

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE FACTORES
PAGO EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO EN
COLOMBIA**

MARIO ANDRÉS PRADILLA SANABRIA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2017**

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE FACTORES
PAGO EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO EN
COLOMBIA**

MARIO ANDRÉS PRADILLA SANABRIA

**MONOGRAFÍA
ENTREGA FINAL**

JUAN MIGUEL SÁNCHEZ DURÁN
Ingeniero Civil MSc (Docente Universidad Santo Tomás)

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2017

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
DEFINICIONES	7
RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	8
1. OBJETIVOS	9
1.1 OBJETIVO GENERAL	9
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
2. MARCO TEÓRICO	10
2.1 PAVIMENTOS	11
2.2 PAVIMENTOS FLEXIBLES	12
2.2.1 Capas de un pavimento flexible	13
2.3 PAVIMENTOS RÍGIDOS	14
2.3.1 Capas de un pavimento rígido	15
2.4 PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS	15
2.5 PAVIMENTOS ARTICULADOS	15
2.5.1 Capas de un pavimento articulado	15
3. CONTROLES DE CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO DE LAS ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN INVIAS E IDU	17
3.1 ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVIAS 2013)	17
3.1.1 Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico) - Artículo 450-13	17
3.1.2 Pavimento de concreto hidráulico - Artículo 500-13	19
3.1.3 Subbase granular y base granular - Artículos 320-13 y 330-13	21
3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO (IDU-ET-2011)	22

3.2.1 Mezclas asfálticas en caliente - Sección 510-11.....	22
3.2.2 Pavimento de losas de concreto hidráulico - Sección 600-11.....	24
3.2.3 Capas granulares de base y subbase - Sección 400-11.....	25
4. FACTORES DE PAGO	28
4.1 SELECCIÓN DE LOS FACTORES DE PAGO DE AJUSTE	35
4.2 SELECCIÓN DE MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD	36
5. MÉTODO NUMÉRICO	45
6. CONCLUSIONES	46
7. BIBLIOGRAFÍA	47

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Sección típica de un pavimento	12
Figura 2. Sección típica de un pavimento rígido.	14
Figura 3. Frecuencia de aplicación factores de pago (Hwang S. R., 2009)	34
Figura 4. Factores de pago continuo y escalonado	35
Figura 5. PWL en la desviación estándar (valor Q) de la media (Hwang S.-M. , 2009)	40

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Factor de pago según PWL. (HUGHES, Charles S. et al., 2011)	35
Tabla 2. Factores de influencia en el rendimiento del pavimento de asfalto en carreteras. (Hwang S.-M. , 2009)	36
Tabla 3. Factor que establece los límites del intervalo de confianza	38
Tabla 4. Porcentaje estimado de valores dentro de los límites de la especificación (PWL)	41
Tabla 5. Factor de ajuste del precio unitario por resistencia (FAR)	43

DEFINICIONES

Las siguientes definiciones fueron extraídas y traducidas del documento NCHRP Project No. 10-79 GUIDELINES FOR QUALITY-RELATED PAY ADJUSTMENT FACTORS FOR PAVEMENTS¹.

Ajuste de pago: es el monto real, en la unidad monetaria del contrato o en la unidad monetaria por unidad de área / peso / volumen, que se sumará o restará al precio de oferta del contratista o a su precio unitario de oferta.

Aceptación: el proceso por el cual todos los factores utilizados por una agencia (por ejemplo, toma de muestras, prueba e inspección) se evalúan para determinar el grado de cumplimiento de los requisitos del contrato y para determinar el valor correspondiente para un determinado producto.

Característica de calidad de aceptación: es una característica de calidad que es medida y utilizada para determinar la aceptabilidad.

Desviación absoluta media: es la media de las desviaciones absolutas de un objetivo o valor especificado para una serie de resultados de una prueba.

Factor de pago: es un factor multiplicador, a menudo expresado como un porcentaje que considera una única característica de la calidad y se utiliza para determinar el pago del contratista por una unidad de trabajo.

Factor de pago compuesto: también se llama factor de pago combinado o global. Es un factor de multiplicación, a menudo expresado como un porcentaje, que considera dos más características de calidad y se utiliza para determinar el pago definitivo para el contratista por una unidad de trabajo (se puede establecer utilizando modelos de comportamiento y análisis de costo de ciclo de vida).

Medida de la calidad: cualquiera de las diversas herramientas matemáticas que se utilizan para cuantificar el nivel de calidad de una característica de calidad individual. Las medidas típicas de calidad utilizadas en el aseguramiento de calidad se seleccionan porque cuantifican la calidad media, la variabilidad o ambas. Entre los ejemplos de medidas de calidad que pueden utilizarse figuran: el

¹ (HUGHES, Charles S. et al., 2011, págs. 2-7)

promedio, la desviación estándar, el porcentaje defectuoso, el porcentaje dentro de los límites, la desviación absoluta media, la media móvil y el índice de conformidad. El porcentaje dentro de los límites y el porcentaje defectuoso son las medidas de calidad más recomendadas para las especificaciones de aseguramiento de la calidad.

Muestra: es una pequeña parte de una población (lote) que representa el conjunto. Esto implica una muestra estadística. Por lo tanto, el uso del término tamaño de muestra, n , denota el número de valores de prueba usados para tomar una decisión. No debe confundirse con el tamaño de muestra, que indica una cantidad de material.

Muestreo y ensayo: el muestreo, los ensayos y la evaluación de los resultados de los ensayos se realizan para determinar si la calidad del material producido o de la construcción es aceptable en términos de las especificaciones. Los resultados se utilizan mejor para estimar la calidad de una población. Esto es cierto tanto para las funciones de control de calidad como para las de aceptación. Para estimar la calidad de una población, se necesitan dos medidas, una es la tendencia central de la población estimada y la otra es una medida de su variabilidad.

Nivel de calidad aceptable: es el nivel de calidad real establecido para una característica de calidad que es totalmente aceptable.

Plan de aceptación: también se llama plan de aceptación de muestreo o de aceptación estadística. Es un acuerdo sobre el proceso de evaluación de la aceptabilidad de un material. Incluye el tamaño del lote y el tamaño de la muestra (es decir, número de muestras), la medida de la calidad, los límites de aceptación, la evaluación de riesgos y las provisiones de ajustes de pago.

Población (lote): es una cantidad específica de material similar, construcción o unidades de producto, sujeto a una decisión de aceptación o control de proceso. Puede variar desde toda la historia de un material hasta un solo lote.

Porcentaje defectuoso (PD): corresponde al porcentaje del lote que cae fuera de los límites de la especificación. $PD = 100 - PDL$. PD puede referirse al valor de la población o a la estimación del valor de la población a partir de la muestra. El término porcentaje de no conformidad no debe utilizarse como sinónimo de PD.

Porcentaje dentro de los límites (PDL): es el porcentaje de un lote que cae por encima de un límite inferior de la especificación o por debajo de un límite superior de la especificación. $PDL = 100 - PD$. Puede referirse al valor de la población o a la estimación del valor de la población a partir de la muestra. El término porcentaje conforme no debe utilizarse como sinónimo de PDL.

Las restantes definiciones corresponden al Artículo 100 de las actuales Especificaciones generales de construcción de carreteras INVIAS 2013².

Constructor: “Es el oferente, persona natural o jurídica, adjudicatario del contrato para ejecutar los trabajos de construcción, que ha de cumplir lo establecido en el Pliego de Condiciones y en las especificaciones generales y particulares correspondientes.”

Contrato: “Convenio escrito, suscrito por el Instituto Nacional de Vías y por el Constructor, que describe el alcance, el valor y la forma de pago de los trabajos de obra por realizar y que cubre el suministro de materiales, mano de obra, herramientas y equipos necesarios para la ejecución de cada obra en acuerdo con las especificaciones generales y las particulares y los demás documentos del proyecto según lo establezca el Pliego de Condiciones, así como la responsabilidad del Constructor sobre la estabilidad de los trabajos y todas las demás obligaciones que impone la ley a los contratos de obra pública.”

Especificaciones generales: “Conjunto de disposiciones que especifican las exigencias sobre los materiales por utilizar, las pruebas de control de calidad en las diferentes etapas de la construcción y las modalidades para la medida y el pago de la obra ejecutada. También incluyen, a modo informativo, una descripción de los procedimientos más usuales para construir las obras, de manera que se ajusten a los requisitos especificados.”

Especificaciones particulares: “Conjunto de disposiciones adicionales o complementarias a las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y que priman sobre éstas, las cuales abarcan y definen condiciones específicas de una obra particular.”

Interventor: “Es el oferente, persona natural o jurídica, adjudicatario del contrato para efectuar, en representación del Instituto Nacional de Vías, el control y la vigilancia de los trabajos realizados por el Constructor, que ha de cumplir lo

² (INVIAS, 2013, págs. 100-4 a 100-5)

establecido en los respectivos Términos de Referencia y en todas las disposiciones legales vigentes en relación con el ejercicio de su función, en especial el Manual de Interventoría, adoptado mediante la resolución 2566 de 2010, de la Dirección General del Instituto Nacional de Vías. En caso de que la citada resolución sea reemplazada por otro acto administrativo de igual o superior jerarquía, se considerará la aplicabilidad de este último.”

Norma de ensayo: “Norma que suministra métodos de ensayo, acompañados de su definición o de notas explicativas, o de ambas, ilustraciones, ejemplos, etc.”

Obra: “Trabajos y suministros especificados, diseñados, mostrados o contemplados en el Contrato para la construcción de un proyecto, incluyendo todas las variaciones, correcciones o extensiones por adición o modificación del Contrato o por instrucciones escritas del Interventor, con la aprobación previa del Instituto Nacional de Vías.”

RESUMEN

El proyecto consiste en una investigación bibliográfica acerca de los factores de pago que se tienen implementados en diferentes Departamentos de Transporte (D.O.T. por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos para ajustar el valor de las capas del pavimento cuando no se cumplen totalmente las especificaciones constructivas.

Esta investigación se limita a 3 ó 4 estados del sur de los EE.UU., que son los que tienen condiciones climáticas más parecidas a las de Colombia, pero contempla explicar los casos en que es procedente aplicar dichos factores, cómo funcionan y en la medida de lo posible su fundamento teórico-práctico.

Adicionalmente, se establece la aplicabilidad de los factores de pago en nuestro medio, partiendo de los requerimientos de las actuales especificaciones IDU e INVIAS, las cuales sólo tienen en cuenta unos criterios de aceptación y rechazo que normalmente cuando no se cumplen implican la demolición de capas.

INTRODUCCIÓN

En Colombia no existen metodologías para aceptar capas de pavimento que cumplen parcialmente las especificaciones, aun cuando es posible demostrar con base en investigaciones y casos de estudio que muchas veces el no cumplimiento estricto de las especificaciones no afectará significativamente la vida útil de la obra y que como indemnización es viable aplicar una reducción en el precio o factor de pago para los ítem que no cumplen, (como lo hacen la mayor parte de los Departamentos de Transporte de los Estados Unidos) con base en los resultados de ensayos normales para control de calidad, tales como la granulometría, la densidad y el contenido de ligante en el caso de las mezclas asfálticas.

De esta manera, no sólo se evitan retrasos en la programación de la obra sino también los costos económicos y ambientales de tener que desechar y reponer materiales que todavía sirven.

