05/07/2009	98
114	05/07/2009	99,7

115	07/07/2009	97,9
116	07/07/2009	100
117	07/07/2009	98,5
118	07/07/2009	98,7
119	07/07/2009	101,6
120	07/07/2009	108,5
121	07/07/2009	102,7
122	07/07/2009	99,3
123	07/07/2009	99,8
124	07/07/2009	99,8
125	07/07/2009	97,6
126	07/07/2009	97,8
127	07/07/2009	99,3
128	07/07/2009	99,7
129	07/07/2009	100

Al obtenerse la totalidad de los datos requeridos para hacer la evaluación de calidad, se procede a establecer la primera obtención del Factor de Pago en Función de la Calidad utilizando las hojas programas y utilizando el formato sugerido por el CONAVI, el siguiente cuadro muestra el formato y los resultados obtenidos para junio del 2009:

CUADRO 9. RESUMEN EVALUACIÓN PAGO EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD BASE ESTABILIZADA PARA JUNIO 2009										
RESULTADOS ENSAYOS										RESULTADOS COMPACTACIÓN
Ensayos	87	8								129
Mínimo de Ensayos	5	5								5
Parámetro	Resistencia a los 7 días	Malla 37,5 mm	Malla 25,0 mm	Malla 19,0 mm	Malla 9,5 mm	Malla Nº 4	Malla Nº 10	Malla Nº 40	Malla Nº 200	Densidad de Mezcla
Categoría	I	II	II	II	II	II	II	II	II	I
LSE	No posee límite superior	100	100	90	75	60	50	30	15	No posee límite superior
Diseño										
LIE	25	100	70	60	45	35	25	10	5	95
\bar{X}	40,79	100,00	98,25	86,88	63,50	45,88	31,63	13,50	5,66	98,91
S	8,7382	0,0000	1,9821	3,0909	5,0990	6,4904	5,3968	2,3905	0,7050	1,9044
Qs	No se calcula	0,00	0,88	1,01	2,26	2,18	3,40	6,90	13,25	No se calcula
Qi	1,81	0,00	14,25	8,70	3,63	1,68	1,23	1,46	0,94	2,05
Ps	0	0	19	16	0	0	0	0	0	2
Pi	3	0	0	0	0	3	11	6	18	0
Pi+Ps	3	0	19	16	0	3	11	6	18	2
FP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Máx Pi+Ps	19									2
Mín FP	1,00									1,00
FPQ y FPC	0,70									0,30
FP ponderado	1,00									

De igual manera se realizan las respectivas pruebas para los meses de julio y agosto, esta vez en conjunto por lo que la evaluación de calidad de la obra construida en ambos meses es llevada a cabo en forma agrupada. En seguida se

presentan en el mismo orden que las del mes anterior, las tablas para granulometría, resistencia a los siete días y núcleos de compactación:

CUADRO 10. RESULTADOS DE MUESTRAS DE GRANULOMETRÍA DE BASE ESTABILIZADA PARA JULIO Y AGOSTO DEL 2009									
Fila	Fecha	Malla 37.0 mm	Malla 25.0 mm	Malla 19.0 mm	Malla 9.5 mm	Malla N° 4	Malla N° 10	Malla N° 40	Malla N°200
1	22/07/2009	100	100	90	66	48	32	12	7,1
2	22/07/2009	100	100	90	69	53	38	16	5,9
3	22/07/2009	100	100	90	67	47	32	15	7,1
4	31/08/2009	100	99	87	66	52	39	17	5,4
5	02/08/2009	100	100	89	66	52	38	16	6,8
6	04/08/2009	100	100	89	67	52	38	16	6,1
7	06/08/2009	100	98	90	70	55	41	17	5,1
8	06/08/2009	100	99	90	68	52	36	16	7,9
9	06/08/2009	100	99	86	67	52	39	17	5,4
10	11/08/2009	100	97	90	67	48	33	14	6,7
11	12/08/2009	100	98	84	55	41	30	14	5,6
12	13/08/2009	100	98	87	62	47	33	13	5,9
13	15/08/2009	100	100	90	73	54	34	12	6,6

CUADRO 11. RESULTADOS DE RESISTENCIA A 7 DÍAS PARA BASE ESTABILIZADA JULIO-AGOSTO		
Fila	Fecha	Resistencia 7 días (kg/cm ²)
1	10/07/2009	37,41
2	10/07/2009	34,86
3	10/07/2009	34,86
4	10/07/2009	25,51
5	10/07/2009	28,06
6	10/07/2009	26,36
7	15/07/2009	40,82
8	15/07/2009	39,12
9	15/07/2009	41,67
10	16/07/2009	30,61
11	16/07/2009	30,61
12	16/07/2009	28,91
13	18/07/2009	43,37
14	18/07/2009	43,37
15	18/07/2009	43,37
16	19/07/2009	54,42

17	19/07/2009	48,47
18	19/07/2009	46,77
19	21/07/2009	38,27
20	21/07/2009	38,27
21	21/07/2009	37,41
22	20/07/2009	47,62
23	20/07/2009	48,47
24	20/07/2009	54,42
25	29/07/2009	37,41
26	29/07/2009	36,56
27	29/07/2009	38,27
28	02/08/2009	39,97
29	02/08/2009	42,52
30	02/08/2009	40,82
31	02/08/2009	39,97
32	02/08/2009	42,52
33	02/08/2009	40,82
34	11/08/2009	32,31
35	11/08/2009	34,01
36	11/08/2009	32,31
37	13/08/2009	39,12
38	13/08/2009	39,97

39	13/08/2009	39,97
40	13/08/2009	47,62
41	13/08/2009	43,37
42	13/08/2009	46,77
43	14/08/2009	46,77
44	14/08/2009	44,22
45	14/08/2009	47,62
46	15/08/2009	41,67
47	15/08/2009	41,67
48	15/08/2009	42,52
49	16/08/2009	31,46
50	16/08/2009	31,46
51	16/08/2009	31,46
52	18/08/2009	33,16
53	18/08/2009	33,16
54	18/08/2009	33,16
55	20/08/2009	30,61
56	20/08/2009	31,46
57	20/08/2009	30,61
58	21/08/2009	30,61
59	21/08/2009	32,31
60	21/08/2009	32,31

21	16/07/2009	102,3
22	16/07/2009	99,8
23	16/07/2009	100,9
24	16/07/2009	103,5
25	16/07/2009	100,3
26	16/07/2009	101,1
27	16/07/2009	101
28	16/07/2009	99,7
29	16/07/2009	100,2
30	16/07/2009	100,4
31	17/07/2009	100,9
32	17/07/2009	101
33	17/07/2009	101
34	17/07/2009	100,3
35	17/07/2009	100,9
36	17/07/2009	101
37	17/07/2009	101
38	17/07/2009	100,3
39	17/07/2009	100,9
40	17/07/2009	106
41	17/07/2009	101
42	17/07/2009	98,9
43	17/07/2009	103,6
44	17/07/2009	97,5
45	18/07/2009	99,9
46	18/07/2009	101,2
47	18/07/2009	100,5
48	18/07/2009	99,4
49	18/07/2009	100
50	18/07/2009	99,5
51	18/07/2009	100,4
52	18/07/2009	100,3
53	18/07/2009	98,8
54	18/07/2009	98,3
55	18/07/2009	97,3
56	19/07/2009	99,5
57	19/07/2009	100,5
58	19/07/2009	99,5
59	19/07/2009	98
60	19/07/2009	99,8
61	19/07/2009	98,2
62	19/07/2009	99,9
63	19/07/2009	99,9
64	19/07/2009	99,1
65	20/07/2009	100,2
66	20/07/2009	100,7
67	20/07/2009	99,5
68	20/07/2009	99,7
69	20/07/2009	101,7

CUADRO 12. RESULTADOS DE COMPACTACIÓN PARA BASE ESTABILIZADA JULIO-AGOSTO 2009

Fila	Fecha	Compactación
1	14/07/2009	100
2	14/07/2009	104,9
3	14/07/2009	100,1
4	14/07/2009	100,9
5	14/07/2009	99,7
6	14/07/2009	98,4
7	14/07/2009	98
8	14/07/2009	97,8
9	15/07/2009	100,6
10	15/07/2009	103,5
11	15/07/2009	101,5
12	15/07/2009	101
13	15/07/2009	101,6
14	15/07/2009	99,3
15	15/07/2009	99,9
16	15/07/2009	100,9
17	15/07/2009	100
18	16/07/2009	103,5
19	16/07/2009	100,3
20	16/07/2009	101,1

70	20/07/2009	100
71	22/07/2009	100,5
72	22/07/2009	100,6
73	22/07/2009	100,7
74	22/07/2009	100,9
75	22/07/2009	100,5
76	22/07/2009	101,1
77	23/07/2009	100,2
78	23/07/2009	99,9
79	23/07/2009	100,7
80	30/07/2009	100,5
81	30/07/2009	102,1
82	30/07/2009	99,7
83	30/07/2009	99
84	30/07/2009	101,5
85	30/07/2009	99,2
86	30/07/2009	100,6
87	30/07/2009	100,6
88	30/07/2009	100,9
89	30/07/2009	99,5
90	30/07/2009	100,7
91	30/07/2009	98,7
92	31/07/2009	97,6
93	31/07/2009	101,9
94	31/07/2009	102,3
95	31/07/2009	100,3
96	31/07/2009	98,2
97	31/07/2009	100,3
98	02/08/2009	97,4
99	02/08/2009	100,9
100	02/08/2009	97,2
101	02/08/2009	98,3
102	02/08/2009	98,5
103	02/08/2009	95,2
104	02/08/2009	96
105	02/08/2009	96,5
106	02/08/2009	95,2
107	02/08/2009	96,7
108	02/08/2009	97,9
109	06/08/2009	97,2
110	06/08/2009	102
111	06/08/2009	96,3
112	06/08/2009	96,5
113	06/08/2009	98,2
114	06/08/2009	98
115	06/08/2009	97,5
116	06/08/2009	98,8
117	06/08/2009	97,7

118	06/08/2009	97,8
119	06/08/2009	98,7
120	06/08/2009	97,5
121	12/08/2009	99,2
122	12/08/2009	100
123	12/08/2009	99,2
124	12/08/2009	97,7
125	12/08/2009	97
126	12/08/2009	99,7
127	12/08/2009	98,4
128	12/08/2009	99
129	12/08/2009	100
130	12/08/2009	98,1
131	12/08/2009	99,8
132	12/08/2009	98,3
133	12/08/2009	98,7
134	12/08/2009	97,8
135	12/08/2009	100,3
136	12/08/2009	101,8
137	12/08/2009	98,7
138	13/08/2009	101,3
139	13/08/2009	101,1
140	13/08/2009	97,8
141	13/08/2009	100,4
142	13/08/2009	99,5
143	13/08/2009	102,1
144	16/08/2009	98,1
145	16/08/2009	98,3
146	16/08/2009	98,4
147	16/08/2009	95,8
148	16/08/2009	97,7
149	16/08/2009	96,8
150	16/08/2009	96,6
151	16/08/2009	95,1
152	16/08/2009	98,3
153	18/08/2009	98,2
154	18/08/2009	96,3
155	18/08/2009	100,6
156	18/08/2009	101,1
157	18/08/2009	100,3
158	18/08/2009	98,8
159	18/08/2009	98,3
160	18/08/2009	98,7
161	18/08/2009	97,6
162	18/08/2009	98,4
163	18/08/2009	97,3
164	18/08/2009	98
165	14/08/2009	99,5

