



**PROYECTO PILOTO DE TRANSFERENCIA
TECNOLOGICA
MOPT - FUNDEVI - LANAMME**

**PROPUESTA DE CONTROL DE
CALIDAD Y PAGO DE OBRA
EJECUTADA EN OBRAS VIALES**

SETIEMBRE 2000

ING. MARIO ARCE

Indice

No.	Título	Página
1	Fundamentos del modelo	1
2	Lineamientos generales	4
3	Metodología para control y pago en función de la calidad de mezcla asfáltica	11
4	Metodología para control y pago en función de la calidad de los tratamientos superficiales	46
5	Metodología para control y pago en función de la calidad de la base granular	54
6	Metodología para control y pago en función de la calidad de la sub-base granular	71
7	Metodología para control y pago en función de la base estabilizada con cemento	87
8	Metodología para control y pago en función de la calidad de las losas de concreto	102
9	Metodología para control y pago en función de la calidad de las excavaciones y terraplenado	122

Capítulo 1: Fundamentos del Modelo

Los procesos constructivos en carreteras, deben cumplir con parámetros de calidad previamente definidos en los términos contractuales, esto por cuanto el precio de un ítem tiene implícito el nivel de calidad pactado en el contrato, mismo que se alcanzará con mayor o menor éxito, según sea el control de calidad con que el Contratista ejecuta el proceso constructivo. Es obvio que el precio de un bien depende de la calidad de éste.

Por lo indicado anteriormente se deduce lo siguiente:

- i. El precio de un ítem varía en función de su nivel de calidad, y ese nivel de calidad está supeditado a la metodología con que se ejecute y controle el proceso.
- ii. Técnicamente, se pueden aceptar lotes de producción de un ítem de obra que no cumplan rigurosamente con el nivel de calidad pactado en el contrato, siempre y cuando se cumpla con las siguientes premisas:
 - Aunque el nivel de calidad del ítem es inferior a lo pactado, el impacto que tal deficiencia ocasiona en el desempeño y en la pérdida de durabilidad de la obra es técnicamente aceptable.
 - Se acepta un lote de un ítem de pago con calidad inferior a lo pactado, pero a precio reducido, pues según se señaló anteriormente, tal condición no concuerda con el nivel de calidad pactado en el contrato.
 - Existe un límite máximo aceptable de pérdida en el nivel de la calidad, a partir del cual, desde el punto de vista técnico, el trabajo ejecutado es inaceptable (se rechaza), y por lo tanto, el Contratista debe nuevamente realizar el trabajo que fue rechazado, por su cuenta y riesgo, y sin adiciones de plazo por este concepto. Este trabajo será nuevamente sometido a evaluación del nivel de calidad, para definir respecto a su aceptación y pago.

- iii. Para pagar la obra ejecutada en función de la calidad, se requiere establecer una metodología que permita determinar el nivel de calidad con que se ejecuta un ítem de obra. En los capítulos sucesivos se detalla respecto a esta metodología.
- iv. Es suficientemente claro que dos productos iguales, tendrán el mismo valor en tanto su "calidad" sea la misma, o dicho de otro modo, productos iguales difieren en su precio según sean sus estándares de calidad.

En la contratación de obras viales se presentan varias características particulares, a saber:

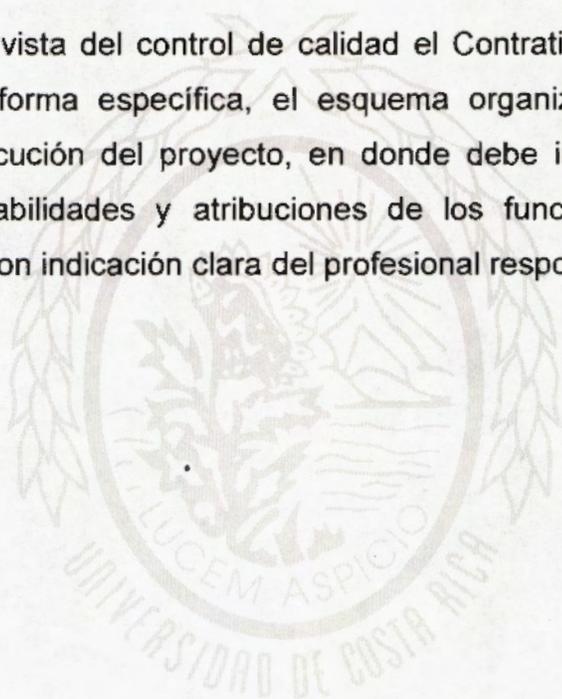
- Actualmente, el monto de la inversión anual que el país realiza anualmente por este concepto, es con mucho, la inversión más alta del sector de la construcción.
- Dicha inversión se realiza con fondos públicos. El manejo de fondos públicos exige responsabilidad (rendir cuentas) y eficiencia en la ejecución de los proyectos.

Estos principios básicos exigen a la Administración, establecer los mecanismos que aseguren la "calidad" de las inversiones, lo que lleva implícito los siguientes aspectos:

- i. Calidad total en la formulación, ejecución y control de los proyectos. Esto implica que los sistemas de priorización de proyectos (priorización de inversiones), los estudios para la formulación de los proyectos, los planos, las especificaciones, el proceso de licitación, selección y contratación, así como el sistema de control de obras, se debe fundamentar en una metodología de "calidad total" de todo este proceso.

- ii. Debe quedar claramente establecido en los documentos contractuales, que el Contratista es el único responsable de la calidad con que se ejecuta cada ítem de la obra, por lo tanto, debe diseñar y ejecutar el sistema de control de calidad necesario para garantizar la uniformidad y los estándares de calidad que exigen los términos contractuales.
- iii. Es responsabilidad de la Administración establecer los mecanismos de verificación que garanticen que la obra ejecutada es conforme en calidad, impacto ambiental, seguridad, precio y plazo con las condiciones pactadas en el contrato.

Desde el punto de vista del control de calidad el Contratista debe indicar en la oferta técnica, de forma específica, el esquema organizativo del sistema de calidad para la ejecución del proyecto, en donde debe indicar claramente, las funciones, responsabilidades y atribuciones de los funcionarios asignados al control de calidad, con indicación clara del profesional responsable de la calidad.



Capítulo 2: Lineamientos Generales

De conformidad con lo expuesto se establecen los siguientes lineamientos de orden general:

- i. Que el Contratista es el responsable directo por la calidad de la obra ejecutada.
- ii. El Contratista debe garantizar, durante todo el tiempo de ejecución de la obra, por medio de su sistema de calidad, la uniformidad y los estándares de calidad del proceso de ejecución de la obra, en todas sus etapas.
- iii. El Contratista debe implantar en su empresa un sistema de calidad, de modo tal que logre el aseguramiento de la calidad en todos sus procesos, y por lo tanto, el cumplimiento de los compromisos contractuales en todos sus extremos.
- iv. El Contratista debe diseñar y poner en ejecución el plan de control de calidad que se requiere en cada proyecto específico, acorde con las características propias del proyecto, la maquinaria disponible y las particularidades de la materia prima que usa en sus procesos, pues es su responsabilidad garantizar que se alcancen las exigencias de calidad y de uniformidad señaladas en el punto anterior.
- v. Corresponde a la Administración determinar el nivel de calidad con que se está produciendo cada ítem de pago, para proceder así a efectuar el pago en función de la calidad, ya sea pago total, parcial o el rechazo del trabajo realizado.
- vi. Para determinar el nivel de calidad de un ítem durante un período de producción (estimación de obra para el pago), la Administración tomará muestras en cualquier momento y efectuará específicamente los ensayos para pago de obra que se definen para cada ítem. Con base en los resultados de estos ensayos, estadísticamente se definirá el nivel de calidad del ítem en el período correspondiente, y este a su vez, determinará

el monto a pagar o en su defecto, el rechazo del trabajo realizado en el periodo.

- vii. La Administración definirá los requerimientos mínimos que debe cumplir el laboratorio del Contratista (instalaciones, equipo, aspectos operativos y de recurso humano), para ser aceptado como laboratorio para el control de calidad en proyectos de carreteras.
- viii. La Administración tiene la potestad de auditar los laboratorios de Contratista en el momento que lo estime oportuno, y evaluar sus procedimientos de ensayo así como los equipos que utiliza para llevar a cabo dichos ensayos.
- ix. Para el trámite de cada estimación de obra para pago, el Contratista debe presentar un informe de laboratorio, debidamente suscrito por el profesional responsable de la calidad, según el contrato, que demuestre el fiel cumplimiento de todos los parámetros de aceptación y de control que especifique el cartel, con estricto apego a las frecuencias y normas de ensayo que se indiquen, de tal forma que demuestre que los materiales y procesos que utilizó para realizar el trabajo que está sometiendo al trámite de estimación para pago de obra, cumplen en su totalidad con los parámetros de aceptación y calidad que establece el cartel. Además, dicho informe debe contener la información que demuestre fehacientemente, según corresponda, que los trabajos ejecutados cumplen con todos los requerimientos geométricos (ancho, espesor, peraltes, sobre-anchos, deformaciones superficiales, alineamientos, geometría del prisma, inclinación de taludes, etc)
- x. La Administración se reserva el derecho a realizar ensayos de verificación, cuando lo estime conveniente, y en caso de detectarse algún incumplimiento se detiene de inmediato el proceso constructivo por incumplimiento de uno o más parámetros de aceptación o calidad especificados en el cartel y se procederá de la siguiente forma:
 - El Contratista debe corregir el incumplimiento detectado, previo a reiniciar los trabajos.