En la presente monografía se expondrá cómo funcionan estos factores y se analizarán las características del producto terminado (diferentes capas del pavimento) que se controlan en las especificaciones de construcción para la aceptación de las diferentes capas del pavimento con el fin de determinar su aplicabilidad, ya que tanto los contratantes, los contratistas y los beneficiarios de las obras viales en Colombia están interesados en obtener un resultado de calidad en todos los proyectos.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Explicar las metodologías de factores de pago adoptadas por diferentes estados de la zona sur de los Estados Unidos y generar una propuesta técnica para su aplicación en nuestro medio.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los factores de pago que se utilizan para construcción de pavimentos en la zona sur de los Estados Unidos.
- Exponer las bases teóricas que sustentan las formulaciones (factores de pago) utilizadas para calcular los descuentos en los ítem que no cumplen las especificaciones.
- Establecer la aplicabilidad de los diferentes factores de pago en nuestro medio con base en la comparación con las actuales especificaciones de construcción IDU e INVIAS y el estado de conocimiento del comportamiento de los materiales utilizados localmente.
- Generar una propuesta de investigación complementaria que permita adaptar y calibrar los factores de pago a las condiciones de trabajo de nuestro medio (procedimientos constructivos y materiales disponibles).

2. MARCO TEÓRICO

Para la realización de este estudio que tiene como objetivos los mencionados anteriormente, se deben tener en cuenta los aspectos teóricos aplicables de factores de pago en los Estados Unidos, para el desarrollo de obras de calidad, en donde se puede observar que dicho método da una equidad para contratantes, contratistas y beneficiarios de la obra, en donde cada uno de los anteriores cumple una cuota de integración para el correcto desarrollo y confort de las obras recibidas, por lo cual principalmente mencionaremos bases teóricas para el desarrollo de la monografía.

Es así que los estudios describen los casos en los cuales los métodos de pago han influenciado en más de 40 estados de EE.UU, en el cual se aplican métodos de porcentajes de medición de pavimentos en el cual se involucran diferentes factores presentes en la construcción de vías tales como:

- Contenido de asfalto
- Densidad
- Gradación

Dichos porcentajes y estudios dan un aval para estandarizar, los costos de la construcción del pavimento después de finalizar su construcción y poder dar una vida útil de la estructura según los diseños que propuestos y así mismo poder minimizar mantenimientos del pavimento ya que el presupuesto para el mantenimiento del pavimento era casi hasta el 20% del presupuesto total de la construcción de carreteras por año. Según el D.O.T (Departamento de Transporte) por sus siglas en ingles de los estados unidos y muchos países de Europa centran la eficiencia y gestión, para el rendimiento de la estructura.

Estados Unidos realizó una investigación para determinar qué factores tienen consideraciones aplicables para realizar dichos ajustes basándose en estimaciones y herramientas de medición, los cuales se determinaron por relaciones de fatiga los cuales generarían patologías en el pavimento tales como agrietamientos y fisuras.

En 40 estados de Estados Unidos se adoptó el ajuste salarial, en el cual se aplican sus propios factores que afecta el rendimiento principalmente y en gran medida la densidad o contenido de asfalto. Así mismo se llevó a cabo esta investigación para

seleccionar los factores que se consideran aplicables para el ajuste salarial del pavimento.

La determinación del factor de ajuste aplicable a el pago es la cantidad real, ya sea en área / peso / volumen, es decir que se suma o se resta de la el contratista del precio de la oferta o precio de la oferta unidad.

Los valores de diseño especificados debido a los procesos de construcción se ven influidos por muchos factores. Estas variaciones afectarán la calidad del pavimento y el rendimiento, por lo tanto, se generará un impacto negativo tanto a la entidad contratante como usuarios y beneficiarios de la carretera. Por consiguiente, muchos organismos viales incorporan cláusulas de pago de ajuste en su construcción contratos para alentar excelente pavimento de calidad.

2.1 PAVIMENTOS

Los pavimentos son estructuras conformadas por capas horizontales superpuestas que se construyen con materiales compactados y se apoyan en la subrasante de la vía con el fin garantizar la circulación cómoda y segura del tránsito esperado en un periodo de tiempo y resistir su acción sin deteriorarse significativamente.

Todo pavimento debe cumplir las siguientes condiciones:

- Ser resistente a las cargas y al desgaste que le imponga el tránsito para el cual fue diseñado y al intemperismo (agentes climáticos).
- Presentar una textura superficial que cumpla con las especificaciones del diseño y garantice el tránsito libre y seguro de los vehículos, minimizando el efecto de desgaste en las llantas de los vehículos.
- Tener una adecuada regularidad superficial transversal y longitudinalmente de modo que proporcione una comodidad adecuada a los usuarios y conforme con la velocidad de circulación de la vía.
- Ser durable y económico.
- Tener un buen sistema de drenaje como cunetas, un buen bombeo, alcantarillado y anchos de inundación óptimos.
- Ofrecer una buena visibilidad (evitar reflejos y deslumbramientos), generar un nivel de ruido moderado y dar seguridad a conductores y transeúntes.

Los pavimentos se pueden clasificar en:

- Pavimentos flexibles
- Pavimentos rígidos
- Pavimentos semirrígidos
- Pavimentos articulados

2.2 PAVIMENTOS FLEXIBLES

Este tipo de pavimento está conformado por una capa bituminosa (mezcla asfáltica o concreto asfáltico) que normalmente se apoya sobre dos capas no rígidas: base y subbase, generalmente granulares, de las cuales se puede prescindir en algunas ocasiones dependiendo del diseño de la vía y las características topográficas y ambientales.

Ante todo se debe saber que los pavimentos flexibles son aquellos que tienden a deformarse y recuperarse después de sufrir deformación, transmitiendo la carga en forma lateral al suelo de subrasante a través de sus capas.

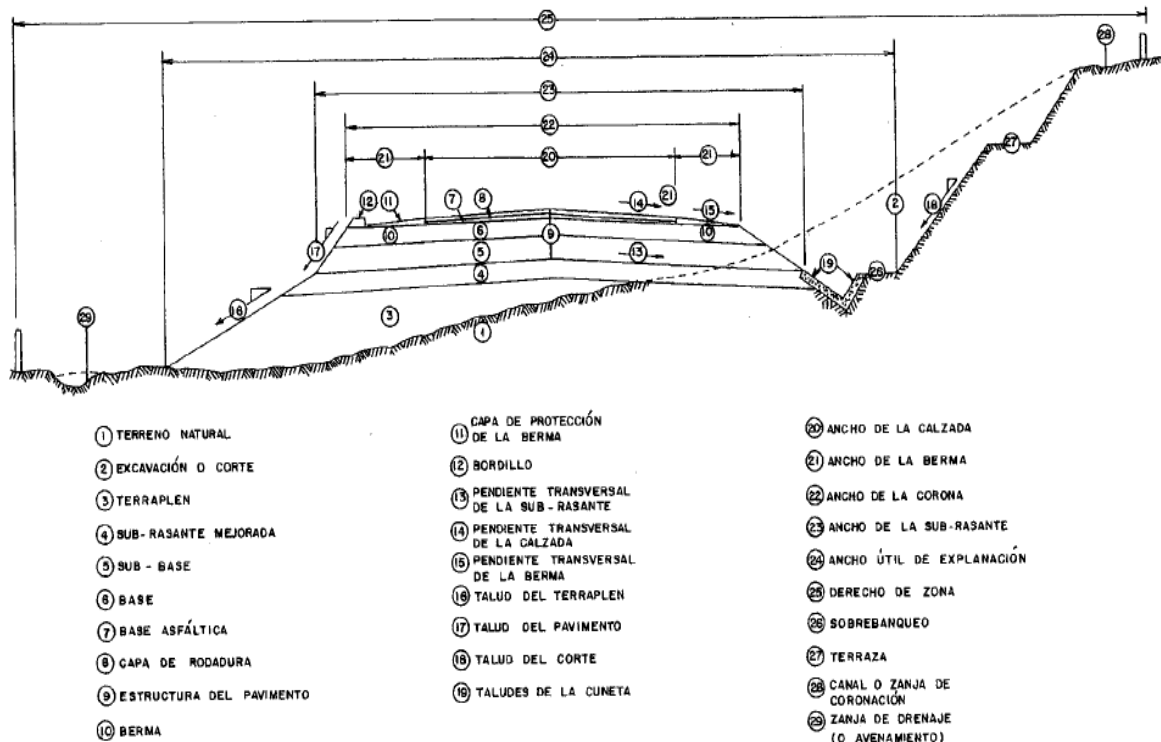


Figura 1. Sección típica de un pavimento ³

³ (Ingeniería de pavimentos para carreteras, 1998, pág. 3)

2.2.1 Capas de un pavimento flexible

- Subbase granular

Esta capa debe transmitir la carga aplicada por los neumáticos de los vehículos de un modo uniforme a la subrasante. Además, debe impedir la penetración de los materiales de base en la subrasante, servir como capa de transición disminuyendo los efectos de los cambios volumétricos de la subrasante en las capas de rodadura y actuar como filtro, evitando la ascensión capilar para que los finos de la subrasante no la contaminen y disminuyan su capacidad estructural.

En las vigentes especificaciones INVIAS 2013 e IDU-ET-2011 se definen tres clases de capas granulares de subbase para vías, las cuales son clase A (SBG_A), clase B (SBG_B) y clase C (SBG_C). La clase de subbase granular (A, B ó C) por emplear en cada caso se debe establecer en los documentos técnicos del proyecto, en función de la importancia de la vía, el nivel de tránsito, el tipo de pavimento y la posición de la capa dentro de la estructura del pavimento.⁴

- Base granular

Esta capa proporciona resistencia y debe transmitir en una magnitud apropiada a la subbase y la subrasante los esfuerzos producidos por la carga de los vehículos.

De igual manera que para la subbase, en las especificaciones se definen tres clases de capas granulares para base, que se denominan Clase A (BG_A), Clase B (BG_B) y Clase C (BG_C); La clase de base granular (A, B ó C) por emplear en cada caso se debe establecer en los documentos técnicos del proyecto, en función de la importancia de la vía, del nivel de tránsito, del tipo de pavimento y de la posición de la capa dentro de la estructura del pavimento.⁵

- Capa de rodadura

Esta capa debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color adecuados, capaz de resistir los efectos producidos por el tránsito. Se coloca sobre la base, su principal objetivo es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Esta capa debe además ser lo suficientemente rugosa y friccionante para que los vehículos no derrapen en condiciones secas y de lluvia intensa.

⁴ (Especificaciones IDU-ET-2011 Sección 400-11, pág. 3)

⁵ (Especificaciones IDU-ET-2011 Sección 400-11, pág. 3)

Además, evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos. Asimismo, la superficie de rodadura contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas.

2.3 PAVIMENTOS RÍGIDOS

Los pavimentos rígidos están contruidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o una subbase (concreto asfáltico, bases estabilizadas y/o bases y subbases granulares). En este tipo de pavimento la losa o placa de concreto reparte las cargas debidas al tránsito en prácticamente toda su área, de modo que las deformaciones son mínimas y el esfuerzo que le llega a las capas inferiores (subbase y subrasante) es muy bajo.

La resistencia de las losas de concreto depende del espesor de diseño. En los sitios previstos para las juntas transversales de contracción se fijan a la superficie canastas metálicas con varillas lisas (pasadores de transferencia de carga o dovelas) de diámetro, longitud y separación según diseño, debidamente engrasadas y colocadas a una altura igual a la mitad del espesor de las losas.