166	14/08/2009	99,8
167	14/08/2009	99,6
168	14/08/2009	99,9
169	14/08/2009	98
170	14/08/2009	98
171	14/08/2009	98,1
172	14/08/2009	99,1
173	14/08/2009	97,6
174	14/08/2009	97,7
175	14/08/2009	98,8
176	19/08/2009	98,8
177	19/08/2009	97,4
178	19/08/2009	96,9
179	19/08/2009	97,3
180	19/08/2009	96,9
181	19/08/2009	97,3
182	19/08/2009	96,9
183	22/08/2009	99,8
184	22/08/2009	97,8
185	22/08/2009	98,2
186	22/08/2009	98,5
187	22/08/2009	96,8
188	22/08/2009	97,4

Antes de realizar la evaluación de calidad se deben establecer los límites que indicarán los intervalos de cumplimientos de los aspectos analizados, estos se encuentran determinados en el cartel de licitación y especificaciones especiales:

CUADRO 13. LÍMITES DE EVALUACIÓN RESISTENCIA A 7 DÍAS			
Tipo de Base Estabilizada	Resistencia Mínima Permisible (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)	Categoría
BE-25	25	30	I

CUADRO 14. LÍMITES DE EVALUACIÓN NÚCLEOS	
% Compactación Mínimo	Categoría
95	I

CUADRO 15. LÍMITES DE EVALUACIÓN GRANULOMETRÍA			
Malla	Límite inferior	Límite Superior	Categoría
37,5 mm	100	100	II
25,0 mm	70	100	II
19,0 mm	60	90	II
9,5 mm	45	75	II
Nº 4	35	60	II
Nº10	25	50	II
Nº 40	10	30	II
Nº 200	5	15	II

Al poseer los resultados del análisis de la muestras tomadas y los núcleos de compactación se procede a realizar la estimación de los factores de pago en función de la calidad para la

base estabilizada en los meses de julio y agosto de 2009, por consiguiente se presenta la tabla resumen que especifica cada uno de los resultados evaluados:

CUADRO 16. RESUMEN EVALUACIÓN PAGO EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD BASE ESTABILIZADA PARA JULIO Y AGOSTO 2009										
RESULTADOS ENSAYOS										RESULTADOS COMPACTACIÓN
Ensayos	60	13								188
Mínimo de Ensayos	5	5								5
Parámetro	Resistencia a los 7 días	Malla 37,5 mm	Malla 25,0 mm	Malla 19,0 mm	Malla 9,5 mm	Malla Nº 4	Malla Nº 10	Malla Nº 40	Malla Nº 200	Densidad de Mezcla
Categoría	I	II	II	II	II	II	II	II	II	I
LSE	No posee límite superior	100	100	90	75	60	50	30	15	No posee límite superior
Diseño										
LIE	25	100	70	60	45	35	25	10	5	95
\bar{X}	38,39	100,00	99,08	88,62	66,38	50,23	35,62	15,00	6,28	99,38
S	6,7771	0,0000	1,0377	1,9807	4,2532	3,8331	3,4530	1,8257	0,8288	1,7974
Qs	No se calcula	0,00	0,89	0,70	2,03	2,55	4,16	8,22	10,52	No se calcula
Qi	1,98	0,00	28,02	14,45	5,03	3,97	3,08	2,74	1,54	2,44
Ps	0	0	19	24	1	0	0	0	0	1
Pi	2	0	0	0	0	0	0	0	6	0
Pi+Ps	2	0	19	24	1	0	0	0	6	1
FP	1	1	1	0,99	1	1	1	1	1	1
Máx Pi+Ps	24									1
Mín FP	0,99									1,00
FPQ y FPC	0,69									0,30
FP ponderado	0,99									

Al finalizar la evaluación de la base estabilizada, se inicia la toma de muestras para la evaluación de la mezcla asfáltica, a continuación se presentan los datos de pruebas realizadas durante los meses de julio, agosto y setiembre de 2009, intervalo de tiempo en el cual se colocó la totalidad de la primera capa del pavimento

asfáltico, en este caso el método de prueba y toma de muestras permite agrupar de una manera más sencilla los datos, por lo que se agrupan en una única tabla y se ordenan mensualmente las mismas características, hasta realizar la evaluación presentada al final de los datos de campo:

CUADRO 17. RESULTADOS DE MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁTICA PARA JULIO DEL 2009													
Fila	Fecha	Cont asfalto	Vacios Superpave	Malla 25.0 mm	Malla 19.0	Malla 12.7	Malla 9.5	Malla Nº 4	Malla Nº 8	Malla Nº 16	Malla Nº 30	Malla Nº 50	Malla Nº 200
1	03/07/2009	6,87	3,6	100	96	86	74	47	29	20	14	11	7,1
2	04/07/2009	6,18	3,5	100	99	78	67	42	28	19	14	10	5
3	05/07/2009	6,04	3,3	100	99	82	72	41	25	17	12	9	5,3
4	07/07/2009	6,41	3,3	100	99	82	72	41	24	16	11	8	5,1
5	08/07/2009	6,69	3,5	100	96	83	74	44	26	17	12	9	5,4
6	10/07/2009	6,33	4	100	97	83	75	44	27	18	13	10	6
7	14/07/2009	6,53	2,4	100	96	85	77	47	28	19	13	10	6,4
8	15/07/2009	6,74	3,1	100	97	83	74	46	28	18	13	10	5,9
9	15/07/2009	6,26	2,9	100	95	81	71	43	27	18	13	10	5,8
10	16/07/2009	6,25	2,4	100	95	81	73	43	27	18	13	10	5,8
11	18/07/2009	6,17	3,5	100	96	83	74	45	28	18	10	10	6,2
12	21/07/2009	6,40	3,6	100	99	87	78	47	29	19	13	10	6,2
13	22/07/2009	5,90	3,7	100	99	87	77	47	28	19	13	10	5,8
14	26/07/2009	6,16	4,6	100	97	84	75	41	26	17	12	9	5

**CUADRO 18. RESULTADOS DE MUESTRAS DE
MEZCLA ASFÁTICA PARA AGOSTO DEL 2009**

Fila	Fecha	Conto asfalto	Vacios Superpave	Malla 25.0 mm	Malla 19.0 mm	Malla 12.7	Malla 9.5 mm	Malla Nº 4	Malla Nº 8	Malla Nº 16	Malla Nº 30	Malla Nº 50	Malla Nº 200
1	13/08/2009	5,89	5	100	97	82	74	45	27	17	12	9	5,4
2	14/08/2009	5,64	4,7	100	93	78	70	44	27	17	12	9	5,7
3	15/08/2009	5,71	3,5	100	96	80	73	44	27	17	12	9	5,5
4	16/08/2009	6	3,8	100	96	80	71	45	27	17	12	9	5,7
5	16/08/2009	6,06	4,1	100	97	84	76	49	30	19	13	10	5,8
6	17/08/2009	5,6	3,9	100	96	80	71	46	28	18	13	10	5,7
7	18/08/2009	5,86	4,5	100	98	82	72	46	29	16	13	10	6,3
8	18/08/2009	6,04	3,6	100	96	84	75	48	29	19	13	10	6,6
9	19/08/2009	5,81	3,4	100	96	81	72	45	28	18	13	10	7,5
10	20/08/2009	5,52	4,3	100	93	80	69	43	26	17	12	9	4,8
11	20/08/2009	5,9	4,3	100	94	79	70	43	24	15	10	8	4,5
12	21/08/2009	5,56	3,4	100	97	81	71	43	28	18	13	10	6,6
13	21/08/2009	5,89	3,3	100	95	81	71	44	28	19	13	10	6,2
14	22/08/2009	6,05	3,2	100	96	82	74	46	29	19	13	10	6
15	22/08/2009	5,76	4,3	100	96	83	71	42	28	19	13	10	4,8
16	23/08/2009	5,88	3,6	100	94	83	71	43	28	19	15	10	4,5
17	24/08/2009	5,83	4,2	100	94	85	71	42	28	19	13	9	4,6
18	25/08/2009	5,42	3,8	100	94	79	69	42	26	17	12	9	5,2
19	26/08/2009	6,14	3,1	100	95	83	74	48	30	19	13	10	5,8
20	26/08/2009	6,03	3	100	97	86	74	45	28	19	13	10	6,4
21	27/08/2009	5,81	3,5	100	95	78	67	42	27	18	13	10	6,4
22	28/08/2009	5,88	3,4	100	94	80	70	43	27	18	12	10	6,3
23	29/08/2009	5,93	3,6	100	92	79	69	44	27	16	12	9	5,5
24	30/08/2009	6,12	3,4	100	96	82	73	46	28	18	13	10	5,9
25	31/08/2009	5,94	3,4	100	93	82	69	43	26	17	11	9	5
26	31/08/2009	5,32	4,6	100	91	78	68	42	28	20	15	11	6,8

**CUADRO 19. RESULTADOS DE MUESTRAS DE
MEZCLA ASFÁTICA PARA SETIEMBRE DEL 2009**

Fila	Fecha	Cont asfalto	Vacios Superpave	Malla 25.0 mm	Malla 19.0 mm	Malla 12.7 mm	Malla 9.5 mm	Malla Nº 4	Malla Nº 8	Malla Nº 16	Malla Nº 30	Malla Nº 50	Malla Nº 200
1	02/09/2009	6,09	3,4	100	92	80	72	50	32	20	13	10	5,7
2	02/09/2009	5,95	3,4	100	95	78	67	42	27	17	12	9	6
3	03/09/2009	5,77	3,8	100	93	80	69	43	27	18	12	9	5,7
4	03/09/2009	6,12	3,2	100	95	82	73	44	27	17	12	9	4,8
5	04/09/2009	5,8	3,6	100	96	83	74	47	29	20	14	11	7,1
6	09/09/2009	6,03	3,7	100	96	84	76	48	28	18	13	10	6,2
7	10/09/2009	6,3	3,6	100	98	88	78	48	29	18	13	10	6,4
8	11/09/2009	5,82	4,8	100	92	77	67	40	25	17	12	9	5,7
9	12/09/2009	6,03	4,2	100	95	81	71	44	27	18	13	10	6
10	13/09/2009	6,17	4,3	100	92	78	71	45	28	18	13	10	6,2

Debido a que en la mezcla asfáltica debe ser analizada la compactación para calcular la calidad de la misma en forma individual, se extraen muestras o núcleos de compactación, por aparte de las muestras de granulometría, vacíos y contenido de asfalto, estas muestras son mostradas en los siguientes cuadros.