- La Administración definirá la retroactividad del incumplimiento y decidirá entre las siguientes opciones:
 - Rechazar el trabajo ejecutado durante el período de incumplimiento de especificaciones.
 - Exigir la reparación o reconstrucción del trabajo ejecutado bajo incumplimiento de especificaciones.
 - En este caso se debe evaluar la reparación o reconstrucción ejecutada para definir el porcentaje de pago que corresponda.
 - Los atrasos ocasionados por esta interrupción de obra no serán justificación para ampliación del plazo del contrato.
- xi. Durante el periodo de producción, el Contratista está obligado a mantener un archivo actualizado de todos los parámetros de aceptación, y de control, en donde demuestre que su proceso de producción en todo momento cumple con las exigencias contractuales respecto a estos parámetros. Además debe entregar copia de este archivo, debidamente actualizados, al Ingeniero de Proyecto, conforme se indica en el punto ix anterior.
 - xii. En los listados de los parámetros de calidad (aceptación, control y pago) se indican a título de referencia, las normas de ensayo para la ejecución de las pruebas de laboratorio. Para un proyecto en particular, el cartel indicará la norma de ensayo específica para cada prueba de laboratorio.
 - xiii. Toda muestra que tome el Contratista debe registrarse en una bitácora, por lo tanto en todo sitio de donde se extraen muestras (tajos, apilamientos, fuentes de obra, etc) debe existir una bitácora de muestras debidamente foliada. Este requisito se debe cumplir de previo a iniciar los trabajos, y se debe mantener durante todo el periodo de ejecución. La Administración hará el diseño de esta bitácora y ahí se indicará la información que debe quedar registrada en cada muestreo.
 - xiv. Cuando haya que repetir los ensayos para pago de obra, ya sea porque el trabajo fue rechazado o porque el Contratista decidió subir el nivel de cumplimiento de un trabajo ejecutado, los costos de dichos ensayos

correrán por cuenta del Contratista. En el cartel se indicará el procedimiento a seguir para ejecutar esta disposición.

xv. Para la aplicación de esta metodología de pago en función de la calidad, se establecen tres tipos de parámetros de calidad:

- Parámetros de aceptación
- Parámetros de control
- Parámetros para pago

a) Parámetros de aceptación

Estos parámetros corresponden a todas aquellas exigencias del cartel respecto a la calidad que debe cumplir la materia prima, tanto de forma individual como posterior a los procesos a que sea sometida; previo a su aceptación para la colocación en la obra y durante el proceso constructivo.

Es responsabilidad del contratista garantizar que todos estos parámetros se cumplan a satisfacción durante todo el proceso constructivo, por tanto no se puede iniciar una obra si no se cumple con todos estos requerimientos de aceptación.

Una vez que el Contratista inicia el proceso de producción debe continuar realizando los ensayos de aceptación, por tanto este conjunto de pruebas se sumarán a los ensayos de control durante el proceso constructivo.

Si en algún momento, durante el proceso constructivo se incumple con alguno de estos requerimientos de calidad (parámetros de aceptación), el trabajo que se ejecuta se suspende de inmediato, y la Administración analizará retroactivamente el incumplimiento detectado, para definir respecto a la cantidad de obra ejecutada bajo incumplimiento de los parámetros de aceptación, y de este modo determina la cantidad de trabajo a rechazar. Este análisis se hará siguiendo los lineamientos del punto (x) de este mismo capítulo.

Una vez corregido el incumplimiento, el Contratista puede continuar el proceso de producción.

En el cartel se puede indicar la frecuencia mínima con que, durante el proceso de ejecución de la obra, el Contratista debe realizar los ensayos de aceptación. Para el trámite de la estimación el Contratista debe cumplir con el requerimiento del cartel respecto al número de ensayos de aceptación a realizar, además, los resultados de los análisis de laboratorio deben comprobar que en todo momento se cumple con todos los parámetros de aceptación. Este es requisito indispensable para el trámite de la estimación. Sin embargo, es responsabilidad única del Contratista, definir y ejecutar todos los ensayos de aceptación y de control que requiere su sistema constructivo para el aseguramiento de la calidad de la obra que ejecuta.

La administración se reserva el derecho a verificar, siguiendo el procedimiento que estime apropiado y en el momento que considere oportuno, los parámetros de aceptación y de control.

b) Parámetros de control

Son todos aquellos requerimientos de calidad que el Contratista debe cumplir para garantizar la uniformidad y los estándares de calidad durante todo el proceso constructivo, en todas las etapas que conforman dicho proceso. Estos parámetros de control se fundamentan en el plan de calidad que el Contratista diseña para la ejecución de cada proyecto en particular.

Para cumplir con este requerimiento, el Contratista efectuará todos aquellos ensayos que por tipo de prueba y frecuencia requiera cada una de las etapas de su proceso constructivo.

El cartel de licitación puede establecer la lista mínima de ensayos de control a realizar por el Contratista, así como la frecuencia mínima de éstos, no obstante, si la Administración exige un mínimo de ensayos de control, siendo que la calidad y la uniformidad del proceso constructivo son responsabilidad única del Contratista, será éste quien decida en última instancia el número y tipo de ensayos que se requiere adicionar a los mínimos que defina la Administración, según las características propias de cada proyecto o del propio proceso constructivo que de forma específica requiere cada proyecto en particular.

c) Parámetros para pago

En cada ítem se definirán los parámetros con que se medirá el nivel de cumplimiento del trabajo realizado durante un período de estimación de obra para el pago. En virtud de que el Contratista debe ejecutar la obra siguiendo procesos uniformemente controlados, estos ensayos se realizarán tomando muestras distribuidas a criterio de la Administración, sobre el lote de producción de dicho período de estimación y sus resultados se contrastarán con las especificaciones del contrato, siguiendo la metodología para pago de obra, que adelante se detalla.

Adicionalmente, según se indicó, la Administración tiene la potestad de verificar, utilizando el procedimiento que estime conveniente y en el momento que lo estime oportuno, los parámetros de aceptación y control de cualquier proceso de producción.

Además del cumplimiento permanente de todos los parámetros de aceptación, para ejecutar un trabajo se debe cumplir conjuntamente con todos los requisitos y condiciones que establece el cartel y la buena práctica de la ingeniería, por ejemplo:

- Metodología para la ejecución de los trabajos
- Condiciones de seguridad y de control de tránsito

- Adecuación a las condiciones climáticas (lluvia, alta temperatura, viento, etc)
- Aspectos ambientales y control del impacto ambiental que ocasiona el proyecto.
- Estar al día en cuanto a pólizas, seguros y todos los demás requerimientos de carácter administrativo exigidos en el cartel
- Cantidad, idoneidad y condiciones del equipo disponible para ejecutar las obras
- Organización e idoneidad de las cuadrillas y operadores de equipo
- Disponibilidad de supervisión profesional por parte del Contratista, de todos los trabajos que se ejecutan
- Ejecución de los trabajos en presencia de la Ingeniería de Proyecto (Inspector, Ingeniero de Proyecto)
- Plan de ejecución conforme al programa de trabajo: rendimientos, duración, ajustes y acciones ante imprevistos (lluvias, fallas en equipo, etc)
- Limpieza y condiciones técnicas que requieren las áreas sobre las que se va a ejecutar la obra (barrido, humedecido, secado, etc), dependiendo del tipo de trabajo a ejecutar
- Plan para recoger y depositar material reutilizable, escombros o material remanente de la obra (incluidos los sitios a dónde se van a transportar y el momento previsto para realizar esta labor)
- Certificados de calidad de materiales o equipos a incorporar a la obra, actualizados y con copia a la Ingeniería de Proyecto.
- Cumplimiento riguroso del plan de calidad.
- Cumplimiento total del programa de trabajo.