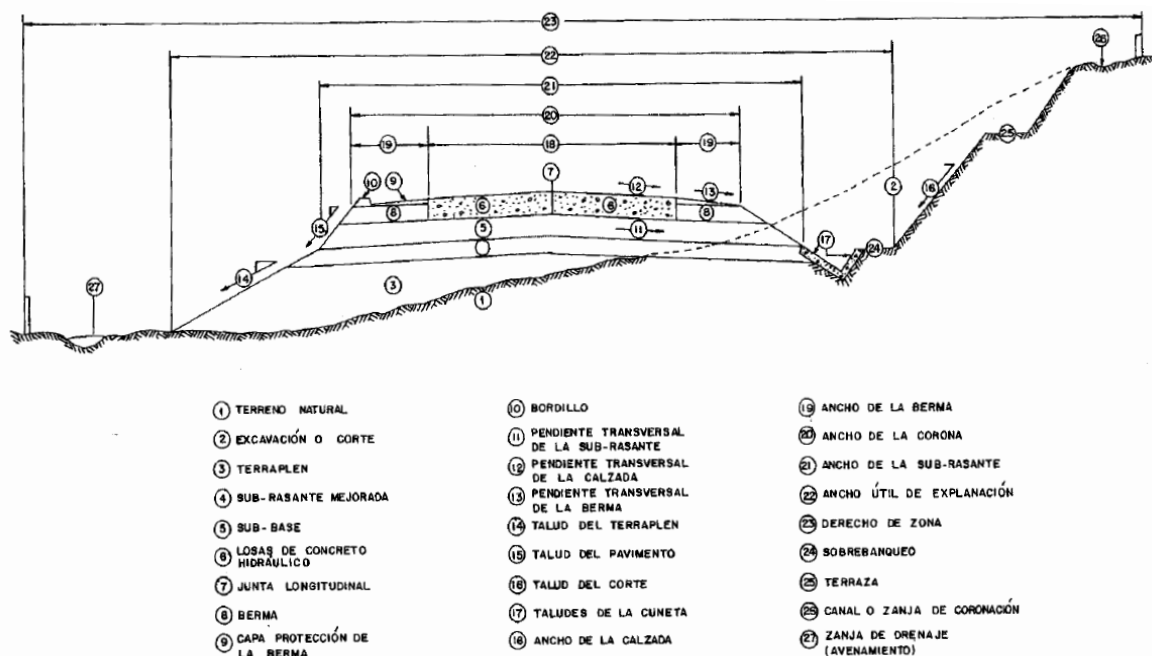


Figura 2. Sección típica de un pavimento rígido.⁶

⁶ (Ingeniería de pavimentos para carreteras, 1998, pág. 6)

2.3.1 Capas de un pavimento rígido

- **Subbase (mezcla asfáltica, bases estabilizadas y/o granulares)**

La capa directamente debajo de las losas impide la acción de bombeo (fluencia de material fino con agua fuera de la estructura de pavimento) en las juntas grietas y extremos del pavimento. Esta capa o conjunto de capas deben soportar la carga transmitida por los vehículos y distribuirla de un modo uniforme a la subrasante.

2.4 PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS

En términos amplios, un pavimento semirrígido ó compuesto es aquel en el que se combinan tipos de pavimentos diferentes, es decir, pavimentos “flexibles” y pavimentos “rígidos”, normalmente la capa rígida está por debajo y la capa flexible por encima. Es usual que un pavimento compuesto comprenda una capa de base de concreto o tratada con cemento Portland junto con una superficie de rodadura en concreto asfáltico o mezcla asfáltica.

La estabilización de suelos por medio de ligantes hidráulicos (cemento Portland) permite que se obtengan materiales con capacidad de soporte suficiente para construir capas para base en pavimentos sujetos a cargas pesadas como pueden ser camiones o aeronaves.⁷

2.5 PAVIMENTOS ARTICULADOS

Está compuesto por una capa de rodadura elaborada por bloques de concreto o arcilla prefabricados (adoquín), colocados sobre una capa de arena que a su vez se apoya sobre un conjunto de capas granulares o estabilizadas (base y subbase) y éstas sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de esta última y la magnitud y frecuencia de las cargas.

2.5.1 Capas de un pavimento articulado

- **Subbase y base granular o estabilizada**

Se colocan entre la subrasante y la capa de rodadura, para distribuir los esfuerzos de modo que a la subrasante le lleguen menores esfuerzos entre menor resistencia tenga. Esta capa o conjunto de capas tienen el mayor espesor dentro de la estructura y proporcionan casi toda la capacidad estructural del pavimento.

⁷ (<http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/01/pavimentos-semirrigidos.html>)

- **Cama o base de arena**

La capa de arena de base o cama es de menor espesor, debe estar limpia se coloca directamente sobre la base, sirve para filtrar el agua entre juntas de adoquín y de asiento para el mismo.

- **Adoquines**

Funcionan por entramamiento (horizontal, vertical y rotacional) y deben tener una resistencia adecuada para soportar la carga aplicada y el desgaste por la abrasión causada por las llantas de los vehículos pesados.⁸

- **Sello de arena**

El sello no es una capa en sí mismo, está compuesto por arena fina que sirve para el rellenar las juntas entre adoquines evitando que se desportillen y transmitiendo esfuerzos verticales por fricción.

⁸ (Ingeniería de pavimentos para carreteras, 1998, págs. 7-8)

3. CONTROLES DE CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO DE LAS ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN INVIAS E IDU

En este punto se resumen los requisitos que deben cumplir las diferentes capas del pavimento (concreto asfáltico, concreto hidráulico y granulares de base y subbase) como producto terminado, según lo establecido en los artículos y secciones más relevantes de las especificaciones de construcción vigentes de INVIAS (2013) e IDU (2011). A partir de este marco referencial se determinará la aplicabilidad de los factores de pago.

3.1 ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVIAS 2013)

Para el control de las mezclas asfálticas en caliente, el concreto hidráulico y las capas granulares de subbase y base se debe hacer para cada lote, el cual se define como la menor área construida que resulte de los siguientes criterios, para una sola capa, ya sea de concreto asfáltico o hidráulico o de base o subbase granular:

- Quinientos metros lineales (500 m) colocados en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3500 m²) colocados.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

Para la determinación del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) en capas de rodadura el criterio aplicado para definir el lote es distinto, ya que su determinación se debe hacer en toda la longitud de la obra y en cada carril, en tramos consecutivos de cien metros (100 m) por carril y un conjunto de cinco (5) tramos constituye un lote.

3.1.1 Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico) - Artículo 450-13

La capa terminada de mezcla asfáltica en caliente deberá presentar una superficie uniforme y se deberá ajustar a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se esté construyendo, no podrá ser menor que la señalada en los planos o la determinada por el Interventor.

La cota de cualquier punto de la mezcla asfáltica compactada en capas de base, no deberá variar en más de quince milímetros (15 mm) de la proyectada y la variación no podrá exceder de diez milímetros (10 mm) cuando se trate de capas intermedia y de rodadura.

Todas las áreas donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, deberán ser corregidas por el Constructor de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a plena satisfacción de éste, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías.

Se determinará según la densidad de la capa compactada en donde se realizará, como mínimo, en cinco (5) sitios por lote. Los sitios para la toma de muestras o las mediciones in situ se elegirán al azar, se deberá calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno.

Para el espesor se determinará sobre la base del lote escogido para el control de la compactación y en los mismos puntos de verificación, el espesor promedio de la capa compactada, el cual no podrá ser inferior al espesor de diseño.

La capa de rodadura no deberá presentar acumulaciones de agua ni irregularidades en su superficie mayores a (10 mm) en capas de rodadura o quince milímetros (15 mm) en capas de base o intermedias y bacheos

Una vez transcurridos, como mínimo, treinta (30) días de la puesta en servicio, se harán las determinaciones de la resistencia al deslizamiento sobre mezclas densas en caliente construidas para servir como capas de rodadura.

El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) se comprobará de manera continua en toda la longitud de la obra y en cada carril, antes del recibo definitivo de la misma. Para los efectos de aceptación del pavimento terminado, se deberá realizar, únicamente, con procedimientos de medida de precisión o con equipos de referencia inercial.⁹

⁹ (INVIAS, Art. 450-13 mezclas asfálticas, pág. 33)

3.1.2 Pavimento de concreto hidráulico - Artículo 500-13

Según la norma INVIAS la capa terminada deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas en los planos del proyecto o modificadas con autorización del Interventor.

La cota de cualquier punto del pavimento curado no deberá variar en más de cinco milímetros (5mm) de la proyectada. De igual manera, no deberán existir depresiones mayores a tres milímetros (3 mm), controladas con una regla de tres metros (3 m). Las losas que presenten anomalías por encima de estos límites deberán ser demolidas y sus escombros deberán ser transportados a los sitios aprobados para su recepción, todo a expensas del Constructor, quien las reemplazará a su costa. El producto de la demolición será de su propiedad.

El Interventor puede aceptar losas agrietadas sin demoler, para el cual se dejará constancia de ello en el acta de recibo definitivo de las obras y el Instituto Nacional de Vías podrá exigir, durante el período de garantía de la estabilidad de la obra, la demolición total y la posterior reconstrucción de las losas agrietadas, si las grietas se han agravado o ramificado, o si han sido el origen de daños en las losas vecinas. Estas últimas también deberán ser demolidas y reconstruidas con cargo a la garantía.

El espesor de la losa se determinará durante la construcción del pavimento en el cual se deberán nivelar el eje y los bordes del pavimento cada veinte metros (20 m) a lo largo del eje, tanto sobre la superficie de soporte del pavimento, como en la superficie del pavimento de concreto hidráulico, después de su ejecución y curado. Estas verificaciones de nivel se deberán realizar exactamente en los mismos puntos. El valor promedio de los espesores obtenidos en cada abscisa, se considerará como el espesor del pavimento en ella. El lote de pavimento se aceptará, en relación con el espesor, si el valor promedio de éste es igual o mayor que el espesor de diseño y la diferencia entre el espesor máximo y el mínimo del lote, no excede de diez milímetros (10 mm). En caso que el espesor promedio del pavimento en el lote resulte inferior.

Para efectos de la Resistencia del pavimento, se extraerán de cada lote, en sitios escogidos al azar sobre las losas elaboradas con las mezclas que presentaron los valores aceptables más bajos de resistencia de control, al menos cinco (5) vigas prismáticas para determinar la resistencia a la flexión ó cinco (5) núcleos cilíndricos para determinar la resistencia a compresión, según el tipo de

resistencia que se haya adoptado para el control. Estos elementos se tomarán conforme lo indica la norma INV E – 418. Las dimensiones de las vigas serán seis por seis por veinte pulgadas (6"x 6"x20") y los núcleos deberán tener un diámetro de ciento cincuenta milímetros (150 mm). El pavimento del cual se extraen los elementos deberá tener una edad de, cuando menos, veintiséis (26) días. Los elementos extraídos se sumergirán en agua durante cuarenta y ocho (48) horas y, a continuación, se someterán a falla por flexión o compresión, según el caso.

El módulo del concreto se determina sobre los núcleos cilíndricos extraídos del pavimento para el control de resistencia a la compresión, el valor promedio de cada lote deberá ser reportado y se empleará, si corresponde, en la revisión de los diseños estructurales del pavimento.

Si el control de resistencia se va a realizar mediante vigas sometidas a flexión, se deberá extraer el mismo número de núcleos cilíndricos, en las mismas losas, para la determinación del módulo de elasticidad.

Todos los orificios resultantes de la extracción de testigos para determinar la resistencia, la densidad y el módulo elástico del pavimento terminado, deberán ser rellenados, vibrados y curados por el Constructor, a la mayor brevedad posible y sin costo para el Instituto Nacional de Vías, con un concreto de igual o mayor resistencia que el extraído.