CUADRO 20. MUESTRAS DE NÚCLEOS DE COMPACTACIÓN PARA JULIO 2009		
Fila	Fecha	Vacíos en campo
1	18/07/09	5,78
2	18/07/09	3,97
3	18/07/09	4,81
4	18/07/09	4,88
5	18/07/09	4,67
6	18/07/09	5,61
7	18/07/09	3,49
8	18/07/09	5,46
9	18/07/09	3,87
10	18/07/09	5,56
11	18/07/09	3,74
12	18/07/09	4,54
13	18/07/09	5,51
14	18/07/09	5,74
15	18/07/09	3,84
16	18/07/09	3,01
17	18/07/09	4,92
18	18/07/09	5,80
19	18/07/09	4,35
20	18/07/09	4,11
21	18/07/09	7,58
22	18/07/09	5,08

CUADRO 21. MUESTRAS DE NÚCLEOS DE COMPACTACIÓN PARA AGOSTO 2009		
Fila	Fecha	Vacíos en campo
1	18/08/2009	5,78
2	18/08/2009	3,97
3	18/08/2009	4,81
4	18/08/2009	4,88
5	20/08/2009	4,67
6	20/08/2009	5,61
7	22/08/2009	3,49
8	23/08/2009	5,46
9	23/08/2009	3,87
10	24/08/2009	5,56
11	25/08/2009	3,74
12	25/08/2009	4,54
13	26/08/2009	5,51
14	26/08/2009	5,74
15	26/08/2009	3,84
16	27/08/2009	3,01
17	27/08/2009	4,92
18	28/08/2009	5,80
19	28/08/2009	4,35
20	29/08/2009	4,11
21	29/08/2009	7,58
22	29/08/2009	5,08
23	29/08/2009	5,48
24	30/08/2009	5,18
25	30/08/2009	4,91
26	30/08/2009	5,11
27	31/08/2009	5,51
28	31/08/2009	6,80
29	31/08/2009	3,83
30	31/08/2009	4,88

CUADRO 22. MUESTRAS DE NÚCLEOS DE COMPACTACIÓN PARA SETIEMBRE 2009

Fila	Fecha	Vacíos en campo
1	01/09/2009	6,90
2	01/09/2009	5,43
3	01/09/2009	3,51
4	02/09/2009	2,80
5	02/09/2009	5,30
6	02/09/2009	2,70
7	03/09/2009	5,20
8	03/09/2009	6,40
9	03/09/2009	5,10
10	04/09/2009	5,60
11	08/09/2009	6,70
12	08/09/2009	4,30
13	09/09/2009	6,60
14	09/09/2009	4,80

CUADRO 23. LÍMITES DE EVALUACIÓN CONTENIDO DE ASFALTO

Diseño	Límite Superior	Límite Inferior	Categoría
4,00	3,00	5,00	I

CUADRO 24. LÍMITES DE EVALUACIÓN VACÍOS SUPERPAVE

Diseño	Tolerancia	Límite Superior	Límite Inferior	Categoría
6,05	± 0,5	6,55	5,55	I

CUADRO 25. LÍMITES DE EVALUACIÓN VACÍOS EN NÚCLEOS

Diseño	Tolerancia	Límite Superior	Límite Inferior	Categoría
5,5	± 2,5	3,00	8,00	I

Luego de obtenidos los datos de muestras de la mezcla asfáltica se establecen los límites de evaluación de calidad, los cuales se encuentran completamente ligados al diseño de mezcla realizado, junto con las tolerancias definidas por la administración, por tanto se muestran los cálculos para obtener dichos límites:

CUADRO 26. LÍMITES DE EVALUACIÓN GRANULOMETRÍA

Malla	Diseño	Tolerancia	LIE	LSE	Categoría
25,0 mm	100	± 5	100	100	I
19,0 mm	96	± 5	91	100	I
12,7 mm	82	± 5	77	87	I
9,5 mm	72	± 5	67	77	I
Nº 4	46	± 4	42	50	I
Nº 8	29	± 4	25	33	I
Nº 16	20	± 4	16	22	I
Nº 30	14	± 4	10	17	I
Nº 50	10	± 4	6	14	I
Nº 200	5,6	± 2	3,6	7,6	I

Al poseer los resultados del análisis de la muestras tomadas y los núcleos de compactación se procede a realizar la estimación de los factores de pago en función de la calidad para la

mezcla asfáltica en los respectivos meses de producción, por consiguiente se presentan las tablas resumen que especifican cada uno de los resultados evaluados:

CUADRO 27. RESUMEN EVALUACIÓN PAGO EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD MEZCLA ASFÁLTICA PARA JULIO 2009													
Resultados Ensayos Generales													Resultados Compactación
Ensayos	14	14	14										22
Mínimo de Ensayos	5		5										5
Parámetro	Contenido de Asfalto	Vacíos Superpave	Malla 25 mm	Malla 19 mm	Malla 12,7 mm	Malla 9,5 mm	Malla Nº 4	Malla Nº 8	Malla Nº 16	Malla Nº 30	Malla Nº 50	Malla Nº 200	Vacíos Núcleos
Categoría													
LSE	6,3	5,00	100	100	87	77	50	33	22	17	14	7,6	8
Diseño	5,8	4,00	100	96	82	72	46	29	20	14	10	5,6	5,5
LIE	5,3	3,00	100	91	77	67	42	25	16	10	6	3,6	3
\bar{X}	6,35	3,39	100,00	97,14	83,21	73,79	44,14	27,14	18,07	12,57	9,71	5,79	4,83
S	0,2761	0,5789	0,0000	1,5619	2,4862	2,8060	2,3812	1,4601	1,0716	1,0894	0,7263	0,5947	1,0259
Qs	-0,18	2,78	0,00	1,83	1,52	1,14	2,46	4,01	3,67	4,07	5,91	3,04	3,09
Qi	3,80	0,67	0,00	3,93	2,50	2,42	0,90	1,47	1,93	2,36	5,11	3,68	1,78
Ps	43	0	0	3	6	13	0	0	0	0	0	0	3
Pi	0	25	0	0	0	0	19	7	2	0	0	0	0
Pi+Ps	43	25	0	3	6	13	19	7	2	0	0	0	3
FP	0,79	0,93	1	1	1	1	0,97	1	1	1	1	1	1
Máx Pi+Ps	43												3
Mín FP	0,79												1,00
FPQ y FPC	0,55												0,30
FP ponderado	0,85												

CUADRO 28. RESUMEN EVALUACIÓN PAGO EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD MEZCLA ASFÁLTICA PARA AGOSTO 2009

Resultados Ensayos Generales													Resultados Compactación
Ensayos	26	26	26										30
Mínimo de Ensayos	5		5										5
Parámetro	Contenido de Asfalto	Vacios Superpave	Malla 25 mm	Malla 19 mm	Malla 12,7 mm	Malla 9,5 mm	Malla Nº 4	Malla Nº 8	Malla Nº 16	Malla Nº 30	Malla Nº 50	Malla Nº 200	Vacios Núcleos
Categoría	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
LSE	6,3	5,00	100	100	87	77	50	33	22	17	14	7,6	8
Diseño	5,8	4,00	100	96	82	72	46	29	20	14	10	5,6	5,5
LIE	5,3	3,00	100	91	77	67	42	25	16	10	6	3,6	3
\bar{X}	5,83	3,80	100,00	95,04	81,23	71,35	44,35	27,62	17,88	12,65	9,62	5,75	4,93
S	0,2136	0,5378	0,0000	1,7316	2,1782	2,2617	1,9988	1,2985	1,2108	1,0175	0,6373	0,7675	0,9783
Qs	2,20	2,23	0,00	2,86	2,65	2,50	2,83	4,14	3,40	4,28	6,87	2,41	3,14
Qi	2,48	1,49	0,00	2,33	1,94	1,92	1,18	2,02	1,55	2,60	5,68	2,80	1,97
Ps	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Pi	0	7	0	1	2	2	12	2	6	0	0	0	0
Pi+Ps	1	8	0	1	2	2	12	2	6	0	0	1	2
FP	1	1	1	1	1	1	0,99	1	1	1	1	1	1
Máx Pi+Ps	12												2
Mín FP	0,99												1,00
FPQ y FPC	0,69												0,30
FP ponderado	0,99												

CUADRO 29. RESUMEN EVALUACIÓN PAGO EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD MEZCLA ASFÁLTICA PARA SETIEMBRE 2009

Resultados Ensayos Generales													Resultados Compactación
Ensayos	10	10	10										14
Mínimo de Ensayos	5		5										5
Parámetro	Contenido de Asfalto	Vacios Superpave	Malla 25 mm	Malla 19 mm	Malla 12,7 mm	Malla 9,5 mm	Malla Nº 4	Malla Nº 8	Malla Nº 16	Malla Nº 30	Malla Nº 50	Malla Nº 200	Vacios Núcleos
Categoría	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
LSE	6,3	5,00	100	100	87	77	50	33	22	17	14	7,6	8
Diseño	5,8	4,00	100	96	82	72	46	29	20	14	10	5,6	5,5
LIE	5,3	3,00	100	91	77	67	42	25	16	10	6	3,6	3
\bar{X}	6,01	3,80	100,00	94,40	81,10	71,80	45,10	27,90	18,10	12,70	9,70	5,98	5,1
S	0,1733	0,4922	0,0000	2,0656	3,3149	3,6148	3,1073	1,8529	1,1005	0,6749	0,6749	0,5922	1,3716
Qs	1,67	2,44	0,00	2,71	1,78	1,44	1,58	2,75	3,54	6,37	6,37	2,74	2,11
Qi	4,10	1,63	0,00	1,65	1,24	1,33	1,00	1,57	1,91	4,00	5,48	4,02	1,53
Ps	4	0	0	0	3	7	5	0	0	0	0	0	6
Pi	0	4	0	4	10	9	16	5	2	0	0	0	1
Pi+Ps	4	4	0	4	13	16	21	5	2	0	0	0	7
FP	1	1	1	1	1	0,99	0,97	1	1	1	1	1	1
Máx Pi+Ps	21												7
Mín FP	0,97												1,00
FPQ y FPC	0,68												0,30
FP ponderado	0,98												

Análisis de los Resultados

Resulta de vital importancia el señalar que el contar con una herramienta versátil para el análisis de datos permite realizar variaciones y estimaciones las cuales no se podrían hacer o significarían el uso de mayores recursos si se realizaran con medios ineficientes o hasta el momento discontinuados. La programación de una hoja de Microsoft Office Excel, para la realización de un procedimiento de evaluación estadístico, implicaba inicialmente la realización de cálculos matemáticos y la formación de procedimientos que otorgaran un resultado en específico al que se está acostumbrado.