Capítulo 3: Metodología para Control y Pago en Función de la Calidad de la Mezcla Asfáltica

3.1 Requerimientos previos

3.1.1 El diseño de mezcla

- i. El diseño de mezcla es un informe profesional que debe tener el formato de un reporte de esta naturaleza (índice, empastado, páginas numeradas, etc.), debe presentarse suscrito por el profesional responsable de dicho informe, y tiene que cumplir con los requerimientos que para tal propósito establece la Administración.
- ii. Definición de "diseño de mezcla": Consiste en la fórmula de proporcionamiento de los diferentes componentes de la materia prima y los aditivos con que se va a producir la mezcla asfáltica del proyecto.
- iii. Definición de fórmula de trabajo. Una vez que el diseño de mezcla está debidamente aceptado por parte de la Administración, de inmediato, el Contratista debe reproducir esa fórmula en su planta de producción de mezcla, y en el caso de que el proporcionamiento de los materiales especificados en el diseño de mezcla no se alcance a reproducir en la planta, pueden realizarse pequeños ajustes, en cuyo caso, deben producirse distintas tongadas de mezcla con diferentes contenidos de asfalto y nuevamente construir las curvas del diseño, con mezcla de la planta, según el método especificado, para dicho diseño de mezcla. En este caso, necesariamente el porcentaje óptimo ajustado para el asfalto, debe quedar entre dos puntos de contenido de asfalto verificados en la planta, por tanto, no se puede extrapolar el óptimo de asfalto en las curvas de diseño ajustadas en la planta. Este diseño "ajustado" en la planta debe presentarse a consideración de la Administración para su aceptación antes de iniciar la producción.

- iv. Previo a iniciar el proceso de producción, una vez ajustado el diseño de la mezcla en la planta se obtiene la fórmula definitiva de trabajo, o lo que es lo mismo, el diseño con que finalmente se va a producir la mezcla para el proyecto. Para efectos de determinar el nivel de calidad del proceso productivo, este diseño de mezcla final y definitivo será el único elemento de contraste de los parámetros de calidad para pago de obra. Es claro que este ajuste se hace previo a iniciar el proceso de producción de la mezcla asfáltica, y como se indicó anteriormente, en esta fase previa se obtiene el diseño de mezcla definitivo. Si el Contratista no realiza el ajuste previo del diseño de mezcla, regirá para efectos de contraste de los parámetros de calidad para pago de obra, el diseño de mezcla de laboratorio que fue aceptado.
- v. Posteriormente a esta fase previa al inicio del proceso productivo, cualquier cambio de proporcionamiento de materiales o asfalto que haga el Contratista, no modificará el diseño de mezcla ya aceptado, y como se indicó en el punto anterior, será ese diseño contra el cual se contrastarán los parámetros de calidad para pago.
- vi. El Contratista tiene la potestad de cambiar su diseño de mezcla, en cuyo caso, debe hacer el trámite completo ante la Administración, para someter a consideración un nuevo diseño de mezcla.
- vii. El Contratista debe tener debidamente aceptado su diseño de mezcla, previo a iniciar la producción. Aunque la Administración emita la aceptación del diseño presentado por el Contratista, éste seguirá siendo el único responsable por la calidad de la producción y del propio diseño de mezcla.
- viii. El informe del diseño de mezcla debe incluir todos los ensayos de laboratorio realizados en los quebradores, así como en los apilamientos de agregados, debidamente analizados estadísticamente, como fundamento de soporte de la granulometría y de los parámetros de aceptación que se especifican en el diseño de mezcla.

- ix. En el informe de diseño de mezcla el Contratista debe indicar la norma utilizada en cada ensayo y los valores individuales obtenidos en los ensayos para cada espécimen.
- x. El diseño de mezcla queda aceptado para las fuentes de agregados que específicamente estaban indicadas en la solicitud, por tanto, éste no aplica si se cambian una o más fuentes de agregados.
- xi. Con el diseño de mezcla deben presentarse todos los resultados de los ensayos que demuestren que la materia prima y la mezcla como tal, cumplen con todos los parámetros de aceptación especificados.

3.1.2 Calibración y certificación de la planta de mezcla asfáltica

El Contratista, bajo su responsabilidad y vigilancia, debe mantener debidamente calibrado y en perfecto estado de funcionamiento, todo el equipo de producción y despacho de mezcla asfáltica.

La Administración definirá los requerimientos de certificación que exigirá a estos equipos, y que deben cumplirse satisfactoriamente durante todo el proceso de producción de la mezcla asfáltica.

3.2 Parámetros de aceptación

3.2.1 Parámetros de aceptación para los agregados

Para analizar los parámetros de aceptación, se separan los agregados desde el punto de vista de la granulometría, en dos fracciones. El agregado grueso

corresponde al que queda retenido en la malla No. 4 y el fino es aquel que pasa la malla No.4.

Estos parámetros de aceptación los debe cumplir cada fuente de agregados individualmente.

i. Agregado grueso

Indice de abrasión en máquina Los Angeles	ASTM C 131, C 535; AASHTO T 96
Sanidad (resistencia al efecto de sulfatos)	ASTM C88, AASHTO T 104
Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	
Residuo insoluble en la prueba de carbonatos solubles (si los agregados son de origen calcáreo)	
Gravedad específica y absorción	ASTM C 127; AASHTO T 100

ii. Agregado fino

Equivalente de arena	ASTM D 2419
Límites de Atterberg	ASTM D 423, AASHTO T 89
Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	
Sanidad (resistencia al efecto de sulfatos)	ASTM C88, AASHTO T 104
Gravedad específica y absorción	ASTM C 127, AASHTO T 85

Además, de la fuente de donde se toma el agregado fino, se deben tomar muestras de agregado grueso, para determinar si el tipo de roca utilizada para producir dicho agregado fino, cumple con los parámetros de dureza y sanidad que se exigen para el agregado grueso que se incorporará en la mezcla. Caso de no cumplir dichos requerimientos, no se puede extraer el agregado fino a partir de esa fuente.

3.2.2 Parámetros de aceptación para los agregados mezclados de conformidad con el diseño de mezcla (sin pasar por el quemador)

i. Agregado grueso

Caras fracturadas	MOP E 109
Partículas planas y elongadas	ASTM D 4791
Gravedad específica y absorción	ASTM C 127; AASHTO T 100

ii. Agregado fino

Gravedad específica y absorción	ASTM C 127, AASHTO T 85
Vacios en el agregado fino no compactado	ASTM C 1252

3.2.3 Parámetros de aceptación para el asfalto

En todo momento el ligante asfáltico que se utiliza en la planta para la producción de la mezcla, debe contar con un certificado de calidad que demuestre de forma fehaciente que el asfalto cumple satisfactoriamente todas las especificaciones vigentes. Además, el Contratista debe tener siempre a disposición de la Administración, el certificado de calidad del asfalto con que está produciendo la mezcla, incluido el cálculo de la temperatura de mezclado.

3.2.4 Parámetros de aceptación para los aditivos

Todos aquellos aditivos que se incorporan a la mezcla, deben contar con el certificado de calidad del fabricante, donde se demuestre que se mantienen las propiedades y la uniformidad del producto, durante todo el tiempo que se esté utilizando en la producción de la mezcla. Además, el certificado debe especificar cómo se comporta el aditivo al someter la mezcla a los diferentes ensayos para determinar el contenido de asfalto (reflujo, ignición y centrifuga), así como su solubilidad en agentes que son solventes del asfalto, como: tricloro-etano, tricloro-etileno o cloruro de metileno. Además debe especificar los cambios que produce el aditivo al ligante asfáltico, en la viscosidad a 60 °C (absoluta) y a altas temperaturas: 130 °C, 140 °C y 150 °C.

3.2.5 Parámetros de aceptación de la mezcla asfáltica

Estabilidad	ASTM D 1589, AASHTO T 245
Flujo	ASTM D 1589, AASHTO T 245
Gravedad específica máxima teórica	ASTM D 2041; AASHTO T 209
Densidad	ASTM D 70, AASHTO T 228
Contenido de asfalto respecto al peso de la mezcla	ASTM D 4125, AASHTO T 287
Contenido de asfalto respecto al peso del agregado	ASTM D 4125, AASHTO T 287
Vacíos en la mezcla	ASTM D 3203
Vacíos en el agregado mineral	
Vacíos llenos de asfalto	
Relación polvo/asfalto efectivo	
Resistencia a la tensión diametral (si lo especifica el cartel)	AASHTO T 283
Resistencia a la compresión uniaxial	ASTM D 1074, AASHTO T 167
Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	

Otros ensayos de durabilidad (si lo especifica el cartel).

Resistencia a deformación permanente de la mezcla (si lo especifica el cartel)

El análisis de resistencia retenida debe presentarse de conformidad con las especificaciones contractuales.

3.3 Parámetros de control

Los ensayos de control deben cubrir desde la fase de producción de los agregados en el quebrador, hasta la compactación y el acabado final de la mezcla asfáltica.

Adelante se detallan los parámetros de control, de los cuales el Contratista, seleccionará los que estime necesarios para garantizar uniformidad y calidad del proceso constructivo. Solamente en los casos en que así se indique debe realizar la frecuencia mínima de ensayos especificada. Al diseñar su sistema de control de calidad, el Contratista debe garantizar uniformidad y calidad en sus procesos, por lo tanto el Contratista decidirá además qué otros ensayos incorporará en su proceso de control para asegurar el cumplimiento de las exigencias de calidad. Así mismo el Contratista debe decidir el tipo y frecuencia de ensayo con que controlará cada etapa del proceso de producción.