Según la norma INVIAS la alineación de los pasadores en las juntas transversales se podrá verificar mediante tomografía magnética, empleando un dispositivo MIT Scan 2 o uno equivalente.

Si existen desviaciones superiores a las consideradas aceptables, el constructor dispondrá de dos opciones:

- Realizar, a su costa, los trabajos de realineación de las varillas desviadas, empleando un procedimiento sancionado por la experiencia y aceptado por el Interventor.
- No realizar ninguna intervención.

Si acoge la segunda opción, de ello se dejará constancia en el acta de recibo definitivo de la obra y los registros respectivos se incluirán en el informe final de interventoría. En tal evento, serán de responsabilidad exclusiva del Constructor los agrietamientos transversales que se presenten en las losas a causa de la falta de

alineación, durante el período de vigencia de la garantía de estabilidad de la obra y, por lo tanto, estará obligado a reconstruir las losas afectadas y a reponer, a su costa, todo el sistema de transferencia de carga de ellas, a satisfacción completa del Instituto Nacional de Vías, durante dicho período.¹⁰

3.1.3 Subbase granular y base granular - Artículos 320-13 y 330-13

Para los materiales granulares la norma INVIAS da a conocer que la capa de subbase granular terminada deberá presentar una superficie uniforme, sin agrietamientos, baches, laminaciones ni segregaciones. Además menciona que si el Interventor considera que es necesario realizar correcciones por este concepto, delimitará el área afectada y el Constructor deberá escarificarla en un espesor de cien milímetros (100 mm) y, después de efectuar las correcciones necesarias, mezclará y compactará de nuevo hasta que tanto el área delimitada como las adyacentes cumplan todos los requisitos exigidos en el artículo 320 del INVIAS.

La capa de subbase granular terminada deberá ajustarse a las rasantes y a las pendientes establecidas en los documentos del proyecto, sin que existan zonas donde se retenga el agua superficial. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la berma no será inferior a la señalada en los planos o la definida por el Interventor.

Para la verificación de la compactación de la capa de subbase granular el INVIAS, define como “lote”, que se aceptará o rechazará aplicando los siguientes parámetros:

- Quinientos metros lineales (500 m) de capa compactada en el ancho total de la subbase.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3500 m²) de subbase granular compactada.
- El volumen construido en una jornada de trabajo.

La selección para realizar la toma de muestras es al azar, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro. En el cual se deberán realizar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

¹⁰ (INVIAS, Artículo 500 INVIAS concreto hidraulico, 2012, pág. 46)

Para la determinación del espesor de la base del lote escogido para realizar el control de la compactación y en los mismos puntos de verificación, se determinará el espesor promedio de la capa compactada, el cual no podrá ser inferior al espesor de diseño.

Según la norma INVIAS para el producto terminado es necesario tener en cuenta la lisura en el cual el Interventor comprobará la uniformidad de la superficie de la obra ejecutada, en todos los sitios que considere conveniente hacerlo, empleando para ello una regla de tres metros (3 m) de longitud, colocada tanto paralela como normalmente al eje de la vía, no admitiéndose variaciones superiores a veinte milímetros (20 mm), para cualquier punto que no esté afectado por un cambio de pendiente. Cualquier área donde se detecten irregularidades que excedan esta tolerancia será delimitada por el Interventor, y el Constructor deberá corregirla con reducción o adición de material en capas de poco espesor, en cuyo caso, para asegurar buena adherencia, será obligatorio escarificar la capa existente y compactar nuevamente la zona afectada, hasta alcanzar los niveles de compactación exigidos el INVIAS.

Los agregados no deberán sufrir una degradación excesiva con motivo de su manejo y compactación en obra. Para verificarlo, el Interventor tomará, cada semana, muestras representativas del material colocado y compactado durante la semana previa, las cuales someterá a ensayos y así los resultados de estos ensayos deberán satisfacer las exigencias indicadas.¹¹

3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO (IDU-ET-2011)

3.2.1 Mezclas asfálticas en caliente - Sección 510-11

Las especificaciones técnicas del IDU dan parámetros en funciones de "lote", que se aceptará o rechazará, la menor área construida que resulte de los siguientes criterios:

- Quinientos metros lineales (500 m) de mezcla asfáltica en caliente colocada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3500 m²) de mezcla asfáltica en caliente colocada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

¹¹ (INVIAS, Art. 320-07 subbase granular, pág. 6)

La especificación indica que la capa terminada deberá presentar una superficie uniforme, y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se esté construyendo, excluyendo sus chaflanes, no podrá ser menor que la señalada en los planos. La cota de cualquier punto de la mezcla asfáltica compactada en capas de base no deberá variar en más de quince milímetros (15 mm) de la proyectada, y la variación no podrá exceder de diez milímetros (10 mm) cuando se trate de capas intermedia y de rodadura.

El módulo de esta especificación da a conocer que el porcentaje de compactación deberá ser, cuando menos, el noventa y ocho por ciento (98%) del valor promedio obtenido al compactar en el laboratorio, con la técnica Marshall, las cuatro (4) probetas por lote.

El contenido de vacíos con aire promedio del lote, determinado según la norma de ensayos, no podrá ser mayor a 8% ni menor que 3%; se exceptúan las juntas, en las cuales este contenido promedio podrá ser máximo del 11%. Los contenidos de vacíos de los testigos individuales no podrán superar los requisitos establecidos para los valores promedio en más de 2 puntos (2%).

Para la capa de rodadura el IDU establece que la superficie acabada no podrá presentar zonas de acumulación de agua (encharcamientos), ni irregularidades mayores de diez milímetros (10 mm) en capas de rodadura, o quince milímetros (15 mm) en capas intermedias, de base y bacheos, cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), colocada tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja al azar el Interventor, los cuales no podrán coincidir con cambios de pendiente. Para dichas zonas que presenten deficiencias de este tipo deberán ser fresadas y repuestas por el Constructor, a sus expensas, y a plena satisfacción del Interventor. El material fresado será de propiedad del Constructor.

La densidad promedio de los núcleos no será menor que noventa y siete por ciento (97%) y ningún núcleo tendrá una densidad menor que noventa y seis por ciento (96%) con respecto a la densidad promedio de las probetas cilíndricas elaboradas de los lotes correspondientes.

Para la medición del Índice de Rugosidad (IRI) el IDU para mezclas asfálticas en caliente que hagan las veces de capa de rodadura, el Índice de Rugosidad

Internacional (IRI) se comprobará de manera continua en toda la longitud de la obra y en cada carril, antes del recibo definitivo de la misma. Para los efectos de aceptación de esta Sección, su determinación se deberá realizar únicamente con un equipo de medida de precisión, o por medio de un sistema de navegación inercial, en tramos de un hectómetro (1 hm).¹²

3.2.2 Pavimento de losas de concreto hidráulico - Sección 600-11

Refiriéndose al módulo IDU determina que para la capa terminada deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa construida no podrá ser menor que la indicada en los planos o la determinada por el Interventor. La cota de cualquier punto del pavimento curado, no deberá variar en más de cinco milímetros (5 mm) de la proyectada. De igual manera no deberán existir depresiones mayores a tres milímetros (3 mm), controlados con regla de tres metros (3 m). Las losas que presenten anomalías por encima de los límites especificados deberán ser demolidas y los escombros deberán ser transportados a los sitios aprobados para la recepción de ellos, todo a expensas del Constructor, quien las reemplazará a su costa.

Para la verificación del espesor de la losa según la norma IDU y después del fraguado de las losas, el constructor tomará secciones topográficas para verificar los niveles de la superficie y los espesores colocados. Así mismo, una vez retiradas las formaletas, se realizarán las verificaciones de espesores en los costados de las losas. La verificación de espesor para aceptación o rechazo se realizará subdividiendo la superficie del pavimento en zonas con un área de tres mil quinientos metros cuadrados (3.500 m²) cada una. Cada zona se subdividirá en sectores de trescientos cincuenta metros cuadrados (350 m²) cada uno, debiendo extraerse de cada sector un (1) testigo cilíndrico o núcleo mediante equipos provistos de brocas rotativas. El testigo se extraerá luego de transcurridos quince (15) días desde la colocación del concreto. El agujero dejado por los núcleos en el pavimento deberá rellenarse a más tardar al día siguiente del corte, con un concreto apropiado de la misma calidad del concreto del pavimento, que no se contraiga; antes de su colocación, se debe aplicar una resina en las paredes del hueco, del tipo V, según la especificación.

¹² (MODULO IDU 510-11 MEZCLA ASFALTICA, pág. 40)

Si el espesor promedio de los dos (2) testigos correspondientes a un sector resulta inferior al espesor teórico de diseño en más de diez milímetros (10 mm), el constructor deberá demoler, retirar y disponer escombros y reconstruir el pavimento a su costa, de modo de cumplir todas las exigencias de la presente especificación. Igual procedimiento se seguirá cuando el espesor de un (1) testigo resulte inferior en más de quince milímetros (15 mm) con respecto al teórico del diseño.

Para la transferencia de cargas en las juntas se deberá comprobar la transferencia de cargas, tanto en las juntas longitudinales como transversales, siguiendo las indicaciones de los documentos técnicos del proyecto. En ellos se fijarán también los valores mínimos admisibles y los procedimientos a seguir en caso de incumplimiento.

Para la medición del Índice de Rugosidad (IRI) el IDU para mezclas asfálticas en caliente que hagan las veces de capa de rodadura, el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se comprobará de manera continua en toda la longitud de la obra y en cada carril, antes del recibo definitivo de la misma. Para los efectos de aceptación de esta Sección, su determinación se deberá realizar únicamente con un equipo de medida de precisión, o por medio de un sistema de navegación inercial, en tramos de un hectómetro (1 hm)¹³

3.2.3 Capas granulares de base y subbase - Sección 400-11

Para los materiales granulares la especificación IDU nos refiere que la capa terminada deberá presentar una superficie uniforme, sin agrietamientos, baches, laminaciones ni segregaciones. Si el Interventor considera que es necesario realizar correcciones por este concepto, delimitará el área afectada y el constructor deberá escarificarla en un espesor de cien milímetros (100 mm) y, después de efectuar las correcciones necesarias, mezclará y compactará de nuevo hasta que tanto el área delimitada como las adyacentes cumplan todos los requisitos exigidos en la presente sección.

La capa terminada, ya sea base ó subbase granular, deberá ajustarse a las rasantes y a las pendientes establecidas en los documentos del proyecto, sin que existan zonas donde se retenga el agua superficial. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la berma no será inferior a la señalada en los planos o la

¹³ (MODULO IDU 600-11 CONCRETO HIDRAULICO, pág. 59)

definida por el Interventor. Las variaciones de las cotas, respecto de las establecidas en el proyecto, no podrán exceder de +0.0 mm y -20.0 mm.

Si se detectan zonas con un nivel inferior a la tolerancia indicada, ellas se deberán escarificar en un espesor mínimo de cien milímetros (100 mm), para enseguida agregar material granular (base ó subbase granular según sea el caso), humedecer, mezclar, recompactar y terminar la superficie hasta lograr la densidad seca y las cotas exigidas por la especificación IDU. Alternativamente, el Interventor las podrá aceptar, siempre que el Constructor se comprometa, por escrito, a compensar la merma con el espesor adicional necesario de la capa superior, sin que ello implique ningún incremento en los costos para el IDU.