Pero durante su desarrollo, se plantean nuevas opciones de uso, complementos y herramientas, que solo el personal de ingeniería conoce como necesidad inmediata. Este detalle generalmente no es tomado en cuenta en la realización de programas rápidos, desarrollados por expertos en el tema de programación, en la mayoría de los casos con poco o nulo conocimiento de ingeniería.

Por lo tanto la hoja programada se ve modificada durante la realización de la práctica profesional, debido a la integración de nuevas necesidades, tanto de procesos matemáticos, como gráficos y de comodidad para el usuario, las cuales como se mencionó anteriormente, solo hubieran sido integradas con la participación de personal con conocimiento de ingeniería, que permitiera su uso y modificación para diferentes tipos de evaluación límites y obras, de aquí se resalta la importancia del desarrollo de este programa por parte de un estudiante de ingeniería y el impacto que esta tiene sobre la empresa que la utiliza.

Con respecto a los resultados obtenidos por esta herramienta, se deben separar en dos grandes grupos de análisis como lo son los resultados de base estabilizada y los de mezcla asfáltica. De ambos se obtienen los datos de evaluación periódica que establece la administración, la cual en principio se encontraba

establecida para un cálculo mensual, pero como se observará más adelante, esta puede variar debido a los requisitos de la evaluación estadística. Además buscando profundizar y analizar a fondo el método de evaluación, se realizan los cálculos para la evaluación mínima de pruebas establecidas por el reglamento, con el fin de observar el comportamiento del método de evaluación ante la variación de cantidad de pruebas.

Base Estabilizada

Por tanto se inicia con el análisis de los resultados de evaluación de la base estabilizada con cemento portland. En el caso de la primera evaluación, esta corresponde al mes de junio del 2009, tanto en el cuadro 6 como en el 7, se aprecia la existencia de muestreos, realizados en el mes de mayo, estos no se evalúan en tal mes debido a que la granulometría obtenida en mayo no cumple con el mínimo de 5 pruebas establecidas en el cartel de licitación, por lo que se evalúan en conjunto con las muestras del mes de junio.

En el cuadro 9 o cuadro resumen de la evaluación del mes de junio, se analizan cada uno de los siguientes factores: resistencia a los 7 días, granulometría y compactación de la base estabilizada. El primero de estos obtiene un factor de pago de 1, el cual será utilizado para escoger el factor de menor cumplimiento de la obra en forma global. Con respecto a los datos de resistencia mostrados en el cuadro 7, estos obtuvieron un promedio ponderado muy por encima de los límites establecidos en el cuadro 13 de límites de resistencia y además presentaron una desviación estándar con valores superiores la unidad, en este caso 8,7382, lo que implica que estos poseen valores muy variables de resistencia a lo largo del tiempo de evaluación, desde un mínimo valor obtenido de 25,09 kg/cm² hasta un máximo de 64,63 kg/cm², tomando una

tendencia a la superioridad por 10 o más unidades al valor mínimo requerido de 25 kg/cm².

Tales resultados son justificados mediante las observaciones del proceso constructivo y de planeación de la obra, ya que se establece en el cartel de licitación la utilización de una base estabilizada con cemento portland, con la intención de prever o esperar la utilización del agregado más económico posible a conseguir en la zona y de baja calidad, que no cumpliera con los requisitos de resistencia. Pero en las extracciones de agregado realizadas al Río Naranjo por parte de la empresa, se presentaron agregados de una capacidad suficiente para alcanzar la resistencia requerida, lo que posibilita que en conjunto con la estabilización, la mayor parte de la estructura de base superara los límites de calidad preestablecidos.

En lo que respecta a la granulometría de la base, el cuadro resumen, indica factores de pago de 1 para todas las mallas, no obstante esto no indica un cumplimiento estricto de todas, ya que como se muestra en el cuadro 9, en el caso específico de las mallas 25 mm y N°200, los índices de calidad presentan un incremento en el superior en la primera y en el inferior en la segunda. Esto implica que en la malla 25 mm los valores tuvieron una tendencia marcada a acercarse a su límite superior, mostrado en el cuadro 15, rondando en la mayoría valores de 90 % pasando, caso contrario en la malla N°200, donde el aumento en el índice de calidad superior, muestra que los valores registrados tuvieron una clara tendencia a acercarse al límite menor, rondando valores entre 5 y 7 por ciento pasando la malla. A pesar de esto, los porcentajes fuera de los límites, Pi y Ps, no alcanzaron un valor significativo que implicara un castigo para este factor, que generalmente ronda 20 % para iniciar a descontar valor a la obra.

Por último para este mes de evaluación, la compactación de la base estabilizada, entrega un valor de 1, el cual puede ser verificado observando el promedio de datos de compactación obtenido, 98,91%, que supera al valor mínimo de 95% requerido por la administración.

De estos se obtiene que el aspecto con mayor incumplimiento es la malla de 25 mm, por la cual tiene a pasar más material granular del que se espera en promedio, luego de esto se realiza la ponderación entre el factor de compactación y el mínimo de los resultados

generales, ambos con factores de pago de 1, por lo que la totalidad de la mezcla construida en junio es pagada a la empresa en el valor establecido en la tabla de precios unitarios y los respectivos ajustes a esta entregados por la empresa al MOPT.

Seguidamente se procede a la evaluación de las muestras obtenidas para la base estabilizada construida en los meses de julio y agosto, nuevamente considerando dos meses debido a realización de únicamente 3 ensayos de granulometría en el mes de julio, como se muestra en el cuadro 10. Estas muestras son evaluadas por los mismos factores analizados anteriormente y los cuales son presentados en el cuadro 16, de su respectivo resumen.

Manteniendo el orden, se analizan los datos de resistencia a los 7 días, donde se muestra que para el mes de julio, la resistencia promedio disminuyó considerablemente con respecto al mes de producción anterior, entregando un valor de 38,39 kg/cm², pero manteniendo la tendencia a mostrar una gran variación con una desviación estándar de 6,7771, lo que puede ser verificado en el cuadro 11, con un valor mínimo de 25,51 kg/cm² y un máximo de 54,42 kg/cm².

La tendencia a disminuir la resistencia de la base en el mes analizado, se justifica nuevamente mediante la observación del trabajo en campo, donde a raíz de la obtención de capacidades con casi 3 veces la mínima requerida en el mes anterior, se procedió a disminuir la dosificación del cemento, que reduciría la resistencia, manteniéndola dentro de los límites establecidos, con una clara disminución de los costos de construcción.

A diferencia del mes de junio, la granulometría de la base estabilizada de este período presenta deficiencias marcadas, principalmente en la malla 19,0 mm. En tal malla se calcula un promedio de porcentaje pasando de 88,62%, el cual se encuentra muy cerca de su límite superior de 90%, especificado en el cuadro 15 y corroborado en el cuadro 10 de muestras de granulometría donde se aprecia un valor mínimo de 84%, muy por encima del valor límite inferior de 60%. Tal comportamiento de los datos genera que el índice de calidad inferior Qi, muestre un valor elevado respecto al del mes anterior que evidencia la tendencia antes mencionada. Por tal motivo el factor de pago de la malla es de 0,99, que además es el menor factor de pago entre la

granulometría y la resistencia, por lo que será utilizado como valor de referencia para la ponderación del pago en función de la calidad de la obra base estabilizada.

Como siguiente factor se encuentra la compactación de la mezcla de base estabilizada, que de igual forma al mes de junio, mantiene el comportamiento de poseer porcentajes de compactación superiores a los que establece el límite mínimo. Para este período se obtiene un 99,38% de compactación promedio, que implica la obtención de un factor de pago de 1.

De esta manera la ponderación de resultados, arroja un factor de pago en función de la calidad final de 0,99. Lo que implica que se paga a la empresa constructora el 99% del valor de la obra construida, con un castigo de un 0,01% por deficiencias en la graduación del agregado que conforma la base. A pesar de ser un porcentaje de apenas una centésima del valor de la obra, se debe considerar que en este mes se construyeron aproximadamente 12 kilómetros de base estabilizada lo que implica que no se estará pagando la construcción de al menos 120 metros lineales de base estabilizada, lo que se refleja en la empresa como un costo importante tanto en materiales, como en mano de obra y uso de maquinaria.

A pesar de esto, el análisis del primer período en conjunto con el segundo, definen una calidad de la obra cercana al 100% de lo requerido, lo que demuestra la aplicación de procesos constructivos adecuados en la mayoría de los factores analizados, especialmente en lo que corresponde a compactación de la obra y resistencia de la misma, aspectos que son fácilmente verificados en campo, con la utilización de buenas prácticas en el uso de maquinaria y procedimientos como el fraguado de la base estabilizada.

Mezcla Asfáltica

El proceso de construcción de la mezcla asfáltica en caliente se ve afectado durante los meses de julio, agosto y setiembre de 2009, por las constantes lluvias presentadas en la zona, lo que implicó un atraso importante en la construcción de la superficie del pavimento, ya que debido a las características de una mezcla asfáltica colocada en caliente, la existencia de precipitaciones durante la colocación de la misma, generaría altas deficiencias en su calidad,

principalmente por la pérdida de las temperaturas adecuadas de compactación y colocación.

De esta manera, la práctica profesional se limitó a la evaluación de la primera capa de mezcla asfáltica y no de las dos establecidas en el cartel de licitación.

En el caso específico de la mezcla asfáltica, esta incluye más factores de evaluación en comparación a la base estabilizada, como lo son la inclusión del análisis de más mallas o tamices en la granulometría de la mezcla, el análisis del contenido de asfalto, los vacíos superpave, además de la compactación de la mezcla, todos contenidos en los cuadros 17,18, 19, 20, 21 y 22, que establecen los datos para los meses de julio agosto y setiembre.

Debido al proceso de evaluación de la mezcla asfáltica, se establecen los límites de evaluación con respecto a los valores de diseño obtenidos mediante el método superpave. Inicialmente se establecen las tolerancias al contenido de vacíos superpave, el cual debe encontrarse en el intervalo $4\pm 1\%$, como se observa en el cuadro 23, debido a que las combinaciones de los demás factores dependen de un diseño que deberá obtener un valor teórico de 4% en los vacíos superpave. A continuación se indican los límites de contenido de asfalto, que de igual manera a los límites de evaluación en núcleos, corresponden a un valor con una tolerancia específica, obteniendo un $6,05\pm 0,5\%$ y un $5,5\pm 2,5$ respectivamente.

Finalizando con la obtención de los límites de evaluación de la granulometría, que también dependen del diseño obtenido, el cual es mostrado en el cuadro 26, y hace referencia a las tolerancias establecidas en el cuadro 3, que define las diferentes tolerancias aplicadas a los distintos rangos de aberturas en las mallas utilizadas para la granulometría de la mezcla asfáltica.