3.3.1 Parámetros de control para el agregado:

Granulometría	ASTM C126, C 117; AASHTO T 27, T 11
Partículas planas y elongadas	ASTM D 4791
Límites de Atterberg	ASTM D 43, AASHTO T 89
Caras fracturadas	MOP E 109
Gravedad específica	ASTM D854, AASHTO T 100
Absorción	ASTM C 127, AASHTO T 85

Equivalente de arena	ASTM D 2419
Vacios en el agregado fino no compactado	ASTM C 1252
Contenido de humedad	ASTM D2216; AASHTO T 265
Indice de abrasión en máquina Los Angeles	ASTM C 131, C 535; AASHTO T 96
Sanidad (resistencia al efecto de sulfatos)	ASTM C88, AASHTO T 104
Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	
Ensayo de azul de metileno	
Coefficiente de pulimiento acelerado	ASTM D 3319, AASHTO T 279, NLT-174 (Norma española)
Residuo insoluble en la prueba de carbonatos solubles	AASHTO T 104
Otros ensayos complementarios	

3.3.2 Parámetros de control para el asfalto

Viscosidad a 125 °C, 135 °C y 145 °C.	AASHTO T 120
Viscosidad absoluta a 60 °C	ASTM D 2171, AASHTO T 202
Temperatura de mezclado y de compactación	
Razón de viscosidades después de envejecimiento en película delgada	
Pérdida de masa en película delgada	ASTM D 6 AASHTO T 47
Ductilidad y penetración después de envejecimiento en película delgada.	ASTM D 113, C 5; AASHTO T 49; T 5
Viscosidad, ductilidad y penetración del asfalto extraído de la mezcla.	ASTM D 5, AASHTO T 49
Otros ensayos complementarios	

3.3.3 Parámetros de control para los aditivos que se incorporan a la mezcla

Según sea el tipo de aditivo, el Contratista debe mantener vigente el certificado de calidad del fabricante que demuestre que el producto mantiene las propiedades que tenía al momento de efectuar el diseño de mezcla, y que dichas propiedades se mantienen uniformemente a lo largo del proceso constructivo.

3.3.4 Parámetros de control para la mezcla producida en planta

El Contratista, en función del sistema de calidad que diseñe, definirá la cantidad y tipo de ensayos de control que realizará a los agregados mezclados conforme al diseño de mezcla, tanto antes como después de efectuado el proceso en la planta, así como a la mezcla propiamente. Forman parte de estos ensayos de control, por ejemplo, los siguientes:

Gravedad específica y absorción del agregado fino	ASTM C 128; AASHTO T 84
Gravedad específica y absorción del agregado grueso	ASTM C 127; AASHTO T 100
Caras fracturadas	MOP E 109
Partículas planas y elongadas	ASTM D 4791
Gravedad específica máxima teórica	ASTM D 2041/AASHTO T 209
Densidad	ASTM D 70, AASHTO T 228
Granulometría	ASTM C126. C 117; AASHTO T 27, T 11
Estabilidad Marshall	ASTM D 1589; AASHTO T 245
Flujo Marshall	ASTM D 1589; AASHTO T 245
Vacíos en el agregado mineral	
Vacíos llenos de asfalto	
Contenido de agua de la mezcla	ASTM D 95
Razón polvo/asfalto	

Contenido de asfalto efectivo (al momento de mezclado y al momento de despacho después de almacenar en el silo, si este fuese el caso)	ASTM D 4125; AASHTO T 287
Contenido total de asfalto	ASTM D 4125; AASHTO T 287 AASHTO T 120
Viscosidad a 60 °C del asfalto extraído de la mezcla	
Ductilidad y penetración del asfalto de la mezcla	ASTM D113, AASHTO T5 ASTM D5, AASHTO T 49
Vacíos en la mezcla (pastillas Marshall)	ASTM D 1075, AASHTO T 165
Resistencia retenida (la que especifique el cartel)	
Otros ensayos de durabilidad (si lo especifica el cartel)	

3.3.5 Parámetros de control de la mezcla compactada

Tramos de prueba (densidad de referencia)	
Índice de rugosidad internacional (IRI)	ASTM E 1364
Vacíos de la mezcla compactada	
Coefficiente de rozamiento del pavimento	
Textura de la superficie del pavimento	
Espesor de la capa asfáltica	
Uniformidad superficial de la capa asfáltica (con regla de 3 m)	
Perfil transversal y longitudinal	
Cumplimiento del trazado geométrico (peraltes, bombeos, ancho, etc).	

3.3.6 Otros

De conformidad con la naturaleza y características del proyecto, y en función de su plan de calidad, el Contratista ejecutará todos los controles adicionales que sea necesario para asegurar la calidad de la mezcla asfáltica.

3.4 Metodología para determinar el pago de obra, en función de la calidad

Los parámetros de calidad para el pago de obra son tales que, en un proceso de producción controlado, permiten determinar el nivel de cumplimiento de la producción por lote y por lo tanto, son indicadores objetivos para determinar el monto a pagar en función del grado de cumplimiento. Como el Contratista garantiza en la oferta la uniformidad del proceso de producción, para determinar el nivel de cumplimiento de la producción de un período (estimación de obra para el pago), la Administración tomará muestras en cualquier momento durante el período de estimación para pago de obra, para lo cual determinará el nivel de cumplimiento de la producción para dicho período, con base en los parámetros de pago y criterios establecidos.

3.4.1 Parámetros de calidad para el pago de la obra

Los siguientes son los parámetros a utilizar para determinar el nivel de cumplimiento de la mezcla asfáltica.

- i. Para la mezcla producida
 - Granulometría
 - Contenido de asfalto

- ii. Para la colocación y compactación de la mezcla:
 - Porcentaje de vacíos
 - Espesor de la capa asfáltica

iii. Para la condición superficial

Estos parámetros se incorporarán posteriormente cuando la Administración defina las especificaciones para aceptación de la condición superficial, con base en los siguientes parámetros:

- Índice de rugosidad internacional (IRI)
- Coeficiente de rozamiento
- Otros



Tabla No. 1: Resumen de parámetros de calidad

Parámetros de Aceptación	Parámetros de Control	Parámetros de Pago
Agregados	Agregados	Mezcla Producida
a) Agregado Grueso	Granulometría	Porcentaje de asfalto
Índice de abrasión en máquina Los Angeles	Partículas planas y elongadas	Granulometría
Sanidad	Límites de Atterberg	
Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	Caras fracturadas	
Residuo insoluble en la prueba de carbonatos solubles	Gravedad específica	Mezcla Colocada
(si los agregados son de origen calcáreo)	Absorción	Porcentaje de vacíos
Absorción (si lo especifica el cartel)	Equivalente de arena	Espesor de capa
b) Agregado fino	Vacíos en el agregado fino no compactado	
Absorción (si lo especifica el cartel)	Contenido de humedad	
Sanidad	Índice de abrasión en máquina Los Angeles	Condición superficial
Equivalente de Arena	Sanidad (resistencia al efecto de sulfatos)	IRI: índice de rugosidad internacional
Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	CRT: coeficiente de rozamiento transversal
Límites de Atterberg		
	Asfalto	
Agregados mezclados	Viscosidad a 125 °C, 135 °C, 145 °C.	
Agregado grueso	Temperatura de mezclado y de compactación	
Caras fracturadas	Viscosidad retenida	
Partículas planas y elongadas	Pérdida de masa en película delgada	
Agregado fino	Ductilidad retenida	
Vacíos en el agregado fino no compactado	Mezcla producida en planta	
	Gravedad específica y absorción del agregado	
Parámetros de aceptación de la mezcla asfáltica	Gravedad específica y absorción del agregado	
Durabilidad (o los ensayos que indique el cartel)	Caras fracturadas	
Gravedad específica y absorción del agregado	Partículas planas y elongadas	
Gravedad específica y absorción del agregado	Vacíos en el agregado fino no compactado	
Caras fracturadas	Granulometría	
Partículas planas y elongadas	Estabilidad Marshall	
Vacíos en el agregado fino no compactado	Flujo Marshall	
Granulometría	Vacíos en el agregado mineral	
Estabilidad Marshall	Vacíos llenos de asfalto	
Flujo Marshall	Gravedad específica máxima teórica	
Vacíos en el agregado mineral	Razón polvo/asfalto efectivo	
Vacíos llenos de asfalto	Contenido de asfalto efectivo	
Gravedad específica máxima teórica	Contenido total de asfalto	
Razón polvo/asfalto efectivo		
Contenido de asfalto efectivo	Viscosidad a 60 °C de asfalto extraído de la mezcla	
Contenido total de asfalto	Vacíos en la mezcla (pastillas Marshall)	
Viscosidad a 60 °C de asfalto extraído de la mezcla	Durabilidad	
Vacíos en la mezcla (pastillas Marshall)		
	Mezcla compactada	
	Tramos de prueba (densidad de referencia)	
	Índice internacional de rugosidad (IRI)	
	Vacíos de la mezcla compactada	
	Coefficiente de rozamiento	
	Textura	
	Espesor de la capa	

3.5 Lineamientos para muestreo y cálculo del pago de obra

Para cada proyecto, según sus volúmenes de producción, tipo de planta y espesor de capa, la Administración establece la forma de pago del trabajo ejecutado en este ítem de mezcla asfáltica, conforme a los siguientes lineamientos:

- i. La cantidad a pagar de este ítem de obra será la correspondiente a cada período de estimación de obra para el pago.
- ii. En cualquier momento de la producción durante el período de estimación de obra para el pago, la Administración tomará muestras o realizará mediciones (caso de la compactación o del espesor) para determinar, por medio de los parámetros de pago, el nivel de cumplimiento de la producción, mismo que contrastará con las respectivas especificaciones y tolerancias, y de esta forma se calculará el porcentaje de pago que corresponde para el ítem producido durante ese período.