Para efectos de la verificación de la compactación de la capa granular que se esté colocando, se define como “lote”, que se aceptará o rechazará en conjunto, el menor volumen que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Doscientos cincuenta metros lineales (250m) de capa granular compactada.
- Unos mil setecientos cincuenta metros cuadrados (1750 m²) de capa granular compactada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

Los sitios para la determinación de la densidad seca en el terreno de cada capa se elegirán al azar, según la norma de ensayo INV E-730-07 “Selección al azar de sitios para la toma de muestras”, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro. Se deberán efectuar, como mínimo, cuatro (4) ensayos por lote.

Para efectos de terminación del espesor la especificación IDU se refiere a la base del lote escogido para el control de la compactación y en los mismos puntos de verificación, se determinará el espesor promedio de la capa compactada, el cual no podrá ser inferior al espesor de diseño

Además, el valor obtenido en cada determinación individual deberá ser, como mínimo, igual al noventa por ciento (90%) del espesor de diseño, admitiéndose un (1) solo valor por debajo de dicho límite, siempre que este último valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85%) del espesor de diseño. Si la exigencia no se cumple, el Constructor deberá escarificar la capa en un espesor mínimo de cien milímetros (100 mm), añadir el material necesario de las mismas características y re compactar y terminar la capa conforme lo exige el IDU. Si el

espesor medio resulta inferior al espesor de diseño, pero ningún valor individual es inferior al noventa por ciento (90%) del espesor de diseño, el Interventor podrá admitir el espesor construido, siempre que el Constructor se comprometa, por escrito, a compensar la merma con el espesor adicional necesario de la capa superior, sin que ello implique ningún incremento en los costos para el Instituto de Desarrollo Urbano.

El IDU determina que para la Lisura de la capa el Interventor comprobará la uniformidad de la superficie de la obra ejecutada, en todos los sitios que considere conveniente hacerlo, empleando para ello una regla de tres metros (3 m) de longitud, colocada tanto paralela como normalmente al eje de la vía.

Cualquier área donde se detecten irregularidades que excedan esta tolerancia será delimitada por el Interventor, y el Constructor deberá corregirla con reducción o adición de material en capas de poco espesor, en cuyo caso, para asegurar buena adherencia, será obligatorio escarificar la capa existente y compactar nuevamente la zona afectada, hasta alcanzar los niveles de compactación exigidos.

Las conservaciones de las propiedades de los agregados no deberán sufrir una degradación excesiva con motivo de su manejo y compactación en obra. Para verificarlo, el Interventor tomará, cada semana, muestras representativas del material colocado y compactado durante la semana previa, las cuales someterá a los ensayos.¹⁴

¹⁴ (Especificaciones IDU-ET-2011 Sección 400-11, 2001, pág. 16)

4. FACTORES DE PAGO

Casi todas las carreteras, puentes, aeropuertos y sistemas de tránsito en los EE.UU. son propiedad de los gobiernos estatales y locales u organismos creados por el gobierno, que son responsables de la construcción y el mantenimiento de los mismos. Cada estado tiene un Departamento de Transporte (DOT) como lo hacen la mayoría de los condados y ciudades. El gobierno ayuda a los gobiernos estatales y locales para la construcción y mantenimiento de aeropuertos, sistemas de tránsito y carreteras principales

La Administración Federal de Carreteras y la Administración Federal de Tránsito utilizan los ingresos para pagar las mejoras realizadas a las autopistas y sistemas de transporte público. Los ingresos se pueden utilizar para diseñar, construir, mejorar y conservar las carreteras nacionales y la mayoría de las otras carreteras importantes, llevar a cabo la mitigación ambiental, y hacer otras mejoras, pero no pueden ser utilizados para el mantenimiento de rutina, tales como rellenar baches o quitar la nieve. Los ingresos por cuenta de transporte de masas pueden ser usados para construir y el mejorar metro, tren ligero y otros sistemas de transporte masivo, la compra de autobuses y realizar otras mejoras de capital, pero en general no para gastos de funcionamiento.

Los Estados Unidos cuentan con una extensa red de transporte. Además de 4,12 millones de millas de carreteras, la infraestructura de transporte es la siguiente:

- 608,445 puentes
- 5.145 aeropuertos de uso público, 13,863 aeropuertos privados que sirven a los viajes aéreos y de ocio y 286 aeropuertos militares.
- 138,565 millas de vías de ferrocarril que transporta la mayor parte de la carga pesada de la nación y la producción agrícola. Esto incluye la pista operados por los ferrocarriles de carga Clase 1 de la nación, los ferrocarriles de carga regionales y locales ferrocarriles de carga. Amtrak opera 21.225 millas de servicio ferroviario de pasajeros en los EE.UU., en gran parte por camino de propiedad de los ferrocarriles de carga.
- Más de 271.000 millas de ruta-de autobuses de línea, además de 12.413 millas de tránsito ferroviario fijo incluyendo trolebuses, trenes de cercanías, metros y

sistemas de tren ligero. Los sistemas de transporte de riel fijo sirven 3.216 estaciones donde los pasajeros pueden subir a los trenes o de salida.

- 15.322 instalaciones de navegación sobre 29.620 millas de canales navegables en los Estados Unidos.

De acuerdo con los datos del Departamento de Transporte de Estados Unidos 2013 informaron todos los niveles de gobierno deben invertir \$ 95,6 mil millones en mejoras de la carretera durante 2014 sólo para mantener las condiciones físicas y de rendimiento actuales en las carreteras y puentes de la nación. Este crecería a \$ 109 millones en 2020 si los costos de construcción de carreteras crecen a la misma tasa que la tasa de inflación general. El costo para mejorar carreteras al hacer todas las inversiones con una relación costo-beneficio positivo serían \$ 161,7 mil millones en el año fiscal 2014, creciendo a \$ 184,2 mil millones para el año fiscal 2020.

Los costos de construcción por milla de carretera dependen de la ubicación, el terreno, el tipo de construcción, número de carriles, ancho de carril, la durabilidad, el número de puentes, etc.

Algunos estados han desarrollado modelos de costos para orientar la planificación de sus programas de construcción de carreteras. Estos modelos dan una cifra aproximada para los diversos tipos de mejoras de la carretera.

El Departamento de Transporte de Florida ha publicado su coste genérico por cada milla.¹⁵

Para el proceso de pago por cantidades se inserta una unidad de precio de la oferta numérica para cada elemento de pago durante el cual aparece una cantidad en el cronograma de su propuesta. Multiplicar el precio de la oferta por la unidad de la cantidad de cada elemento de pago el cual muestra la oferta final.

Las cantidades que figuran en el cronograma de la propuesta son aproximadas, a no ser designada como una cantidad contrato, y son utilizado para la comparación de las ofertas. El pago se efectuará por las cantidades reales de trabajo realizado

¹⁵ (<http://www.artba.org/about/faq/> American Road, transportation, s.f.)

y aceptado o material suministrado de acuerdo con el contrato. Las cantidades previstas se pueden aumentar, disminuir o eliminar.¹⁶

CONTROL DE TRABAJO

Autoridad del oficial de contrataciones (CO). El CO puede delegar autoridad a los representantes de decidir sobre la aceptabilidad del trabajo, el progreso del trabajo, suspensión de los trabajos, la interpretación del contrato, y cumplimiento del contrato aceptable. El término " CO " incluye representantes autorizados de la CO, incluidos los inspectores, dentro de los límites de su autoridad y por delegación del CO.

Los inspectores están autorizados para inspeccionar el trabajo incluyendo la preparación, fabricación, o la fabricación de material para el proyecto. El inspector no está autorizado a modificar o anular los requisitos del contrato, actúan como capataz para el contratista, o directamente las operaciones del contratista. El inspector tiene autoridad para identificar disconforme el trabajo hasta que el problema se pueda resolver.¹⁷

Los límites de especificación, las tolerancias, los resultados de las pruebas y los cálculos relacionados estarán determinados según los diseños, además se deberá realizar trabajos a las líneas, grados, secciones transversales, dimensiones y procesos o requisitos de materiales que se indican en el contrato. Incorporar el material fabricado en el trabajo de acuerdo con las recomendaciones del fabricante o estas especificaciones, de manera estricta.

Realizar el trabajo y proporcionar material que sea de carácter uniforme y razonablemente cercano al valor prescrito o dentro del rango de tolerancia especificado. El propósito de un rango de tolerancia es acomodar ocasionalmente pequeñas variaciones de la zona mediana que son inevitables por razones prácticas.

El Gobierno puede inspeccionar, el trabajo antes de la aceptación final del proyecto. Las pruebas gubernamentales pueden o no realizarse en el lugar de trabajo, los trabajos aceptables que se ajusten al contrato se pagarán al precio de

¹⁶ (Standar Specification for Construction Of Roads and Brigdes on feredal highway projects Departament Of Transportation, U.S. , pág. 11)

¹⁷ (Standar Specification for Construction Of Roads and Brigdes on feredal highway projects Departament Of Transportation, U.S. , pág. 16)

oferta de la unidad contractual. El método principal de aceptación se especifica en cada Sección de trabajo, pero el trabajo puede ser rechazado si se descubre que no cumple con el contrato.¹⁸

El Gobierno podrá inspeccionar, muestra, o el trabajo de prueba antes de la aceptación final del proyecto, los resultados de las pruebas determinaran la aceptabilidad y el factor de pago de la obra.

En caso de que el trabajo no sea aceptado el contratista podrá hacer una solicitud por escrito de las cuales tendrá alternativas de:

- Tener la obra aceptada, a un precio reducido; o
- Realizar las medidas correctivas para que el trabajo llegue a conformidad.

Deberá Incluir la debida justificación de apoyo y documentación en la solicitud. Además de referencias o datos que justifican la propuesta basada en una evaluación de los resultados de la prueba, el efecto sobre la vida útil, el valor del material o de trabajo, la calidad, la estética. El CO determinará la disposición de la no conformidad trabajo.

Se realizan en principio una **inspección visual** en donde la aceptación se basa en la inspección visual de la obra para el cumplimiento del contrato y que se lleve a cabo el cumplimiento de las normas.¹⁹

La determinación del factor de pago consiste en un método de análisis de inspección o resultados de las pruebas para determinar la conformidad con el contrato, basándose en su evaluación estadística, tanto el Gobierno como contratista asumen un cierto riesgo.

El riesgo del Gobierno es la probabilidad de que se acepte el trabajo de su nivel de calidad sea rechazable. El riesgo del contratista es o bien la probabilidad de que el trabajo producido sea de calidad aceptable, rechazado, o la probabilidad de que el

¹⁸ (Standar Specification for Construction Of Roads and Brigdes on feredal highway projects Departament Of Transportation, U.S. , pág. 25)

¹⁹ (Standar Specification for Construction Of Roads and Brigdes on feredal highway projects Departament Of Transportation, U.S. , pág. 26)

trabajo producido se acepta a menos del contrato es decir el precio de la oferta tiene un porcentaje unidad de pago por precio unitario.²⁰

El nivel de calidad aceptable es el porcentaje más bajo de trabajo dentro de los límites de especificación que se considerado aceptable para el pago al precio de la oferta unidad de contrato, de los cuales existen dos categorías de aceptación la primera el límite es el 95% que significa aceptación y por debajo del 90% en ambos casos pueden ser aceptados, aun así el contratista deberá producir un trabajo de calidad uniforme, debe tener en cuenta que debajo del 90% corre el riesgo de que el trabajo sea rechazado.

Las características de calidad que han de evaluarse, frecuencia, lugar de muestreo en donde se aplica lo siguiente:

(1) Superficie del terreno. Un lote es una cantidad discreta de trabajo al que el procedimiento de evaluación estadística es aplicado donde normalmente representa la cantidad total de trabajo producido.