De esta manera es establecida la fórmula de trabajo de mezcla asfáltica en caliente utilizada para el mes de julio, la cual se encuentra en manos de los ingenieros de la planta asfáltica de la empresa, ubicada en el sector de Savegre, factor que representa una ventaja en lo que se refiere a las distancias de acarreo y pérdidas de temperatura que pueda tener la mezcla desde la salida de la planta hasta el traslado al sitio de colocación, presentando un recorrido máximo de 19 kilómetros entre un punto y otro.

Con la obtención de las muestras y los límites de evaluación, se inicia el cálculo de los factores de calidad de la obra construida durante cada uno de los meses de evaluación.

El mes de julio, presenta el mayor castigo aplicado a la obra construida hasta el mes de setiembre de 2009, obteniendo un valor de 0,85, es decir el pago de un 85% de lo producido a lo largo de todo el período, dato que se observa en el cuadro 27.

El factor que provoca la obtención de esta sanción es el contenido de asfalto de la mezcla utilizada, puesto que se establecieron como límites los valores de 6,3 % y 5,3 %, ambos excedidos por el promedio obtenido de las muestras de campo, otorgando un resultado de 6,35%. En estos casos se muestra una de las particularidades del proceso de evaluación, donde al excederse uno de los límites de diseño, los factores de calidad como el Qs, en este caso en particular, presenta un valor negativo, lo que implica la utilización de este en valor absoluto, y la obtención de un porcentaje fuera del cumplimiento, que luego será restado a un 100%, lo que implica que el factor de pago se obtendrá con un castigo mayor, en este caso un 0,79.

Además de este aspecto también se apreciaron deficiencias en los vacíos superpave presentados en la mezcla. Los mismos poseen un factor de pago de 0,93, que a pesar de ser mayor al del contenido de asfalto, significa la deficiencia de un elemento más en la obra, esto debido principalmente a la obtención de un valor promedio de 3,39 % el cual se encuentra cercano al límite inferior, y que además si se observa en cuadro 17, se obtienen varios resultados fuera de los límites con valores menores al establecido, por lo que el Qs tiende a aumentar y establecer un porcentaje fuera de los límites de cumplimiento inferior, de 25%, que a su vez justifica el castigo aplicable a esta característica de la mezcla asfáltica.

Sin embargo este no es el último elemento castigado en la mezcla asfáltica del mes de julio, sino que además en la granulometría la malla N^o4, posee un factor de pago de 0,97 provocado por una tendencia de las muestras tomadas a acercarse al límite inferior de 42%, con un valor promedio de 44,14%, y que como se observa en el cuadro 17. Esto implica que la malla N^o4 está reteniendo más material del adecuado por lo que la granulometría tiende a

abrirse en esta malla, justificando el castigo por calidad de la obra.

Por último se encuentra la evaluación de compactación, la cual se evalúa mediante la obtención del porcentaje de vacíos en los núcleos extraídos en campo, los cuales poseen en promedio un valor de 4,83 % que se ajusta a los límites y que a pesar que tiene una tendencia al límite inferior, no implica la aplicación de un castigo, al poseer porcentaje fuera de los límites de 3% únicamente.

De esta manera es realizada la ponderación del menor de los factores generales, junto con el factor de compactación, para obtener un factor de pago en función de la calidad de 0,85 o 85%.

Continuando con las evaluaciones de calidad, en el cuadro 28, se aprecia la tabla resumen para el mes de agosto de 2009, el cual posee un factor de 0,99. Este se ve afectado únicamente por la granulometría de la mezcla, más específicamente en la malla N^o4, misma que poseía incumplimientos el mes anterior de producción. En este caso el valor promedio de 44,35%, se encontraba más cerca del límite inferior de 42% pasando, lo que como se mencionó anteriormente provoca una elevación del Qs y por ende un aumento el porcentaje fuera de los límites, que se encargará de definir el factor de pago de 0,99. Los demás elementos evaluados poseen factores de pago de 1, lo que implica que en la ponderación de la compactación y los ensayos generales, sea también 0,99, lo que genera un pago del 99% de la mezcla construida en el mes de agosto.

Por último y de manera similar se realiza el análisis de datos para el mes de setiembre, en el cual se finaliza la construcción de la primera capa de mezcla asfáltica del proyecto. A pesar de ser el tercer mes de producción de mezcla para la carretera principal se mantienen defectos en la granulometría, específicamente en la malla N^o4, en la cual nuevamente se está reteniendo un porcentaje de material mayor al recomendado, debido a que se presenta promedio de 45,10% pasando, nuevamente cercano al límite inferior de 42%. Esto debido a como se puede apreciar en el cuadro 19, existe una gran variedad de porcentajes pasando en esta malla para el mes de setiembre, con el inconveniente de presentarse valores menores o iguales al límite inferior lo que provoca la tendencia antes mencionada.

Al poseer este defecto de distribución el límite de calidad superior e inferior aumentan presentando porcentajes fuera de los límites que en conjunto establecen un factor de pago mínimo de 0,97 el cual generará junto con la ponderación del factor de compactación un factor de pago en función de la calidad de 0,98, es decir se paga a la empresa un 98% de lo producido durante ese mes en lo que respecta a mezcla asfáltica.

La situación en los que respecta a la mezcla asfáltica, se torna preocupante, debido a que durante 3 meses continuos de producción se mantienen los defectos en la malla N°4 que significó para la empresa la pérdida de 0,03% de lo producido durante los meses de agosto y setiembre. Este incumplimiento puede ser consecuencia de una mala calibración de los tamices del quebrador, o de planta de producción de mezcla, además de las posibles variaciones que se den en este proceso de producción con el fin de aumentar o reducir el porcentaje de finos en la mezcla.

Como se mencionó anteriormente el castigo a pesar de ser en centésimas de unidad, corresponde a un costo elevado tanto para la empresa como para el país, en especial en lo que a mezcla asfáltica se refiere, debido a que en la actualidad un camión de 12 m³ de asfalto ronda un valor de entre 1.200.000,00 a 1.500.000,00 colones. Esto genera que en una producción mensual, el castigo produzca pérdidas relevantes para la empresa, sin contar los posibles defectos que posea la estructura.

Este tipo de defectos se manifiesta de una forma mayor en la producción del mes de julio, en la cual el contenido de asfalto sobrepasa los límites de diseño, junto con sus respectivas tolerancias. En un futuro próximo se podrían esperar la aparición de ahuellamientos en la zona afectada, debido a las altas temperaturas de uso de la carretera por estar ubicada en una zona costera, y sometida a un tránsito de vehículos pesados, lo que implicaría que a altas temperaturas la mezcla pierda viscosidad y sea más vulnerable a las deformaciones.

A pesar de que para reducir este efecto se implementó el uso de polímeros, el exceso en el contenido de asfalto puede generar otros defectos como lo son la exudación, donde al aumentar la temperatura y al verse sometido el pavimento a la carga de los vehículos, el asfalto tiende a abandonar los espacios entre partículas de la mezcla, lo que generaría un potencial

peligro a los vehículos que circulan sobre la superficie de ruedo, además de los futuros defectos que pueda sufrir el pavimento por este efecto a un largo plazo.

Es de suma importancia destacar que el proceso de producción de la mezcla asfáltica es realizado en una planta de producción de la empresa, la cual a lo largo de los primeros meses de funcionamiento, presentó problemas en varios aspectos, como la pérdida de fluido eléctrico y el atascamiento de la bomba de látex utilizado para reforzar el pavimento.

Por esta razón se presentaron varias discontinuidades en la producción en el primer y segundo mes, las cuales coinciden con las calidades bajas del producto construido.

Se debe destacar que el proceso constructivo es supervisado por la inspección establecida por el CONAVI y que estos otorgan el visto bueno a las técnicas constructivas de la obra, las cuales según factores como la compactación de la mezcla, demuestran un cumplimiento adecuado durante los tres meses de evaluación.

Esto permite asociar la falta de calidad inicial a factores de diseño y producción de la mezcla asfáltica, y no a los métodos y procesos constructivos aplicados en la obra. Además de evidenciarse un manejo inadecuado en el control de granulometría, la cual presentó deficiencias a lo largo de la producción.

Debido a estos incumplimientos se castigaron a lo largo de tres meses un 18% de lo construido en mezcla asfáltica, situación que no es nada ventajosa para la empresa constructora y a pesar de ser penalizado, tampoco es conveniente para el país.

Pago en función de la calidad

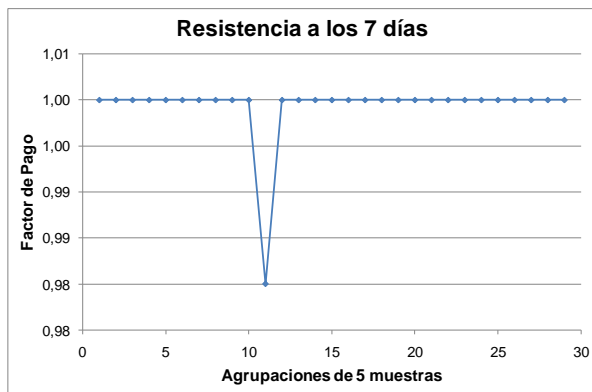
Realizando un recuento de los resultados obtenidos durante la evaluación se puede apreciar el cumplimiento de la función del método del pago en función de la calidad, ya que como se observó anteriormente, varios de los castigos presentados, se debían a la poca regularidad o variación de los datos de pruebas entre los límites reglamentarios, como se observó en los meses de julio y agosto para la base estabilizada y agosto y setiembre para la mezcla asfáltica.

Se castiga de esta manera, no solo el cumplimiento con las especificaciones sino que además las tendencias de la pruebas de calidad

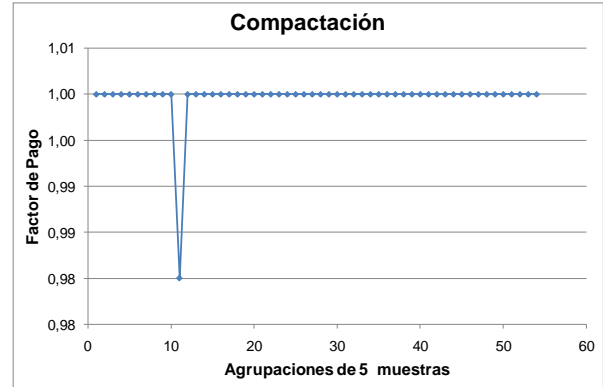
dentro de estos, esperando una distribución entre los rangos con diferentes valores y desviaciones estándar lo suficientemente altas para obtener porcentajes fuera de los límites lo suficientemente bajos que impliquen el evitar el castigo.