El número de muestras a tomar, lo definirá la Administración en función de la cantidad de producción. En general debe tomarse del orden de 10 muestras o mediciones para medir el nivel de cumplimiento de la producción para una estimación para pago de obra.

En el caso de volúmenes de producción muy altos, excepcionalmente al Administración puede determinar el nivel de cumplimiento por sub-lotes correspondientes a una misma estimación. Esta condición quedará previamente establecida en los términos de diferencia de los documentos de licitación.

En el caso de que una misma planta suministre mezcla para distintos proyectos, la Administración definirá el procedimiento de muestreo a aplicar para determinar el nivel de cumplimiento de la mezcla para cada proyecto.

- iii Si el pago del ítem de mezcla asfáltica se sub-divide, por ejemplo en: agregados, polímero y cemento asfáltico, el porcentaje de reducción de pago se aplicará por igual a cada uno de los componentes en que se sub-divide este ítem.

3.6 Cálculo del monto a pagar en función del nivel de cumplimiento

3.6.1 Aspectos generales

Definidos los parámetros de pago y sus tolerancias, se establecen cuatro rangos o niveles de cumplimiento, para pago o rechazo de la obra ejecutada en un período de estimación para pago.

Los niveles de cumplimiento son los siguientes:

Nivel 1: Lo pactado en el contrato.

Nivel 2: Segundo nivel de cumplimiento aceptable.

Nivel 3: Tercer nivel de cumplimiento aceptable.

Nivel 4: Nivel de rechazo del trabajo realizado

La reducción de pago en cada nivel de cumplimiento, se aplica al precio total del ítem de la mezcla colocada y compactada, conforme a lo indicado en el punto (iii), del apartado 3.5.

El nivel de rechazo se alcanza cuando:

- a) Un parámetro individualmente alcanza dicho nivel de incumplimiento.
- b) Cuando la sumatoria de deducciones de los parámetros de pago para definir el cumplimiento de la mezcla asfáltica son mayores al 50% del precio del ítem.
- c) Cuando la sumatoria de deducciones de los parámetros de pago para el cumplimiento en colocación y compactación de la mezcla son mayores al 50% del precio del ítem.

En el nivel de rechazo, el Contratista debe remover toda la mezcla colocada y volver a construir conforme a los compromisos contractuales, todo por su propia cuenta, sin que medie ampliación de plazo por este concepto.

A cualquier nivel de deducción de precio, el Contratista tiene la potestad de rehacer completamente el trabajo ejecutado y optar así por construir el lote de producción correspondiente en un nivel de cumplimiento superior.

El nivel de cumplimiento se calcula por inferencia estadística para un nivel de confianza del 90%:

3.6.2 Cálculo del nivel de cumplimiento y del factor de reducción del precio por incumplimiento de los parámetros de pago de la mezcla asfáltica

Para determinar el nivel de cumplimiento se consideran los siguientes parámetros:

i) Parámetros para determinar el nivel de cumplimiento de la mezcla producida

- Contenido de asfalto
- Granulometría (1)
 - Gruesos (1.1)
 - Finos (1.2)
 - Polvo (1.3)

(1) En cada una de las tres categorías (1.1,1.2,1.3), se considera solamente el tamiz de mayor incumplimiento, o sea, el de mayor nivel de reducción de pago.

(1.1) Gruesos: Se refiere al porcentaje que pasa, en todos aquellos tamices de abertura mayor a 4.75 mm (Tamiz No. 4)

(1.2) Finos: Se refiere al porcentaje que pasa el tamiz No. 4 (incluido éste), hasta el tamiz No. 100 (excluido este).

(1.3) Polvo: Porcentaje del agregado que pasa por el tamiz No. 200.

ii) Parámetros para determinar el nivel de cumplimiento en compactación y colocación de la mezcla

- Vacíos en la mezcla compactada
- Espesor de la capa asfáltica

Una vez que se conoce el nivel de cumplimiento de cada uno de estos parámetros, se aplica el siguiente procedimiento para determinar el porcentaje de reducción de precio:

- a) Se calcula la tolerancia para la cual cada parámetro alcanza su nivel de cumplimiento a un nivel de confianza del 90%.
- b) Dicha tolerancia se contrasta con la tabla correspondiente para calcular el factor de reducción del pago.

c) Finalmente se suman los porcentajes de reducción de precio de cada parámetro de pago, y se obtiene el total de reducción de precio.

i) Factor de reducción por contenido de asfalto

La tolerancia aquí indicada rige a partir del porcentaje óptimo de asfalto del diseño de mezcla aceptado, de acuerdo con lo indicado en el punto (iv) del apartado 3.1.1.

Niveles de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (% asfalto) (1)
Nivel 1	± 0.55
Nivel 2	± 0.61
Nivel 3	± 0.67
Nivel 4	Nivel de rechazo si el rango obrepasa ± 0.67

(1) Este rango se mide a partir del porcentaje óptimo de asfalto del diseño de mezcla.

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	% R ₁ = 0
Nivel 2	% R ₂ = [T ₉₀ - 0.55]*110
Nivel 3	% R ₃ = [T ₉₀ - 0.61]*170 + 6.6
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

NOTA: T₉₀ es el rango para la cual se alcanza el cumplimiento a un nivel de confianza del 90%, ya sea en el nivel 1, en el nivel 2 de cumplimiento o en el nivel 3 de cumplimiento.

Ejemplo:

Se tiene un lote de producción de mezcla asfáltica que cumple a una tolerancia de ± 0.56 , para un nivel de confianza del 90%.

De acuerdo con la tabla de cumplimiento este lote está en el nivel 2, por lo tanto, le corresponde el nivel de reducción de pago %R₂.

Para este caso,

$$\begin{aligned} \% R_2 &= [T_{90} - 0.55]*110 \\ \% R_2 &= [0.56 - 0.55]*110 = 1.0\% \end{aligned}$$

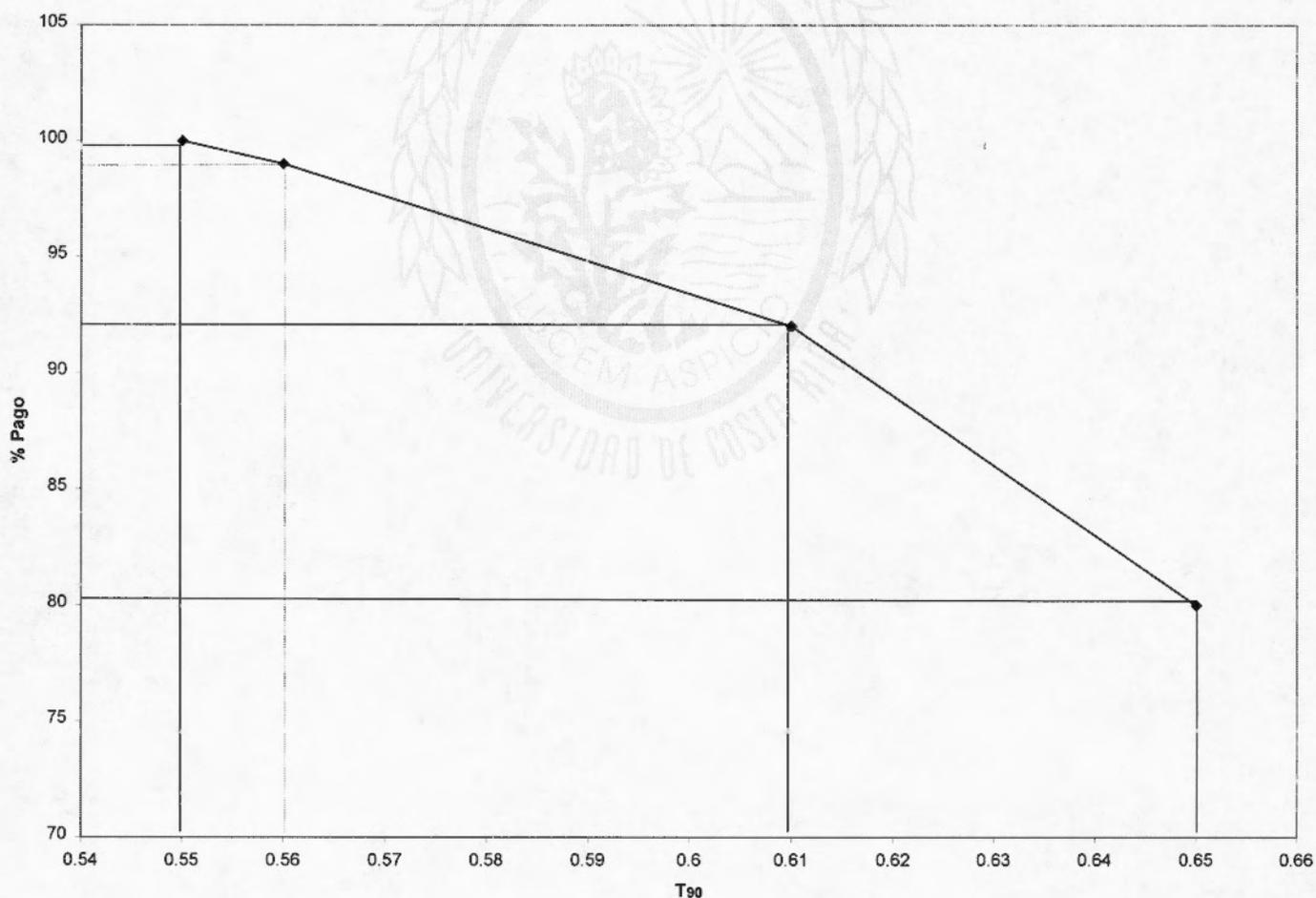
De acuerdo con esto, el pago correspondiente, si cumple con todos los demás parámetros de pago será:

$$\%P = 100 - \%R_i = 100 - 1 = 99.0\%$$

Donde %P sería el porcentaje de pago correspondiente para este ejemplo.

En la figura siguientes se muestra de forma gráfica el modelo de reducción de precio para el parámetro "porcentaje de asfalto",

Figura No.1: Gráfico de reducción de pago para el contenido de asfalto en función del cumplimiento



ii) Para la granulometría

Para calcular el nivel de cumplimiento de los parámetros granulométricos, rigen los mismos conceptos anteriores, o sea, se calcula a partir del valor especificado en la granulometría del diseño de mezcla, pero adicionalmente en este caso, el rango correspondiente a cada nivel de aceptación para calcular el T_{90} , no puede sobrepasar el límite del rango de la especificación.

▪ Factor de reducción para el agregado grueso

Este factor sólo se aplica al tamiz de esta fracción gruesa de mayor incumplimiento, y solo se incluye en este análisis las tamices que están indicados en la especificación de granulometría.

Niveles de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (% pasando) ⁽¹⁾
Nivel 1	± 7.0
Nivel 2	± 8.0
Nivel 3	± 9.0
Nivel 4	Nivel de rechazo si el rango sobrepasa ± 9.0%

(1) Este rango se mide a partir del valor correspondiente de granulometría del diseño de mezcla.

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 7.0] * 6$
Nivel 3	$\% R_3 = [T_{90} - 8.0] * 10 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Para determinar el rango para el cual se logra el cumplimiento al nivel de confianza del 90%, se abre la tolerancia a partir del valor especificado en la granulometría de diseño de mezcla para cada tamiz, y no puede sobrepasar el límite del rango de la especificación.

▪ **Factor de reducción para el agregado fino**

Para analizar el nivel de cumplimiento de la fracción fina, se separan los tamices de la siguiente forma (NOTA: Se aplica a los tamices requeridos por la especificación):

- a) Tamiz no. 4
- b) Tamices menores al no. 4 hasta el No. 8 inclusive
- c) Tamices menores al No.8 hasta el no. 30 inclusive
- d) Tamices menores al no. 30 y hasta el No. 100, no incluido.

De todos éstos para calcular el porcentaje de reducción de pago, solamente se toma el tamiz de mayor incumplimiento, o sea el de mayor nivel de reducción de pago.

a. Para el tamiz No. 4

Niveles de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (% pasando) (1)
Nivel 1	± 7.5
Nivel 2	± 8.5
Nivel 3	± 9.5
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa $\pm 9.5\%$

(1) Este rango se mide a partir de el valor correspondiente de granulometría del diseño de mezcla.

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 7.5] * 6$
Nivel 3	$\% R_3 = [T_{90} - 8.5] * 10 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Para determinar el rango para el cual se logra el cumplimiento al nivel de confianza del 90%, se abre la tolerancia a partir del valor de diseño especificado para cada tamiz, y no puede sobrepasar el límite del rango de la especificación.

b. Para los tamices menores al tamiz No. 4 hasta el tamiz No. 8 inclusive

Niveles de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (% pasando)
Nivel 1	± 6.5
Nivel 2	± 7.5
Nivel 3	± 8.5
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa $\pm 8.5\%$

Factor de reducción de pago:

Nivel de calidad	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 6.5] * 6$
Nivel 3	$\% R_3 = [T_{90} - 7.5] * 10 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Para determinar el rango para el cual se logra el cumplimiento al nivel de confianza del 90%, se abre la tolerancia a partir del valor de diseño especificado en la granulometría para cada tamiz, y no puede sobrepasar el límite del rango de la especificación.

c. Para las mallas menores al tamiz No. 8 hasta el No. 30 inclusive

Niveles de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (% pasando)
Nivel 1	± 4.0
Nivel 2	± 5.0
Nivel 3	± 5.5
Nivel 4	Nivel de rechazo si T_{90} sobrepasa $\pm 5.5\%$

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 4.0] * 6$
Nivel 3	$\% R_3 = [T_{90} - 5.0] * 20 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Para determinar el rango para el cual se logra el cumplimiento al nivel de confianza del 90%, se abre la tolerancia a partir del valor de diseño especificado en la granulometría para cada tamiz, y no puede sobrepasar el límite del rango de la especificación.

d. Para las mallas menores al tamiz No. 30 hasta el No. 100 (no lo incluye)

Niveles de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (% pasando)
Nivel 1	± 3.5
Nivel 2	± 4.0
Nivel 3	± 4.5
Nivel 4	Nivel de rechazo si T_{90} sobrepasa $\pm 4.5\%$

Factor de reducción de pago:

Nivel de calidad	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 3.5] * 12$
Nivel 3	$\% R_3 = [T_{90} - 4.0] * 20 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Para determinar el rango para el cual se logra el cumplimiento al nivel de confianza del 90%, se abre la tolerancia a partir del valor de diseño especificado para cada tamiz, y no puede sobrepasar el límite del rango de la especificación.

e. Tamiz No. 200

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (% pasando)
Nivel 1	± 1.8
Nivel 2	± 2.0
Nivel 3	± 2.2
Nivel 4	Nivel de rechazo si el rango sobrepasa $\pm 2.2\%$

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 1.8] * 30$
Nivel 3	$\% R_3 = [T_{90} - 2.0] * 50 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si el T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Para determinar el rango para el cual se logra el cumplimiento al nivel de confianza del 90%, se abre la tolerancia a partir del valor de diseño especificado en la granulometría este cada tamiz, y no puede sobrepasar el límite del rango de la especificación.

3.6.3 Cálculo del nivel de cumplimiento y del factor de reducción del precio por incumplimiento en los parámetros de pago de colocación de la mezcla asfáltica

En todos los casos se calcula el nivel de cumplimiento con una confiabilidad del 90%.

i) Por vacíos en la mezcla asfáltica compactada

Niveles de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (% pasando)
Nivel 1	2.5 < vacíos < 9.0
Nivel 2	2.5 < vacíos < 10.0
Nivel 3	2.5 < vacíos < 11.0
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Nota: Para calcular el rango para el cual el nivel de cumplimiento es del 90% (T_{90}), se parte del valor medio correspondiente a cada nivel, y se abre el intervalo en igual magnitud en ambas direcciones, hasta lograr el 90% de cumplimiento, En el caso que no se logre ese 90% de cumplimiento se cae en el nivel 4 de incumplimiento.

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 9.0] * 6$
Nivel 3	$\% R_3 = [T_{90} - 10] * 10 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

ii) **Por espesor de capa**

Se sub-divide en dos casos, según el espesor de capa a colocar:

- a. $E < 7.0$ cm
- d. $E > 7.0$ cm

E = espesor de capa asfáltica (cm)

Nota: Para calcular el rango para el cual el nivel de cumplimiento es del 90% (T_{90}), se parte del valor medio correspondiente a cada nivel, y se abre el intervalo en igual magnitud en ambas direcciones, hasta lograr el 90% de cumplimiento, En el caso que no se logre ese 90% de cumplimiento se cae en el nivel 4 de incumplimiento.

Caso a): Espesor de capa menor o igual a 7.0 cmNivel de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (%)
Nivel 1	$-5.5 < E < +9.0$
Nivel 2	$-5.5 < E < +11.0$
Nivel 3	$-5.5 < E < +12.0$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 9.0] * 3$
Nivel 3	$\% R_3 = [T_{90} - 12] * 5 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Caso b): Espesor de capa mayor a 7.0 cm

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación mm)
Nivel 1	$-7.0 \text{ mm} < E < +10.0$
Nivel 2	$-7.0 \text{ mm} < E < +12.0$
Nivel 3	$-7.0 \text{ mm} < E < +13.0$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 10] * 3$
Nivel 3	$\% R_3 = [T_{90} - 13] * 10 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si el T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

3.6.4 Reducción total del precio del ítem de mezcla asfáltica

Para obtener la reducción total del precio del ítem se suman los porcentajes de reducción correspondientes a cada parámetro de pago.