(2) Frecuencia de muestreo. El índice de frecuencia se muestra normalmente requiere al menos 5 muestras. el mínimo requerido para llevar a cabo una evaluación estadística es de 3 muestras. Un aumento en la frecuencia de muestreo puede resultar en un factor de pago reducida.

(3) Ubicación de muestreo. La ubicación exacta de muestreo se determina por el CO basado en números al azar.

(4) Los límites de especificación. Los límites de especificación de las características de calidad se enumeran en el contratar la obra en cuestión.

(b) Aceptación. El trabajo en el lote será pagado en un factor de pago final cuando todas las inspecciones o pruebas se terminen y evalúen²¹.

Es por esto que lo referido en la consulta anterior hace exigir un buen resultado posterior a la construcción no solo de las vías de los Estados Unidos, si no en otro medio de transporte, ya que representa un fondo y costo para los habitantes del

²⁰ (Standar Specification for Construction Of Roads and Brigdes on feredal highway projects Departament Of Transportation, U.S. , pág. 27)

²¹ (Standar Specification for Construction Of Roads and Brigdes on feredal highway projects Departament Of Transportation, U.S. , pág. 28)

país relacionado, este método del cual se explicara más adelante, es en el que la idea del presente trabajo quiere dar a conocer un método de pago al contratista para la ejecución de la obra con la mayor calidad posible, en donde dicho factor de pago podría ser determinante a la hora de entregar una obra de construcción vial.

A continuación, se relacionarán datos teóricos de los cuales hacen presente el método a implementar.

Los datos necesarios e importantes al momento de ejecutar una obra por calidad y proceder a la buena ejecución del diseño y a la construcción de obra como tal, se debe tener en cuenta aspectos tales como:

- Geología y geotecnia
- Sondeos, apiques
- Procedencia de materiales
- Diseño geométrico, programación
- Condiciones climáticas e hidrológicas
- Análisis de precios, presupuestos
- Tránsito (PMT)
- Seguridad Industrial y salud ocupacional

Por parte y normatividad del INVIAS el constructor debe presentar una solicitud de aprobación por escrito al Interventor de cada parte de la obra.

El constructor debe presentar un informe en el cual se demuestre que la obra ha cumplido con los requerimientos exigidos de calidad según especificaciones; el informe deberá contener el concepto del ingeniero de calidad del proyecto, que incluya aspectos de verificación de cumplimiento de todos los requisitos, que lleven al buen desarrollo del proyecto.

Como en toda obra civil se debe tener un control por parte del interventor el cual será el encargado de la inspección y medición el cual debe verificar la ejecución de la obra, para efectos de aceptación o rechazo y así mismo dar la autorización de su pago.

Los factores de pago se estiman por el método de PWL (percent within limits; porcentaje dentro de los límites), son de medición herramientas para la gestión del pago de la carretera de asfalto para aplicar la teoría de probabilidades.

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials por sus siglas en inglés - Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes, en español) propone como una ecuación de factores de pago como:

$$PF = 55 + 0.5 PWL(\text{Porcentaje dentro del limite})$$

Los Estados Unidos adoptan básicamente 8 factores básicos de ajuste dentro de más de 30 Estados, incluyendo la florida y Texas que son fuente de investigación para próximos trabajos de grado, el cual tomaremos como base por su condición climática, para aplicarlos en nuestra norma ya sea IDU y/o INVIAS, cabe aclarar que las normas INVIAS ya cuentan con adelantos en dicho tema.

La figura 1 explica la frecuencia de aplicación, en determinados Estados:

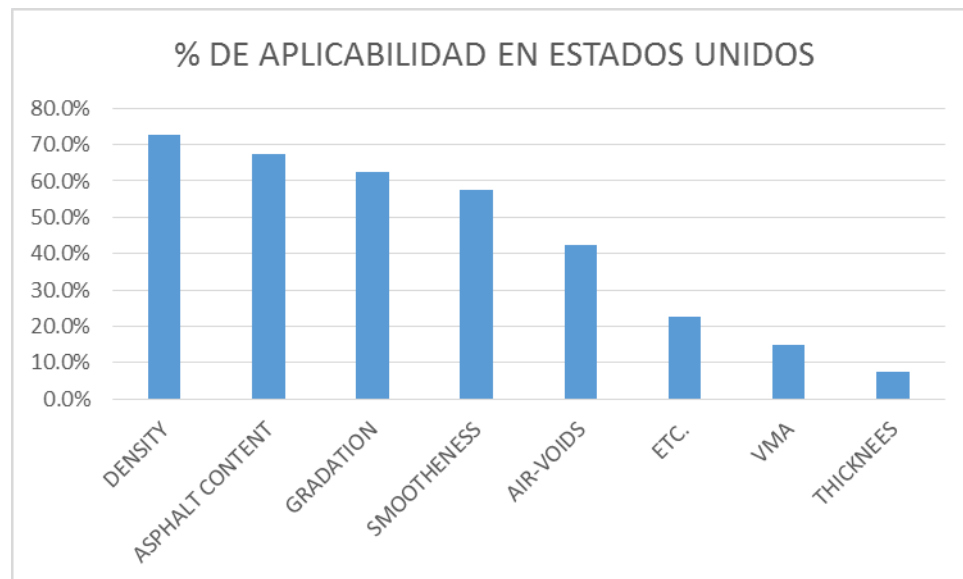


Figura 3. Frecuencia de aplicación factores de pago (Hwang S. R., 2009)²²

La información en la Tabla 1. indica el nivel de aceptación del PWL que en el tiempo actual se utiliza en los Estados Unidos y se representa en la Figura1.

²² (Hwang S.-M. , 2009, pág. 88)

Estimated PWL	Payment Factor, %
95.0 - 100.0	102
85.0 - 94.9	100
50.0 - 84.9	90
0.0 - 49.9	70

Tabla 1. Factor de pago según PWL. (HUGHES, Charles S. et al., 2011)²³

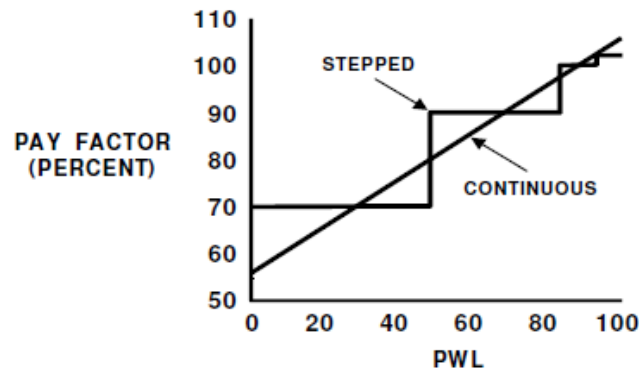


Figura 4. Factores de pago continuo y escalonado ²⁴

4.1 SELECCIÓN DE LOS FACTORES DE PAGO DE AJUSTE

El rendimiento de mezcla de asfalto puede ser pronosticado por algunos factores como el contenido de asfalto aglutinante, la densidad, volumen de vacíos, de aire, la gradación y el contenido de asfalto. Los factores mencionados anteriormente son importantes para determinar el comportamiento del pavimento ya que con estos son factores críticos que afectan el asfalto.

Estos factores pueden clasificarse en tres divisiones las cuales se pueden identificar en la tabla 2, los cuales da a conocer los factores de Factores de influencia en el rendimiento del pavimento de asfalto de carreteras.

²³ (HUGHES, Charles S. et al., pág. 15)

²⁴ (HUGHES, Charles S. et al., pág. 15)

Table 1 Influence factors to performance of asphalt road pavement

Division	Factors
Quality Management Factors	In-place density, Air-voids, Asphalt Binder Contents, VMA, Gradation
Permit for Completion Factors	Thickness, Smoothness
Construction Management Factors	Temperature

Tabla 2. Factores de influencia en el rendimiento del pavimento de asfalto en carreteras. (Hwang S.-M. , 2009)²⁵

De esta manera se ajustan principalmente a los factores de pago dichas condiciones para así dar un porcentaje que permita al contratista evaluar la calidad del producto, y permitir según el D.O.T (Departamento de Transporte), dar facilidad al pago del mismo.

Cabe aclarar que los factores que influyen en la construcción de una vía son muy variables, ya que se deben tener en cuenta el tipo de tráfico, el clima, la calidad de los materiales y los procesos constructivos, los cuales conllevan a una buena aplicabilidad de construcción, que en teoría para el contratista, contratante y usuario traería un beneficio, aplicando correctamente y prever en lo posible los factores anteriormente dichos, aunque por cierto en las obras se tienen imprevistos de varias índoles dependiendo del tipo de obra.

4.2 SELECCIÓN DE MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD

Los estudios realizados han relacionado métodos razonables en los cuales dan mediciones de calidad de la estructura de pavimento y dar buen uso de dicha medición el cual se basa en teorías estadísticas.

El método más frecuentado y usado es el PWL (percent within limits; porcentaje dentro de los límites), mediante el cual se estima un índice estadístico de calidad, realizando una función que el Z -estadístico, “en donde se establecen criterios de aceptación con base en valores promedio de mediciones efectuadas a una muestra de un lote. El valor promedio, o valor medio de la muestra (Vm) es un estimativo del valor promedio del lote (VI) con un grado de confiabilidad del 50%; para un mayor grado de confiabilidad, el valor promedio del lote estará dentro de los límites de un intervalo de confianza que se calcula para una probabilidad dada

²⁵ (Hwang S.-M. , pág. 89)

(p, en %) a partir del valor promedio de la muestra (V_m) o de la desviación estándar de la muestra (s)²⁶.

El promedio, o valor medio de la muestra (V_m): se determina mediante la expresión:

$$V_m = \frac{\sum V_i}{n}$$

En donde:

V_m = Valor Promedio de la muestra

V_i = Resultado Individual

n = Numero de resultados de las muestras

La desviación estándar de la muestra (s): se determina mediante la expresión:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (V_i - V_m)^2}{n - 1}}$$

En donde:

V_m = Valor Promedio de la muestra

V_i = Resultado Individual

n = Numero de resultados de las muestras

Para obtener la confiabilidad es necesario que el intervalo de confianza se determine con una probabilidad dada (p, en %), se encuentra el valor promedio del parámetro evaluado en el lote, el cual tiene límites superiores e inferiores para tener satisfacción de confiabilidad del lote y se determinan así:

- Límite inferior de la especificación, $V_i(p)$:

$$V_i(p) = V_m - k(p) \times s$$

- Límite superior de la especificación, $V_{sup}(p)$:

$$V_{sup}(p) = V_m + k(p) \times s$$

²⁶ (INVIAS, págs. 107-3)

En donde:

- $V_i(p)$ = Límite inferior para una probabilidad p dada en %.
- $V_{sup}(p)$ = Límite superior para una probabilidad p dada en %.
- V_m = Valor promedio de la muestra.
- p = Probabilidad dada en %.
- $k(p)$ = Factor que establece los límites del intervalo de confianza. Este factor depende del número de resultados (n) que integran la muestra y de la probabilidad (p); su valor se indica en la Tabla 3.
- s = Desviación estándar de la muestra.