Sin embargo, al ser este un método estadístico se hace necesario corroborar el funcionamiento de este en varios escenarios de comportamiento de los datos, por lo que además de realizar la evaluación periódica de la base estabilizada y la mezcla asfáltica, se realiza una agrupación de los datos adquiridos durante los meses de evaluación y se obtienen los factores de pago para cada uno de los requisitos a evaluar, en agrupaciones de cinco pruebas, debido a que este es mínimo requerido para realizar el cálculo del pago en función de la calidad.

La base estabilizada presentó un comportamiento muy similar al de las evaluaciones mensuales y bimensuales, presentando factores iguales a 1 en toda la granulometría de la obra y un único factor de 0,98 como se observa en las figuras 11 y 12 tanto en la resistencia como en la compactación, los cuales en conjunto hicieron que la obra tuviera un factor de pago de 0,99. De esta manera se muestra una reducción de la calidad al realizar las evaluaciones en conjunto de pruebas menores, en este caso debido a la regularidad alcanzada por el valor promedio, que en un conjunto mínimo de muestras, agrupa a pruebas tomadas del mismo paño o colocación diaria, lo que posibilita la obtención de resultados similares con poca variación entre los límites y por ende la existencia de un castigo mayor.

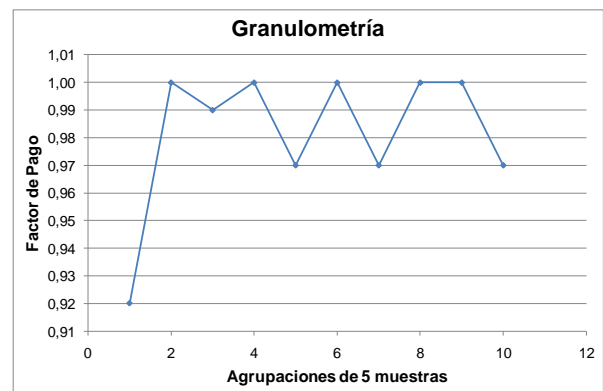


Microsoft Office Excel
Figura 15. Evaluaciones de conjuntos de 5 pruebas para la resistencia de la base estabilizada

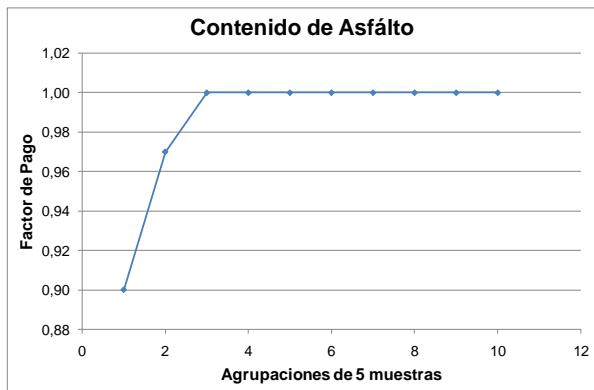


Microsoft Office Excel
Figura 16. Evaluaciones de conjuntos de 5 pruebas para la compactación de la base estabilizada

En el caso de la mezcla asfáltica esta también mostro el reflejo del comportamiento de evaluación mensual, en las evaluaciones de agrupaciones de cinco pruebas, presentando mayores variaciones, como se esperaba, en la granulometría de los agregados (figura 13) y el contenido de asfalto (figura 14), mientras que el contenido de vacíos presentó una variación a un factor de 0,8 en de las evaluaciones (figura 15) y la compactación de la mezcla se mantuvo con factores de 1 a lo largo de todas las evaluaciones.

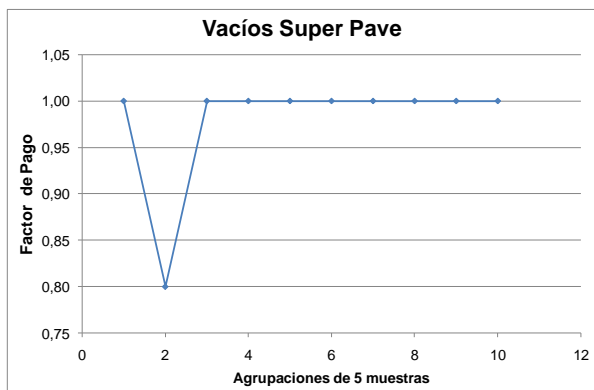


Microsoft Office Excel
Figura 17. Evaluaciones de conjuntos de 5 pruebas para la granulometría de la mezcla asfáltica



Microsoft Office Excel

Figura 18. Evaluaciones de conjuntos de 5 pruebas para el contenido de asfalto de la mezcla asfáltica



Microsoft Office Excel

Figura 19. Evaluaciones de conjuntos de 5 pruebas para los vacíos superpave de la mezcla asfáltica

La figura 17 muestra el comportamiento variante que mantuvo la granulometría a lo largo de la producción, produciendo la mayoría de sus menores factores de pago en la malla N°4, con un factor de pago inicial de 0,92, debido a que los primeros valores de evaluación de la mezcla en el mes de julio se encuentran muy cerca del límite inferior lo que disminuye el factor de pago drásticamente, los siguientes valores de 0,99 y 0,97 presentes en las variaciones, reflejan el comportamiento de la evaluación mensual de agosto y setiembre. Por lo que en este caso se demuestra la desventaja que presenta poseer pocos valores al reducir en las primeras muestras el factor de calidad de lo obtenido en las evaluaciones periódicas.

Con respecto al contenido de asfalto, se demuestra un comportamiento totalmente diferente al de las anteriores evaluaciones de 5 muestras, ya que a pesar de que evidencia la baja calidad presentada en la primera evaluación

de mezcla asfáltica para el mes de julio, los factores de calidad presentes son mayores o los obtenidos mediante la evaluación periódica. Debido a las diferentes posibilidades de comportamientos de datos, en este caso el evaluar individualmente ayuda al conjunto de datos a agruparse, en datos que a pesar de no cumplir con lo establecido, se agrupan de un modo que obtengan desviaciones estándar mayores con variaciones a lo largo del intervalo establecido. Como se muestra en el cuadro 17, los primeros valores de contenido de asfalto, se encuentran la mayoría sobre el límite superior, lo que genera esta disminución de la calidad, pero las agrupaciones brindan un mejor comportamiento estadístico.

Por último, el porcentaje de vacíos Superpave, adquiere la tendencia anterior a seguir los datos obtenidos en la evaluación periódica para la cual en el primer mes se determinó un factor de 0,93, sin embargo al realizar el análisis en conjuntos de 5 muestras, el segundo grupo adquiere un factor de pago de apenas 0,8, nuevamente provocado por un agrupamiento casual de valores que estaban por debajo del límite mínimo establecido, como se puede observar en los datos de la fila 6 a 10 del cuadro.

De esta manera a pesar de que el método de pago en función de la calidad cumple su función de evaluar los datos dentro de los límites preestablecidos, también tiende a variar drásticamente con respecto a las agrupaciones de estos, lo que en posibles casos permitiría la variación de los castigos con respecto a los periodos de tiempo o frecuencias de producción en los que se realizan las evaluaciones, por lo que el método a pesar de ser efectivo en su función principal, este presenta la posibilidad de amplias variaciones, en las que cada muestra incluida en la evaluación puede cambiar el panorama del resultado, lo que en muchos casos permitiría un simple cambio o estimación para mejorar o empeorar una evaluación de pago en función de la calidad. Además de desestimar la presencia de datos erróneos que al ser agrupados no presentan divergencias importantes, pero que en pequeños grupos demuestran la presencia de una mala calidad, y por ende la posibilidad de poseer pequeños tramos de la obra con una calidad menor a la reportada en la evaluación periódica.

Conclusiones y Recomendaciones

Con el desarrollo de la práctica profesional dirigida se establecen varias conclusiones con respecto a los objetivos planteados y otros elementos no tomados en cuenta con anterioridad. Principalmente se debe señalar, la necesidad de formación de un estudiante que además de poseer los conocimientos de ingeniería adecuados, posea una noción del comportamiento o el manejo de las obras constructivas en el campo, además de tener la posibilidad de otorgarle a su conocimiento ingenieril un valor agregado que lo haga resaltar sobre los demás profesionales de la misma disciplina.

La primera de estas conclusiones se debe a la experiencia adquirida durante los anteriores meses de desarrollo del proyecto de graduación, en los cuales el estudiante se debe enfrentar a un cambio drástico en el que el dominio del carácter, las relaciones interpersonales y la capacidad de asimilar procedimientos completamente nuevos a los aprendidos en el estudio universitario, marcan la vía al éxito en la inclusión de un nuevo profesional a un campo formado a lo largo de los años. En el caso de la construcción de carreteras, se debe inculcar la necesidad de manejar además de argumentos teóricos, la posibilidad de adaptarse a un mercado en el que por el modo de ser del costarricense, se han dejado de lado muchas veces los valores de la ética y honestidad, y que obliga al nuevo profesional a establecer una formación ética sólida, que le permita ser un profesional exitoso no solo por su conocimiento, sino que además por sus valores.

La segunda de estas conclusiones, se obtiene al observar que para muchas de las empresas grandes de nuestro país, el estudiante universitario no posee prioridades o beneficios con respecto al centro educativo que provenga,

sino que la mayoría son tomados como un personal con el conocimiento adecuado para realizar las tareas que se le asignen, y únicamente el estudiante que además de poseer una óptima formación educativa, tenga a su alcance las herramientas para resaltar ante el resto de principiantes, se encaminará hacia el crecimiento profesional constante. Estas herramientas permiten otorgarle a su empleador el valor agregado que un trabajo de ingeniería se merece, entre estas se encuentran el manejo de programas tanto de ingeniería como de uso general, como lo es el Microsoft Excel.

Con respecto a los objetivos planteados, se aprecia la necesidad de experimentar de mayor forma el trabajo en campo realizado en una construcción real y con una magnitud como la de la carretera costanera sur. Ya que mediante la observación de los procesos constructivos utilizados en el proyecto, se descubre el poco conocimiento práctico que se posee de estos procedimientos, que únicamente mediante la presencia en sitio y la experiencia logran ser asimilados y relacionados con la teoría en una forma adecuada.

La participación en este proceso, permitió desarrollar hojas programadas, que con su utilización, facilitan el proceso de evaluación de la mezcla y base estabilizada, tanto para la empresa constructora como para el CONAVI.

Su utilización permitió realizar la evaluación del factor de pago en función de la calidad de la base estabilizada con cemento portland y la mezcla asfáltica de la obra constructiva, para los periodos de evaluación y en el tiempo real conforme se incluían nuevos datos de muestras tomadas en campo.

Para la base estabilizada se realizaron dos procesos de evaluación los que arrojaron factores de pago de: 100% y 99%, determinando una buena calidad de la obra construida en la totalidad o mayoría del proyecto carretero.