Luego se obtiene el factor de pago para la mezcla asfáltica de la siguiente forma:

$$\%FP = 100 - \sum \%R_i$$

Donde:

ΣR_i = Porcentaje de reducción de pago calculado para cada parámetro de pago

FP = Factor de pago, en porcentaje

3.7 Número mínimo de ensayos a presentar por parte del Contratista, para realizar el trámite de estimación de obra para el pago.

Los ensayos deben corresponder a la producción que el Contratista va a someter al trámite de cobro (periodo de estimación).

Las muestras para la realización de estos ensayos no se pueden acumular todas en un determinado momento, sino que estos ensayos deben ser uniformemente distanciados, de conformidad con el avance de la producción.

Estos ensayos NO corresponden a un sistema de control de calidad, solamente son un requisito para el trámite de la estimación. El control de calidad es responsabilidad del Contratista, y corresponde a éste establecer el tipo y frecuencia de ensayo que requiere cada una de las etapas de su proceso de producción de mezcla asfáltica para asegurar la calidad y la uniformidad del producto final.

Las muestras que se tomen para realizar estos ensayos deben ser representativas, además el muestreo debe ser supervisado por la Ingeniería de Proyecto. Todas estas muestras se toman por triplicado y dos de ellas se envían a la Administración. En caso de determinaciones en sitio debe quedar indicado claramente el lugar donde se hizo la medición.

Tabla No. 3.2: Número mínimo de ensayos a los agregados de la mezcla, como requisito para trámite de estimación de obras

Ensayo	Frecuencia	Frecuencia mínima (1)
Partículas planas y elongadas	1 @ 10000 ton	1/semana
Caras fracturadas	1 @ 5000 ton	2/semana
Gravedad específica	1 @ 10000 ton	1/semana
Absorción	1 @ 10000 ton	1/semana
Equivalente de arena	1 @ 25000 ton	2/mes
Vacios en el agregado fino no compactado	1 @ 10000 ton	1/semana
Contenido de humedad de los agregados		2/día por apilamiento
Índice de abrasión en máquina Los Angeles	1 @ 75000 ton	½ meses
Sanidad (resistencia al efecto de sulfatos)	1 @ 75000 ton	½ meses
Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	1 @ 75000 ton	½ meses

(1) Esta cantidad mínima de ensayos aplica en aquellos casos donde el volumen de producción es pequeño, y al calcular el número de ensayos en función del régimen de producción, la frecuencia daría menor a lo que se indica en esta columna.

Tabla No. 3.3: Número mínimo de ensayos a la mezcla asfáltica, como requisito para trámite de estimación para pago de obra

Ensayo	Frecuencia	Frecuencia mínima
Gravedad específica máxima teórica	Control permanente	1/día
Densidad	1 @ 10000 ton	2/semana
Estabilidad Marshall	1 @ 10000 ton	2/semana
Flujo Marshall	1 @ 10000 ton	2/semana
Vacíos en los especímenes Marshall	1 @ 10000 ton	2/semana
Contenido de agua de la mezcla	1 @ 10000 ton	2/semana
Viscosidad a 60 °C del asfalto extraído de la mezcla	1 @ 50000 ton	1/mes
Vacíos en la mezcla (pastillas Marshall) Resistencia retenida (la que especifique el cartel)	1 @ 50000 ton	1 mes

Tabla No. 3.4: Número mínimo de ensayos a realizar al asfalto, como requisito para el trámite de la estimación para pago de obra

Ensayo	Frecuencia	Frecuencia mínima
Viscosidad a 125 °C, 135 °C y 145 °C.	1 @ 75000 ton (2)	1/2 meses
Viscosidad absoluta a 60 °C	1 @ 75000 ton (2)	1/2 meses
Temperatura de mezclado y de compactación	1 @ 75000 ton (2)	1/2 meses
Razón de viscosidades después de envejecimiento en película delgada	1 @ 75000 ton (2)	1/2 meses
Pérdida de masa en película delgada	1 @ 75000 ton (2)	1/2 meses

(2) Las muestras deben ser tomadas del tanque que suministra el asfalto directamente a la planta de producción de mezcla asfáltica.

El cumplimiento con estos requerimientos de frecuencia y tipo de ensayo para el trámite de la estimación de obra para el pago, NO exime al Contratista de su responsabilidad de cumplir en todo momento con todos los parámetros de aceptación. Para cumplir con esta exigencia, el Contratista debe poner en ejecución el plan de calidad que requiera su proceso constructivo.

Capítulo 4: Metodología para Control y Pago en Función de la Calidad de los Tratamientos Superficiales

4.1 Requerimientos previos. El diseño del tratamiento superficial.

- i. El informe de diseño del tratamiento superficial es un informe profesional que debe tener el formato de un reporte de esta naturaleza (índice, empastado, páginas numeradas, etc.) y debe presentarse suscrito por el profesional responsable de dicho informe, y además debe cumplir con los requerimientos que para tal propósito establece la Administración.
- ii. Definición de diseño del tratamiento superficial: consiste en la fórmula de proporcionamiento de los diferentes componentes de la materia prima con que se va a construir el tratamiento superficial.
- iii. Una vez que el diseño del tratamiento superficial está debidamente aceptado, el Contratista debe implantar todos los controles necesarios para cumplir con esa fórmula de trabajo. Para determinar el nivel de calidad del proceso constructivo, este diseño será el único elemento de contraste de los parámetros de calidad para el pago de obra.
- iv. El Contratista tiene la potestad de cambiar su diseño del tratamiento superficial, en cuyo caso, debe hacer el trámite completo ante la Administración, para someter a consideración un nuevo diseño.
- v. El Contratista debe tener debidamente aceptado su diseño, previo a iniciar la producción. Aunque la Administración emita la aceptación del diseño presentado por el Contratista, éste seguirá siendo el único responsable por la calidad de la producción y del propio diseño del tratamiento superficial.
- vi. El diseño de tratamiento superficial debe incluir todos los ensayos de laboratorio realizados en los quebradores, así como en los apilamientos de agregados, debidamente analizados estadísticamente, como fundamento

- de soporte de la granulometría que propone en el diseño del tratamiento superficial
- vii. Certificación de los equipos. La Administración definirá las exigencias de certificación permanente que deben tener los equipos utilizados en la construcción del tratamiento superficial (dosificador de emulsión, distribuidor de agregados, compactadores, etc), y que debe mantener vigentes durante todo el proceso de producción.
 - viii. Con el diseño del tratamiento superficial deben presentarse todos los resultados de los ensayos que demuestren que la materia prima y el tratamiento superficial, cumplen con todos los parámetros de aceptación especificados.
 - ix. En el informe de diseño del tratamiento superficial el Contratista debe indicar la norma utilizada en cada ensayo y anexar la memoria de cálculo del diseño.
 - x. El diseño del tratamiento superficial queda aceptado para las fuentes de agregados que específicamente estaban indicadas en la solicitud, por tanto, éste no aplica si se cambia una o más fuentes de agregados.

4.2 Definición de los parámetros de aceptación

4.2.1 Parámetros de aceptación del agregado

Para analizar los parámetros de aceptación del agregado, se separan éstos en dos fracciones, según sus tamaños. El agregado grueso corresponde al que es retenido en el tamiz No. 4 y el fino es aquel que pasa el tamiz No.4.

Estos parámetros de aceptación los debe cumplir cada fuente de agregados individualmente.

A continuación se presenta una lista de parámetros de aceptación, no obstante ésta puede modificarse, incluyendo o excluyendo parámetros, según las características de cada proyecto.

4.2.2 Parámetros de aceptación por fuente de agregados

Agregado grueso

Indice de desgaste de Los Angeles	ASTM C 131, C 535; AASHTO T 96
Resistencia a la acción de los sulfatos (sanidad)	ASTM C88, AASHTO T 104
Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	ASTM D 3744
Residuo insoluble en la prueba de carbonatos solubles (si los agregados son de origen calcáreo)	T 104
Caras fracturadas (si lo especifica el cartel)	MOP E 109
Partículas planas y elongadas (si lo especifica el cartel)	ASTM D 4791
Indice laminar (si lo especifica el cartel)	NLT - 354 (Norma española)
Gravedad específica y absorción	ASTM C 127, AASHTO T 100

Agregado Fino

Equivalente de arena	ASTM C 2419
Límites de Atterberg	ASTM D 43, AASHTO T89
Vacíos en el agregado fino no compactado (si lo especifica el cartel)	ASTM C 1252
Durabilidad (el ensayo que especifique el cartel)	
Gravedad específica y absorción	ASTM C128, AAHTO T 87

De la fuente de donde se toma el agregado fino, se deben tomar muestras de agregado grueso, para determinar si el tipo de roca utilizada, cumple con los parámetros de dureza y sanidad que se exigen para el agregado grueso en un tratamiento superficial.