PROBABILIDAD P	NUMERO DE RESULTADOS, n												
	P	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
60	0.138	0.121	0.109	0.100	0.093	0.087	0.083	0.078	0.075	0.072	0.069	0.067	
70	0.292	0.254	0.228	0.209	0.194	0.182	0.172	0.163	0.156	0.149	0.144	0.139	
75	0.382	0.331	0.297	0.271	0.251	0.235	0.222	0.211	0.201	0.193	0.185	0.179	
80	0.489	0.421	0.375	0.342	0.317	0.296	0.279	0.265	0.253	0.242	0.233	0.224	
85	0.625	0.532	0.472	0.429	0.396	0.369	0.348	0.330	0.314	0.300	0.289	0.278	
90	0.819	0.686	0.603	0.544	0.500	0.466	0.437	0.414	0.394	0.376	0.361	0.347	
95	1.177	0.953	0.823	0.734	0.670	0.620	0.580	0.546	0.518	0.494	0.473	0.455	
99	2.270	1.676	1.374	1.188	1.060	0.965	0.892	0.833	0.785	0.744	0.708	0.678	

Tabla 3. Factor que establece los límites del intervalo de confianza²⁷

Para determinar el mencionado PWL (percent within limits; porcentaje dentro de los límites), es necesario tener en cuenta índices de calidad para los límites inferiores y superiores (IQI), (IQS), respectivamente, en donde se determinaran con los valores promedios de la muestra V_m , y la desviación estándar s , una vez se cuente con estos valores se procede a determinar la calidad de los límites de la siguiente manera:

$$IQI = \frac{V_m - V_{min}}{s}$$

$$IQS = \frac{V_{max} - V_m}{s}$$

²⁷ (INVIAS, págs. 107-5)

En donde:

- IQI = Índice de calidad para el límite inferior de especificación
- IQS = Índice de calidad para el límite superior de especificación
- Vmin = Valor mínimo o límite inferior de la especificación. Es igual al valor especificado menos la desviación admisible que se establezca para el parámetro.
- Vmax = Valor máximo o límite superior de la especificación. Es igual al valor especificado más la desviación admisible que se establezca para el parámetro.
- s = Desviación estándar de la muestra

La formulación se utiliza en cuanto IQI tiene un límite inferior de especificación, y en cuanto a IQS se utiliza cuando existe un límite superior de especificación unilateral. Para estos límites de especificación el valor para identificar el PWL percent within limits; porcentaje dentro de los límites) se utiliza:

$$TPWL = UPWL + LPWP - 100$$

En donde:

- **UPWL** = Porcentaje por debajo del límite de especificación superior (basado en IQI y el número de resultados de la muestra n). Si la especificación no establece un límite superior para el parámetro evaluado (V_{máx}), PDLS es 100.
- **LPWL** = Porcentaje por encima del límite de especificación inferior (basado en IQS y el número de resultados de la muestra n). Si la especificación no establece un límite inferior para el parámetro evaluado (V_{mín}), PDLI es 100.

Los valores correspondientes se pueden consultar en la tabla 4.

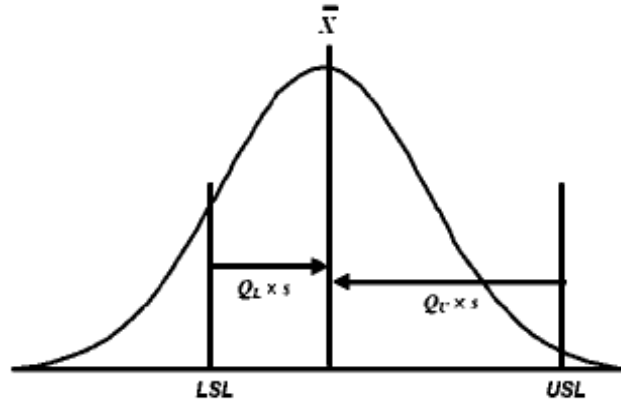


Figura 5. PWL en la desviación estándar (valor Q) de la media (Hwang S.-M. , 2009)²⁸

Como se puede ver en la gráfica se usa un método estadístico de la desviación estándar para determinar el factor de pago, el cual dichos factores deben estar por debajo de la media de la curva y así determinar los límites de especificación superior e inferior.

En la ingeniería de la construcción, en la construcción de infraestructuras de pavimento, existen procedimientos de aceptación por lo general se definen en términos del porcentaje de un lote que cae fuera de ciertos límites de especificación, tales como el porcentaje de productos defectuosos (PD). El PD depende de la dispersión de los datos alrededor de una tendencia central.

²⁸ (Hwang S.-M. , pág. 90)

PDLS o PDLI %	Indice de Calidad Superior (IQS) O Indice de Calidad Inferior (IQI)						PDLS o PDLI %	Indice de Calidad Superior (IQS) O Indice de Calidad Inferior (IQI)					
	≤ 3	≤ 4	≤ 5	≤ 6	≤ 7	≤ 8		≤ 3	≤ 4	≤ 5	≤ 6	≤ 7	≤ 8
100	1.16	1.49	1.72	1.88	1.99	2.07	74	0.78	0.71	0.68	0.67	0.67	0.65
99		1.46	1.64	1.75	1.82	1.88	73	0.75	0.68	0.65	0.64	0.62	0.62
98		1.43	1.58	1.66	1.72	1.75	72	0.73	0.65	0.62	0.61	0.6	0.59
97	1.15	1.4	1.52	1.59	1.63	1.66	71	0.70	0.62	0.59	0.58	0.57	0.57
96		1.37	1.47	1.52	1.56	1.58	70	0.67	0.59	0.56	0.55	0.54	0.54
95	1.14	1.34	1.42	1.47	1.49	1.51							
94		1.31	1.38	1.41	1.43	1.45	69	0.64	0.56	0.53	0.52	0.51	0.51
93	1.13	1.28	1.33	1.36	1.38	1.39	68	0.61	0.53	0.5	0.49	0.48	0.48
92	1.12	1.25	1.29	1.31	1.33	1.33	67	0.58	0.50	0.47	0.46	0.45	0.45
91	1.11	1.22	1.25	1.27	1.28	1.28	66	0.55	0.47	0.45	0.43	0.43	0.42
90	1.10	1.19	1.21	1.23	1.23	1.24	65	0.51	0.44	0.42	0.40	0.40	0.39
89	1.09	1.16	1.18	1.18	1.19	1.19	64	0.48	0.41	0.39	0.38	0.37	0.37
88	1.07	1.13	1.14	1.14	1.15	1.15	63	0.45	0.38	0.36	0.35	0.34	0.34
87	1.06	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	62	0.41	0.35	0.33	0.32	0.32	0.31
86	1.04	1.07	1.07	1.07	1.07	1.06	61	0.38	0.30	0.30	0.30	0.29	0.28
85	1.03	1.04	1.03	1.03	1.03	1.03	60	0.34	0.28	0.28	0.25	0.25	0.25
84	1.01	1.01	1.00	0.99	0.99	0.99	59	0.31	0.27	0.25	0.23	0.23	0.23
83	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.95	58	0.30	0.25	0.23	0.20	0.20	0.20
82	0.97	0.95	0.93	0.92	0.92	0.92	57	0.25	0.20	0.18	0.18	0.18	0.18
81	0.95	0.92	0.9	0.89	0.88	0.88	56	0.20	0.18	0.16	0.15	0.15	0.15
80	0.93	0.89	0.87	0.86	0.85	0.85	55	0.18	0.15	0.13	0.13	0.13	0.13
79	0.91	0.86	0.84	0.82	0.82	0.81	54	0.15	0.13	0.10	0.10	0.10	0.10
78	0.88	0.83	0.81	0.79	0.79	0.78	53	0.10	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08
77	0.86	0.8	0.77	0.76	0.75	0.75	52	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
76	0.83	0.77	0.74	0.73	0.72	0.72	51	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
75	0.81	0.74	0.71	0.7	0.69	0.69	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4. Porcentaje estimado de valores dentro de los límites de la especificación (PWL)²⁹

Como primera medida y como criterio de aceptación, se debe comprender los criterios que se mencionarán adelante.

²⁹ (INVIAS, págs. 107-8)

Según el INVIAS, para la aceptación de la resistencia a la flexión del concreto se deben tener en cuenta tres aspectos importantes, los cuales son:

- “Nivel de aceptación a satisfacción: si el valor de PWL (percent within limits; porcentaje dentro de los límites) del lote es igual o superior a 90 %, el lote de pavimento se acepta a satisfacción y se paga al precio unitario del contrato, a cabalidad.
- Nivel de aceptación con sanción: si el valor de PWL (percent within limits; porcentaje dentro de los límites) del lote está entre 50 % y 89 %, el lote de pavimento se podrá aceptar con sanción, consistente en la aplicación de una reducción al precio unitario del contrato para el pago del lote por medio de un factor de ajuste de precio. El factor de ajuste de precio por resistencia FAR (menor que la unidad), que se aplicará al precio unitario del contrato para el pago del lote, se definirá para cada lote mediante la Tabla 5.
- Nivel de rechazo: si el valor de PWL (percent within limits; porcentaje dentro de los límites) del lote es inferior 50 %, el Constructor deberá demoler el lote de pavimento objeto de la controversia y reemplazarlo a sus expensas, con otro de calidad satisfactoria; el producto de la demolición será de su propiedad.”³⁰

El factor de ajuste de precio por espesor FAE, que se aplicará al precio unitario del contrato para el pago de los lotes correspondientes al lote analizado, será el resultado de restar el descuento D de la unidad.

En donde el descuento hace referencia a si el espesor promedio del lote es inferior al teórico de diseño de pavimento entre milímetros (2 mm) y siete milímetros (7 mm), en cuanto hace a su espesor, se aceptará con descuento por deficiencia de espesor. El descuento se aplicará al lote cual se extrajeron los testigos, el descuento (D), en tanto por uno, por aplicar en el pago por metro cúbico de pavimento en el lote así afectado, se calculará con la expresión:

$$D = \left(1 - \frac{(em + 2)^2}{ed^2} \right)$$

³⁰ (INVIAS, Artículo 500 INVIAS concreto hidraulico, 2012, págs. 500-58)

En donde:

- em = Espesor de diseño en mm
- ed = Espesor promedio del lote, mm

PDL %	FAR FACTOR DE AJUSTE DE PRECIO UNITARIO	PDL %	FAR FACTOR DE AJUSTE DE PRECIO UNITARIO	PDL %	FAR FACTOR DE AJUSTE DE PRECIO UNITARIO
90 a 100	1.000	73	0.915	56	0.795
89	0.995	72	0.910	55	0.788
88	0.990	71	0.905	54	0.780
87	0.985	70	0.900	53	0.773
86	0.980	69	0.893	52	0.765
85	0.975	68	0.885	51	0.758
84	0.970	67	0.878	50	0.750
83	0.965	66	0.870	RECHAZO	
82	0.960	65	0.863		
81	0.955	64	0.855		
80	0.950	63	0.848		
79	0.945	62	0.840		
78	0.940	61	0.833		
77	0.935	60	0.825		
76	0.930	59	0.818		
75	0.925	58	0.810		
74	0.920	57	0.803		

Tabla 5. Factor de ajuste del precio unitario por resistencia (FAR)³¹

El factor de ajuste de precio por espesor FAE, que se aplicará al precio unitario del contrato para el pago de los lotes correspondientes al lote analizado, será el resultado de restar el descuento D de la unidad.

$$FAE = 1 - D$$

El pago se hará al precio unitario del contrato, multiplicado por el factor de ajuste total FAT, por toda obra ejecutada de acuerdo con este Artículo y aceptada por el Interventor.