La mezcla asfáltica se vio sometida a tres períodos de análisis en los cuales, en los cuales se obtuvieron resultados de factores de pago en función de la calidad de: 85%, 99% y 98%. Esto demuestra una calidad deficiente en los primeros meses de construcción de la obra, alcanzando un valor separado a diez unidades porcentuales del rechazo de la obra, no obstante los meses siguientes a pesar de presentar divergencias con respecto a los límites establecidos poseen una calidad buena que alcanza casi el valor máximo de calidad.

El método de análisis estadístico utilizado para la evaluación, cumplió con su objetivo de valorar la obra no solo por el cumplimiento de los límites, sino que además por la regularidad de las pruebas encontradas dentro de estos límites, llegando a reducir la calidad de la obra en varios casos a pesar de poseer todas las características de evaluación dentro de los rangos determinados por la administración.

No obstante, este método presenta posibilidades de cambios drásticos con respecto a la agrupación o número de pruebas analizadas, factor que permite eliminar puntos de construcción con malas propiedades al agruparlos con nuevas muestras de características satisfactorias. Tal es el caso del análisis de vacíos Superpave del primer mes de producción, donde se produce una reducción al

80% de la calidad en la segunda agrupación de datos, que en conjunto presentaron una calidad de 93%, por lo que se recomienda realizar además una revisión de las agrupaciones mínimas o menores a las utilizadas en períodos largos de evaluación. Este proceso puede ser llevado a cabo mediante la realización de herramientas de cálculo como la desarrollada en esta práctica profesional.

Por último se establece como observación y recomendación, el realizar mayores estudios con respecto a las técnicas de construcción y diseño del pavimento asfáltico, ya que en el caso del diseño Superpave, nuevas bibliografías lo señalan como un método defectuoso a largo plazo debido a una reducción drástica del contenido de asfalto por sus técnicas de diseño. Este método es utilizado por ahora como la tecnología de punta en construcción de carreteras nacionales, pero antes de adentrarse en su utilización, es necesario observar y analizar los resultados obtenidos en países que llevan varios años utilizando este método de diseño, como lo son los Estados Unidos.

Apéndices

A continuación se presentan los cuadros de evaluación por grupos de cinco muestras utilizadas para la estimación de gráficos de evaluación del pago en función de la calidad de esta agrupación. En total se presentan cinco cuadros con los respectivos agrupamientos.

**CUADRO 30. EVALUACIÓN
CONJUNTO MÍNIMO DE
MUESTRAS GRANULOMETRÍA
BASE ESTABILIZADA**

Conjunto Mínimo de muestras		Factores de Pago
Fecha i	Fecha f	Granulometría
22/05/2009	16/06/2009	1,00
17/06/2009	22/07/2009	1,00
22/07/2009	02/08/2009	1,00
06/08/2009	15/08/2009	1,00

**CUADRO 31. EVALUACIÓN
CONJUNTO MÍNIMO DE
MUESTRAS RESISTENCIA
BASE ESTABILIZADA**

Conjunto Mínimo de muestras		Factores de Pago
Fecha i	Fecha f	Resistencia
22/05/2009	22/05/2009	1,00
27/05/2009	27/05/2009	1,00
12/06/2009	16/06/2009	1,00
16/06/2009	17/06/2009	1,00
17/06/2009	17/06/2009	1,00
12/06/2009	18/06/2009	1,00
18/06/2009	20/06/2009	1,00
20/06/2009	22/06/2009	1,00
23/06/2009	23/06/2009	1,00
23/06/2009	26/06/2009	1,00
25/06/2009	26/06/2009	0,98
27/06/2009	30/06/2009	1,00
30/06/2009	01/07/2009	1,00
01/07/2009	01/07/2009	1,00
02/07/2009	03/07/2009	1,00
03/07/2009	07/07/2009	1,00
07/07/2009	08/07/2009	1,00
08/07/2009	10/07/2009	1,00
10/07/2009	15/07/2009	1,00
15/07/2009	18/07/2009	1,00
18/07/2009	19/07/2009	1,00
20/07/2009	21/07/2009	1,00
29/07/2009	02/08/2009	1,00
02/08/2009	02/08/2009	1,00
11/08/2009	13/08/2009	1,00
13/08/2009	14/08/2009	1,00
14/08/2009	15/08/2009	1,00
16/08/2009	18/08/2009	1,00
18/08/2009	21/08/2009	1,00

**CUADRO 32. EVALUACIÓN
CONJUNTO MÍNIMO DE
MUESTRAS COMPACTACIÓN
BASE ESTABILIZADA**

Conjunto Mínimo de muestras		Factores de Pago
Fecha i	Fecha f	Núcleos
19/06/2009	19/06/2009	1,00
19/06/2009	19/06/2009	1,00
19/06/2009	21/06/2009	1,00
21/06/2009	24/06/2009	1,00
24/06/2009	24/06/2009	1,00
24/06/2009	24/06/2009	1,00
24/06/2009	25/06/2009	1,00
25/06/2009	25/06/2009	1,00
25/06/2009	25/06/2009	1,00
25/06/2009	26/06/2009	1,00
26/06/2009	26/06/2009	0,98
26/06/2009	27/06/2009	1,00
27/06/2009	02/07/2009	1,00
02/07/2009	02/07/2009	1,00
02/07/2009	02/07/2009	1,00
02/07/2009	02/07/2009	1,00
02/07/2009	02/07/2009	1,00
03/07/2009	03/07/2009	1,00
03/07/2009	03/07/2009	1,00
03/07/2009	03/07/2009	1,00
03/07/2009	04/07/2009	1,00
04/07/2009	04/07/2009	1,00
05/07/2009	07/07/2009	1,00
07/07/2009	07/07/2009	1,00
07/07/2009	07/07/2009	1,00
07/07/2009	14/07/2009	1,00
14/07/2009	14/07/2009	1,00
14/07/2009	15/07/2009	1,00
15/07/2009	15/07/2009	1,00
15/07/2009	16/07/2009	1,00

16/07/2009	16/07/2009	1,00
16/07/2009	17/07/2009	1,00
17/07/2009	17/07/2009	1,00
17/07/2009	17/07/2009	1,00
17/07/2009	18/07/2009	1,00
18/07/2009	18/07/2009	1,00
18/07/2009	19/07/2009	1,00
19/07/2009	19/07/2009	1,00
19/07/2009	20/07/2009	1,00
20/07/2009	22/07/2009	1,00
22/07/2009	22/07/2009	1,00
23/07/2009	30/07/2009	1,00
30/07/2009	30/07/2009	1,00
30/07/2009	30/07/2009	1,00
31/07/2009	31/07/2009	1,00
31/07/2009	02/08/2009	1,00
02/08/2009	02/08/2009	1,00
02/08/2009	06/08/2009	1,00
06/08/2009	06/08/2009	1,00
06/08/2009	12/08/2009	1,00
12/08/2009	12/08/2009	1,00
12/08/2009	12/08/2009	1,00
12/08/2009	12/08/2009	1,00
12/08/2009	12/08/2009	1,00
12/08/2009	13/08/2009	1,00
13/08/2009	16/08/2009	1,00
16/08/2009	16/08/2009	1,00
16/08/2009	18/08/2009	1,00
18/08/2009	18/08/2009	1,00
18/08/2009	19/08/2009	1,00
19/08/2009	19/08/2009	1,00
19/08/2009	19/08/2009	1,00
19/08/2009	19/08/2009	1,00
19/08/2009	22/08/2009	1,00

CUADRO 33. EVALUACIÓN CONJUNTO MÍNIMO DE MUESTRAS MEZCLA ASFÁLTICA

Conjuntos Mínimo de Muestras		Factores de Pago		
Fecha i	Fecha f	Cont asfalto	Vacios Superpave	Granulometría
03/07/2009	08/07/2009	0,90	1,00	0,92
10/07/2009	16/07/2009	0,97	0,80	1,00
18/07/2009	13/08/2009	1,00	1,00	0,99
14/07/2009	17/08/2009	1,00	1,00	1,00
18/08/2009	20/08/2009	1,00	1,00	0,97
21/08/2009	23/08/2009	1,00	1,00	1,00
24/08/2009	27/08/2009	1,00	1,00	0,97
28/08/2009	31/08/2009	1,00	1,00	1,00
02/09/2009	04/09/2009	1,00	1,00	1,00
09/09/2009	13/09/2009	1,00	1,00	0,97

CUADRO 34. EVALUACIÓN CONJUNTO MÍNIMO DE MUESTRAS COMPACTACIÓN MEZCLA ASFÁLTICA

Conjunto Mínimo de muestras		Factores de Pago
Fecha i	Fecha f	Núcleos
18/07/2009	18/07/2009	1,00
18/07/2009	18/07/2009	1,00
18/07/2009	18/07/2009	1,00
18/07/2009	18/07/2009	1,00
18/07/2009	18/08/2009	1,00
18/08/2009	23/08/2009	1,00
23/08/2009	26/08/2009	1,00
26/08/2009	28/08/2009	1,00
28/08/2009	29/08/2009	1,00
30/08/2009	31/08/2009	1,00
31/08/2009	01/09/2009	1,00
01/09/2009	03/09/2009	1,00
03/09/2009	09/09/2009	1,00

Anexos

A continuación se presentan los cuadros utilizados para la evaluación del pago en función de la calidad. El anexo 1, muestra los Porcentajes Estimados de trabajo fuera de los límites de especificación. En el anexo 2 se aprecia el factor de pago por calidad. Ambos tomados del manual de diseño de carreteras y puentes de costa rica CR-2002

Además en el anexo 3 se muestra el formato utilizado por el ministerio de obras públicas para el resumen de la evaluación del pago en función de la calidad. Por último el anexo 4 presenta los gráficos de comportamiento de la granulometría explicados mediante las tablas resumen.