El factor de ajuste total FAT, que se calculará para cada lote individual y que tiene un valor máximo de la unidad (1), será el resultado de multiplicar el factor de

³¹ (INVIAS, Artículo 500 INVIAS concreto hidraulico, 2012, págs. 500-59)

ajuste por resistencia FAR, por el factor de ajuste por espesor FAE, numeral, determinados para ese lote.

$$FAT = FAR \times FAE$$

5. MÉTODO NUMÉRICO

Para efectos prácticos en la presente monografía se adoptó un método numérico con el cual se pretende entender en cierto grado los factores de pago mencionados. Basándose en normas del INVIAS de ensayos necesarios para el cumplimiento del pavimento se introdujo en una hoja de cálculo Excel en donde se asignarán a cada fila y/o columna un rango especial especificados con la determinación de los factores de pago (PWL) en la teoría anteriormente nombrada.

6. CONCLUSIONES

- Para efectos del cálculo de los factores de pago es conveniente referirse a las especificaciones técnicas INVIAS 2013, en las cuales se implementa un método similar al de los Estados Unidos pero sólo se aplica para la resistencia del concreto de las losas de pavimentos.
- En los cálculos realizados dentro de los lotes se puede referenciar el cumplimiento de los factores de pago dentro de los límites ya que como se denota en la hoja de cálculo, podrían insertarse valores numéricos de algún pavimento diseñado en Colombia.
- La presente monografía trae como beneficios a estudios posteriores ya que dichos factores no están implementados en las obras, salvo algunos casos especiales que la norma indica.
- Los factores de pago en Colombia traerán beneficios tanto como para el constructor y la entidad contratante ya que se obliga al cumplimiento de la norma técnica y así poder determinar el valor final de pago de la estructura construida.
- Los factores de pago implementados en los Estados Unidos como en la Florida y Texas según las referencias bibliográficas, son muy similares a los que hasta el momento se tratan de implementar según la norma INVIAS, en donde se determinan límites superiores e inferiores de calidad para así llegar a un factor de pago óptimo.
- Los factores de pago implementados en Colombia se rigen según los métodos tradicionales de construcción y pocas veces por los métodos de pago.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AmericanRoad, t. (s.f.). <http://www.artba.org/about/faq/> American Road, transportation.
- ASFALTICA, M. I.-1. (s.f.). MODULO IDU 510-11 MEZCLA ASFALTICA.
- HIDRAULICO, M. I.-1. (s.f.). MODULO IDU 600-11 CONCRETO HIDRAULICO.
- HUGHES, Charles S. et al. (2011). *Guidelines for quality-related pay adjustment factors for pavements*. Austin,Texas: National Cooperative Highway Research Program.
- Hwang, S. R. (2009). Establishment of Performance Related Specifications Using Pay Factors and Relationship between Fatigue Cracking and Pay Factors. En S. R. Hwang, *Establishment of Performance Related Specifications Using Pay Factors and Relationship between Fatigue Cracking and Pay Factors* (pág. 88). American Society of Civil Engineers.
- Hwang, S.-M. (2009). *Hwang, Sang-Ming Establishment of Performance related Specifications using Pay Factors and*. American Society of Civil Engineers.
- IDU. (2001). *Especificaciones IDU-ET-2011 Sección 400-11*. Bogotá D.C.
- INVIAS. (2012). *Articulo 500 INVIAS concreto hidraulico*.
- INVIAS. (2013). *Especificaciones generales de construcción de carreteras*. Bogotá D.C.: INVIAS.
- INVIAS. (s.f.). *Art. 320-07 subbase granular*.
- INVIAS. (s.f.). *Art. 450-13 mezclas asfalticas*.
- Montejo Fonseca, A. (1998). *Ingenieria de pavimentos para carreteras*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- semirigidos, P. (s.f.). <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/01/pavimentos-semirigidos.html>. Obtenido de <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/01/pavimentos-semirigidos.html>.
- Transportation, U. D. (s.f.). *Standar Specification for Construction Of Roads and Brigdes on feredal highway projects Departament Of Transportation, U.S. .*

ENSAYO	LOTE 1
1	4,65
2	4,60
3	4,75
4	4,50
5	4,65
6	4,55
7	
8	
9	

Promedio

Número de resultados

Desviación estándar

Valor máximo o límite superior de la especificación

Índice de calidad superior

Porcentaje estimado de valores bajo el límite superior

Valor mínimo o límite inferior de la especificación

Índice de calidad inferior

Porcentaje estimado de valores sobre el límite inferior

Porcentaje estimado de valores dentro de los límites de la especificación

Vm4,62E+00

n6

s8,76E-02

Vmáx5,00

IQS4,38

PDLS100

Vmín4,50

IQI1,33

PDLI92

PDL92

ACEPTACIÓN

Factor de ajuste del precio unitario

Aceptación a

satisfacción

1,000

PDLS o PDLI %

Índice de Calidad

	n = 6
50	0,00
51	0,03
52	0,05
53	0,08
54	0,10
55	0,13
56	0,15
57	0,18
58	0,20
59	0,23
60	0,25
61	0,30

6 2	0,3 2
6 3	0,3 5
6 4	0,3 8
6 5	0,4 0
6 6	0,4 3
6 7	0,4 6
6 8	0,4 9
6 9	0,5 2
7 0	0,5 5
7 1	0,5 8
7 2	0,6 1
7 3	0,6 4
7 4	0,6 7
7 5	0,7 0
7 6	0,7 3
7 7	0,7 6
7 8	0,7 9
7 9	0,8 2
8 0	0,8 6
8 1	0,8 9
8 2	0,9 2
8 3	0,9 6
8 4	0,9 9
8 5	1,0 3
8 6	1,0 7
8 7	1,1 0
8 8	1,1 4
8 9	1,1 8
9 0	1,2 3
9 1	1,2 7
9 2	1,3 1
9 3	1,3 6
9 4	1,4 1
9 5	1,4 7
9 6	1,5 2
9 7	1,5 9
9 8	1,6 6
9 9	1,7 5
1 0 0	1,8 8

LOTE 2	LOTE 3
4,65	4,35
4,60	4,75
4,75	4,40
4,50	4,45
4,30	4,40
4,45	4,45

4,54E+00	4,47E+00
6	6
1,59E-01	1,44E-01
5,00	5,00
2,87	3,71
100	100
4,50	4,50
0,26	-0,23
60	RECHAZO
60	RECHAZO
Aceptación	RECHAZO
con sanción	
0,825	RECHAZO

Superior (IQS) O Índice de Calidad Inferior (IQI)

n = 6	n = 6
0,00	0,00
0,03	0,03
0,05	0,05
0,08	0,08
0,10	0,10
0,13	0,13
0,15	0,15
0,18	0,18
0,20	0,20
0,23	0,23
0,25	0,25
0,30	0,30

PDL %	FAR FACTOR DE AJUSTE DE PRECIO UNITARIO
RECHAZO	
50	0,750
51	0,758
52	0,765
53	0,773
54	0,780
55	0,788
56	0,795
57	0,803
58	0,810
59	0,818
60	0,825
61	0,833

0,32	0,32
0,35	0,35
0,38	0,38
0,40	0,40
0,43	0,43
0,46	0,46
0,49	0,49
0,52	0,52
0,55	0,55
0,58	0,58
0,61	0,61
0,64	0,64
0,67	0,67
0,70	0,70
0,73	0,73
0,76	0,76
0,79	0,79
0,82	0,82
0,86	0,86
0,89	0,89
0,92	0,92
0,96	0,96
0,99	0,99
1,03	1,03
1,07	1,07
1,10	1,10
1,14	1,14
1,18	1,18
1,23	1,23
1,27	1,27
1,31	1,31
1,36	1,36
1,41	1,41
1,47	1,47
1,52	1,52
1,59	1,59
1,66	1,66
1,75	1,75
1,88	1,88

62	0,840
63	0,848
64	0,855
65	0,863
66	0,870
67	0,878
68	0,885
69	0,893
70	0,900
71	0,905
72	0,910
73	0,915
74	0,920
75	0,925
76	0,930
77	0,935
78	0,940
79	0,945
80	0,950
81	0,955
82	0,960
83	0,965
84	0,970
85	0,975
86	0,980
87	0,985
88	0,990
89	0,995
90	1,000
RECHAZO	RECHAZO

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE FACTORES
PAGO EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO EN
COLOMBIA**

MARIO ANDRÉS PRADILLA SANABRIA

ARTICULO

JUAN MIGUEL SÁNCHEZ DURÁN
Ingeniero Civil MSc (Docente Universidad Santo Tomás)

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2017

El proyecto consiste en una investigación bibliográfica acerca de los factores de pago que se tienen implementados en diferentes Departamentos de Transporte (D.O.T. por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos para ajustar el valor de las capas del pavimento cuando no se cumplen totalmente las especificaciones constructivas. Este tema de investigación llama la atención ya que genera una preocupación por denuncias dadas por corrupción en diferentes obras realizadas en nuestro país, lo cual nos llamaría a implementar métodos de ética profesional.

Esta investigación se limita a 3 ó 4 estados del sur de los EE.UU., que son los que tienen condiciones climáticas más parecidas a las de Colombia, pero contempla explicar los casos en que es procedente aplicar dichos factores, cómo funcionan y en la medida de lo posible su fundamento teórico-práctico.

Adicionalmente, se establece la aplicabilidad de los factores de pago en nuestro medio, partiendo de los requerimientos de las actuales especificaciones IDU e INVIAS, las cuales sólo tienen en cuenta unos criterios de aceptación y rechazo que normalmente cuando no se cumplen implican la demolición de capas.

En Colombia no existen metodologías para aceptar capas de pavimento que cumplen parcialmente las especificaciones, aun cuando es posible demostrar con base en investigaciones y casos de estudio que muchas veces el no cumplimiento estricto de las especificaciones no afectará significativamente la vida útil de la obra y que como indemnización es viable aplicar una reducción en el precio o factor de pago para los ítem que no cumplen, (como lo hacen la mayor parte de los Departamentos de Transporte de los Estados Unidos) con base en los resultados de ensayos normales para control de calidad, tales como la granulometría, la densidad y el contenido de ligante en el caso de las mezclas asfálticas.

De esta manera, no sólo se evitan retrasos en la programación de la obra sino también los costos económicos y ambientales de tener que desechar y reponer materiales que todavía sirven.

En la presente monografía se expondrá cómo funcionan estos factores y se analizarán las características del producto terminado (diferentes capas del pavimento) que se controlan en las especificaciones de construcción para la aceptación de las diferentes capas del pavimento con el fin de determinar su aplicabilidad, ya que tanto los contratantes, los contratistas y los beneficiarios de las obras viales en Colombia están interesados en obtener un resultado de calidad en todos los proyectos.

- Para efectos del cálculo de los factores de pago es conveniente referirse a las especificaciones técnicas INVIAS 2013, en las cuales se implementa un método similar al de los Estados Unidos pero sólo se aplica para la resistencia del concreto de las losas de pavimentos.
- En los cálculos realizados dentro de los lotes se puede referenciar el cumplimiento de los factores de pago dentro de los límites ya que como se denota en la hoja de cálculo, podrían insertarse valores numéricos de algún pavimento diseñado en Colombia.
- La presente monografía trae como beneficios a estudios posteriores ya que dichos factores no están implementados en las obras, salvo algunos casos especiales que la norma indica.
- Los factores de pago en Colombia traerán beneficios tanto como para el constructor y la entidad contratante ya que se obliga al cumplimiento de la norma técnica y así poder determinar el valor final de pago de la estructura construida.

- Los factores de pago implementados en los Estados Unidos como en la Florida y Texas según las referencias bibliográficas, son muy similares a los que hasta el momento se tratan de implementar según la norma INVIAS, en donde se determinan límites superiores e inferiores de calidad para así llegar a un factor de pago óptimo.
- Los factores de pago implementados en Colombia se rigen según los métodos tradicionales de construcción y pocas veces por los métodos de pago.