ANEXO 1

Porcentaje estimado fuera de los límites de especificación (P _s y/o P _i)	Índice superior de calidad C _s o índice menor de calidad C _i												
	n=5	n=6	n=7	n=8	n=9	n=10 a n=11	n=12 a n=14	n=15 a n=17	n=18 a n=22	n=23 a n=29	n=30 a n=42	n=43 a n=66	n=67 a ∞
0	1,72	1,88	1,99	2,07	2,13	2,20	2,28	2,34	2,39	2,44	2,48	2,51	2,56
1	1,64	1,75	1,82	1,88	1,91	1,96	2,01	2,04	2,07	2,09	2,12	2,14	2,16
2	1,58	1,66	1,72	1,75	1,78	1,81	1,84	1,87	1,89	1,91	1,93	1,94	1,95
3	1,52	1,59	1,63	1,66	1,68	1,71	1,73	1,75	1,76	1,78	1,79	1,80	1,81
4	1,47	1,52	1,56	1,58	1,60	1,62	1,64	1,65	1,66	1,67	1,68	1,69	1,70
5	1,42	1,47	1,49	1,51	1,52	1,54	1,55	1,56	1,57	1,58	1,59	1,59	1,60
6	1,38	1,41	1,43	1,45	1,46	1,47	1,48	1,49	1,50	1,50	1,51	1,51	1,52
7	1,33	1,36	1,38	1,39	1,40	1,41	1,41	1,42	1,43	1,43	1,44	1,44	1,44
8	1,29	1,31	1,33	1,33	1,34	1,35	1,35	1,36	1,36	1,37	1,37	1,37	1,38
9	1,25	1,27	1,28	1,28	1,29	1,29	1,30	1,30	1,30	1,31	1,31	1,31	1,31
10	1,21	1,23	1,23	1,24	1,24	1,24	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,26	1,26
11	1,18	1,18	1,19	1,19	1,19	1,19	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
12	1,14	1,14	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
13	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
14	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
15	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
16	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
17	0,97	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
18	0,93	0,92	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
19	0,90	0,89	0,88	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
20	0,87	0,86	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
21	0,84	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,79
22	0,81	0,79	0,79	0,78	0,78	0,77	0,77	0,77	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
23	0,77	0,76	0,75	0,75	0,74	0,74	0,74	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
24	0,74	0,73	0,72	0,72	0,71	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
25	0,71	0,70	0,69	0,69	0,68	0,68	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,66
26	0,68	0,67	0,67	0,65	0,65	0,65	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,63
27	0,65	0,64	0,63	0,62	0,62	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,60
28	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,57
29	0,59	0,58	0,57	0,57	0,56	0,56	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,54
30	0,56	0,55	0,54	0,54	0,53	0,53	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
31	0,53	0,52	0,51	0,51	0,50	0,50	0,50	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
32	0,50	0,49	0,48	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
33	0,47	0,46	0,45	0,45	0,45	0,44	0,44	0,44	0,44	0,43	0,43	0,43	0,43
34	0,45	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,40
35	0,42	0,40	0,40	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
36	0,39	0,38	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
37	0,36	0,35	0,34	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,32
38	0,33	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
39	0,30	0,30	0,29	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
40	0,28	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
41	0,25	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
42	0,23	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
43	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
44	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
45	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
46	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
47	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
48	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
49	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Nota: Si el valor de C_s o C_i no corresponde a un valor de la tabla, use el valor de C inmediato inferior.



Si C_s o C_i son valores negativos, P_s o P_i es igual a 100 menos el valor de la tabla para P_s o P_i.

ANEXO 2

Factor de pago		Máximo porcentaje permisible de trabajo fuera de los límites de especificación para un factor de pago dado ($P_s + P_i$)												
Categoría														
I	II	n=5	n=6	n=7	n=8	n=9	n=10 a n=11	n=12 a n=14	n=15 a n=17	n=18 a n=22	n=23 a n=29	n=30 a n=42	n=43 a n=66	n=67 a ∞
1,05					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,04				0	1	3	5	4	4	4	3	3	3	3
1,03			0	2	4	6	8	7	7	6	5	5	4	4
1,02			1	3	6	9	11	10	9	8	7	7	6	6
1,01		0	2	5	8	11	13	12	11	10	9	8	8	7
1,00		22	20	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
0,99		24	22	20	19	18	17	16	15	14	13	11	10	9
0,98		26	24	22	21	20	19	18	16	15	14	13	12	10
0,97		28	26	24	23	22	21	19	18	17	16	14	13	12
0,96		30	28	26	25	24	22	21	19	18	17	16	14	13
0,95	1,00	32	29	28	26	25	24	22	21	20	18	17	16	14
0,94	0,99	33	31	29	28	27	25	24	22	21	20	18	17	15
0,93	0,98	35	33	31	29	28	27	25	24	22	21	20	18	16
0,92	0,97	37	34	32	31	30	28	27	25	24	22	21	19	18
0,91	0,96	38	36	34	32	31	30	28	26	25	24	22	21	19
0,90	0,95	39	37	35	34	33	31	29	28	26	25	23	22	20
0,89	0,94	41	38	37	35	34	32	31	29	28	26	25	23	21
0,88	0,93	42	40	38	36	35	34	32	30	29	27	26	24	22
0,87	0,92	43	41	39	38	37	35	33	32	30	29	27	25	23
0,86	0,91	45	42	41	39	38	36	34	33	31	30	28	26	24
0,85	0,90	46	44	42	40	39	38	36	34	33	31	29	28	25
0,84	0,89	47	45	43	42	40	39	37	35	34	32	30	29	27
0,83	0,88	49	46	44	43	42	40	38	36	35	33	31	30	28
0,82	0,87	50	47	46	44	43	41	39	38	36	34	33	31	29
0,81	0,86	51	49	47	45	44	42	41	39	37	36	34	32	30
0,80	0,85	52	50	48	46	45	44	42	40	38	37	35	33	31
0,79	0,84	54	51	49	48	46	45	43	41	39	38	36	34	32
0,78	0,83	55	52	50	49	48	46	44	42	41	39	37	35	33
0,77	0,82	56	54	52	50	49	47	45	43	42	40	38	36	34
0,76	0,81	57	55	53	51	50	48	46	44	43	41	39	37	35
0,75	0,80	58	56	54	52	51	49	47	46	44	42	40	38	36
Rechazar	0,79	60	57	55	53	52	51	48	47	45	43	41	40	37
	0,78	61	58	56	55	53	52	50	48	46	44	43	41	38
	0,77	62	59	57	56	54	53	51	49	47	45	44	42	39
	0,76	63	61	58	57	55	54	52	50	48	47	45	43	40
	0,75	64	62	60	58	57	55	53	51	49	48	46	44	41
Rechazar		Valores mayores que los mostrados arriba												

Nota: Para obtener un factor de pago cuando el valor (P_s y/o P_i) de la tabla 106-1 no corresponda a un valor ($P_s + P_i$) de esta tabla, use el valor mayor inmediato.

ANEXO 3

	CONSEJO NACIONAL DE VIALIDAD DIRECCIÓN DE CONSERVACIÓN VIAL Tel.: (506) 2262 5469 Fax: 2226 4254 email: rodrigo.ulloa@conavi.go.cr					
LÍNEA-21-CONSERVACIÓN VIAL DE LA ZONA 1-2 PURISCAL LICITACIÓN PÚBLICA 01-2005 DATOS DE VERIFICACIÓN						
PERIODO:	01 DE JULIO DE 2005	31 DE JULIO DE 2005				
CONTRATISTA:	MECO	PLANTA: MECO				
ESTRADA N°:	UBICACIÓN: LA BRUCA	DISEÑO VIGENTE:				
	MUTAS EN ESTUDIO:					
	INGENIERO RESPONSABLE: DANIEL SOLÍS CARRERA					
RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE PAGO EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD						
RESULTADOS DE ENSAYOS MAC				RESULTADOS COMPACTACIÓN		OBSERVACIONES
ENSAYOS PRESENTADOS	II			I	II	
CANTIDAD DE ENSAYOS DEU	2			1	5	
	Ítem I	Ítem II	Ítem III	Porcentaje Asfalto	Porcentaje Vacos en Campo (Carpeta)	Porcentaje Vacos en Campo (Bacheo)
CANTIDAD PAGO en Pago	Categoría I	Categoría II	Categoría I	Categoría I	Categoría I	Categoría II
ÍTEM	55	19	3,5	6,10	6,6	5,1
Muchachos	51	14	3,6	5,69	5,5	4,4
ÍTEM	47	12	2,9	5,10	3,9	3,1
PROYECTO	49,41	17,80	6,21	5,45	Ítem procl.	3,66
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (s)	1,65	0,76	0,37	0,25	0,81	2,23
ÍNDICE SUPERIOR CALIDAD (IS)	3,30	3,68	2,49	2,44	6,80	-2,07
ÍNDICE INFERIOR CALIDAD (II)	3,43	6,58	1,32	1,50	6,80	2,69
PORCENTAJE EST. FUERA LÍE (PS)	0	0	0	0	-	52
PORCENTAJE EST. FUERA LÍE (PI)	7	0	0	0	-	0
PORCENTAJE INCUMPLIMIENTO	7	0	0	0	0	52
MAYOR PORCENTAJE INCUMPLIMIENTO	7			0	-	52
FACTORES DE PAGO	1,00			-	-	0,05
FACTORES DE PAGO PONDERADOS	CARPETA	0,75	BACHEO	0,20	-VALOR	0,25
FACTORES DE PAGO TOTALES	CARPETA	-VALOR	MECH ENTERR	TORNILLAS COLGARAS	PROYECTO A ZONAS	
	BACHEO URGENCIA	0,00	-	0,000	-	0,00
	BACHEO FORMAL	0,00	-	0,00	-	0,00

Referencias

- Moncayo, J. 1987. **MANUAL DE PAVIMENTOS**. México: Editorial CONTINENTAL, 1:44p.
- The Asphalt Institute 1982. **MANUAL DE ASFÁLTO**. España: Editorial URMO, 21:81p.
- Jeuffroy, G. 1977. **PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS TOMO II**. Barcelona: Editores TÉCNICOS ASOCIADOS, 27:351p.
- The Asphalt Institute. **PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁTLCA EN CALIENTE**. Estados Unidos: Asphalt Institute, 9:215p.
- MOPT, CONAVI. 2002. **ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, CAMINOS Y PUENTES DE COSTA RICA-CR2002**. CAPÍTULOS 100, 300, 400 Y 900 Costa Rica: MOPT.
- MOPT, CONAVI. 1977. **ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, CAMINOS Y PUENTES DE COSTA RICA-CR77**. CAPÍTULOS 100, 300, 400 Y 900 Costa Rica: MOPT.
- CIG. 2001. **SUPERPAVE CONSIDERACIONES RESIENTES**. En Internet: http://www.mop.gob.sv/archivo/uidv/documentos/pavimentos/4superpave_reci.pdf > {Consulta:17 Agosto. 2009}
- SCT. 2005. **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS MARSHALL Y SUPERPAVE PARA COMPACTACIÓN DE MEZCLASCONSIDERACIONES RESIENTES**. En Internet: <http://www.amaac.org.mx/superpave.pdf> > {Consulta:17 Agosto. 2009}
- BITUMIX. 2005. **METODOLOGÍA SUPERPAVE PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**. En Internet: <http://www.bitumixcvv.cl/articulos/2005/julio/archivos/superpave.pdf> > {Consulta:17 Agosto. 2009}
- NACIÓN. 2007. **COSTANERA SUR LISTA EN DICIEMBRE TRAS 47 AÑOS DE ATRASO** http://www.nacion.com/ln_ee/2007/noviembre/07/opinion1306604.html > {Consulta:17 Agosto. 2009}
- UNI. 2005. **ASFALTOS MODIFICADOS** <http://www.postgrado-fic.org/Cursos/c908/clases/9na%20clase%20pavimentos%20especiales,%20asfaltos%20modificados%20y%20SUPERPAVE.pdf> > {Consulta:17 Agosto. 2009}