4.2.3 Parámetros de aceptación para los agregados combinados según el diseño del tratamiento superficial

Granulometría	ASTM C126, C117; AASHTO t27,11
Afinidad agregado – ligante (el ensayo que indique el cartel)	NLT – 162 (Norma española)
Contenido de polvo	(Porcentaje que pasa la malla No. 200)
Peso unitario	ASTM C 29; AASHTO T 29
Dosificación de los agregados (kg/m^2)	
Dosificación del ligante (l/m^2)	

4.3 Parámetros de Control

Los ensayos de control deben cubrir desde la fase de producción de los agregados en el quebrador, hasta la compactación y el acabado final del tratamiento superficial.

Adelante se detallan algunos los parámetros de control, de los cuales el Contratista seleccionará los que estime necesarios para garantizar uniformidad y calidad del proceso constructivo. Solamente en los casos en que así se indique debe realizar la frecuencia mínima de ensayos especificada. Al diseñar su sistema de control de calidad, el Contratista debe garantizar uniformidad y calidad en sus procesos.

Granulometría	ASTM C126, C117; AASHTO t27,11
Partículas planas y elongadas	ASTM D 4791
Contenido de polvo	(porcentaje pasando la malla 200)
Caras fracturadas	MOP E 109
Gravedad específica y absorción	ASTM C 127, AASHTO T 100
Límites de Atterberg	ASTM D 43, AASHTO T 89
Índice de desgaste de Los Angeles	ASTM D2216; AASHTO T 265 ASTM C 131, C 535; AASHTO T 96
Contenido de humedad	ASTM C 127, AASHTO T 100
Equivalente de arena	ASTM D 2419
Dosificación de agregados (kg/m^2)	
Dosificación del ligante (l/m^2)	
Viscosidad del ligante al momento de su aplicación	ASTM E 1364
Temperatura de aplicación del ligante	
Contenido de agua de la emulsión	
Tiempo de rompimiento de la emulsión	
Tiempo de curado de la emulsión	
Afinidad agregado-ligante	NLT - 162 (Norma española)
Partículas sueltas después de la compactación	
Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	ASTM E 1384
Textura superficial	AASHTO T 120
Coefficiente de rozamiento	
Barrido de partículas sueltas	

4.3.1 Otros parámetros de control

De conformidad con la naturaleza y características del proyecto, y en función de su plan de calidad, el Contratista ejecutará todos los controles adicionales que sea necesario para asegurar la calidad de la mezcla asfáltica.

Tabla No. 4.1: Resumen de parámetros de calidad

Parámetros de Aceptación	Parámetros de Control	Parámetros de Pago
Por fuente de agregados	Quebrador, para cada tipo de agregado:	
a) Agregado grueso	Granulometría	Dosificación del agregado
Índice de desgaste de Los Angeles	Partículas planas y elongadas	Dosificación del ligante
Resistencia a la acción de los sulfatos (sanidad)	Contenido de polvo	Índice de rugosidad internacional (IRI)
Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	Caras fracturadas	
Residuo insoluble en la prueba de carbonatos solubles	Gravedad específica y absorción	
Caras fracturadas (si lo especifica el cartel)	Límites de Atterberg	
Partículas planas y elongadas (si lo especifica el cartel)	Índice de desgaste de Los Angeles	
Índice laminar (si lo especifica el cartel)	Contenido de humedad	
Gravedad específica y absorción	Equivalente de arena	
	Dosificación de agregados (kg/m ²)	
	Dosificación del ligante (l/m ²)	
b) Agregado fino	Viscosidad del ligante al momento de su aplicación	
Equivalente de arena	Temperatura de aplicación del ligante	
Límites de Atterberg	Contenido de agua de la emulsión	
Vacios en el agregado fino no compactado	Tiempo de rompimiento de la emulsión	
Durabilidad	Tiempo de curado de la emulsión	
Gravedad específica ya absorción	Afinidad agregado-ligante	
	Partículas sueltas después de la compactación	
	Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	
	Textura superficial	
Para el tratamiento superficial	Coefficiente de rozamiento	
Granulometría	Barrido de partículas sueltas	
Afinidad agregado – ligante	Dosificación de agregados	
Contenido de polvo	Dosificación del ligante	
Peso unitario	Viscosidad del ligante al momento de su aplicación	
Dosificación de ligante	Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	
Dosificación de los agrgados	Textura (si se especifica)	
	Coefficiente de rozamiento (si se especifica)	
Para la emulsión		
Tiempo de rompimiento de la emulsión		

4.4 Metodología para determinar el pago de obra, en función de la calidad

Los parámetros para pago de obra, en un proceso de producción controlado, permiten determinar el nivel de cumplimiento de la producción por lote y por lo tanto, son indicadores objetivos para determinar el monto a pagar en función del grado de cumplimiento. Teniendo en cuenta que el Contratista garantiza en la oferta la uniformidad del proceso de producción; para determinar el nivel de cumplimiento de la producción de un período (estimación de obra para el pago), la

Administración tomará muestras en cualquier momento durante el período, con lo cual determinará el nivel de calidad para dicho período, con base en los parámetros de pago establecidos.

4.4.1 Parámetros de calidad para el pago de la obra

Los siguientes son los parámetros para determinar el nivel de cumplimiento del tratamiento superficial:

- Dosificación del agregado
- Dosificación del ligante
- Índice de rugosidad internacional (IRI)
- Textura superficial

Estos dos últimos parámetros de aceptación se incorporarán a este modelo de pago cuando la administración defina los límites de especificación para su aceptación.

4.5 Lineamientos para muestreo para pago de obra

Para cada proyecto, según sus volúmenes de producción, la Administración definirá la forma de pago del trabajo ejecutado en este ítem de tratamiento superficial conforme a los siguientes lineamientos:

- I. La cantidad a pagar de cada ítem de obra ejecutado será la correspondiente a cada período de estimación de obra para el pago.
- ii. En cualquier momento durante la producción del período de estimación de obra para el pago, la Administración tomará muestras para determinar, por medio de los parámetros de pago, el nivel de cumplimiento de la producción, mismo que contrastará con las especificaciones y tolerancias, y

de esta forma se calculará el porcentaje de pago correspondiente a cada periodo de estimación.

- III. El número de muestras a tomar, lo definirá la Administración en función de la cantidad de producción. En general debe tomarse del orden de 10 muestras para medir el nivel de cumplimiento para una estimación para pago de obra.
- IV. Si el pago del ítem de tratamiento superficial se sub-divide (por ejemplo: agregados y emulsión asfáltica), el porcentaje de reducción de pago se aplicará por igual a cada uno de los componentes en que se sub-divide este ítem.

El número de muestras a tomar, lo definirá la Administración en función de la cantidad de producción. En general debe tomarse del orden de 10 muestras o mediciones para medir el nivel de cumplimiento de la producción para una estimación para pago de obra.

En el caso de volúmenes de producción muy altos, excepcionalmente la Administración puede determinar el nivel de cumplimiento por sub-ítems correspondientes a una misma estimación. Esta condición quedará previamente establecida en los términos de referencia de los documentos de licitación.

4.6 Cálculo del monto a pagar en función del nivel de cumplimiento

4.6.1 Aspectos generales

Definidos los parámetros de pago y sus tolerancias, se establecen cuatro rangos o niveles de cumplimiento, para pago o rechazo de la obra ejecutada en un período de estimación para pago.

Los niveles de cumplimiento son los siguientes:

Nivel 1: Lo pactado en el contrato.

Nivel 2: Segundo nivel de cumplimiento aceptable.

Nivel 3: Tercer nivel de cumplimiento aceptable.

Nivel 4: Nivel de rechazo.

El nivel de rechazo se alcanza cuando:

- a) Un parámetro individualmente alcanza dicho nivel de cumplimiento
- b) Cuando la sumatoria de deducciones por incumplimiento de los parámetros de pago del tratamiento superficial son mayores al 50% del precio del ítem.

En el nivel de rechazo, el Contratista debe levantar todo el tratamiento superficial colocado y volver a construir conforme a los compromisos contractuales, todo por su propia cuenta, sin que medie ampliación de plazo por este concepto.

A cualquier nivel de deducción de precio, el Contratista tiene la potestad de rehacer completamente el trabajo ejecutado y optar así por construir un lote de producción en un nivel de cumplimiento superior.

El nivel de cumplimiento se calcula por inferencia estadística para un nivel de confianza del 90%:

4.6.2 Cálculo del nivel de cumplimiento y del factor de reducción de precio del tratamiento superficial

De acuerdo en lo señalado en el apartado 4.4.1, para determinar el nivel de cumplimiento se consideran los siguientes parámetros:

- Granulometría
- Dosificación del agregado
- Dosificación del ligante

En todos los casos se calcula el nivel de cumplimiento para una confiabilidad del 90%:

iii) Factor de reducción de pago por granulometría

NOTA 1: La tolerancia granulométrica de la especificación (T), se define en la Tabla No. 4.2, de este mismo apartado.

NOTA 2: Para calcular el nivel de cumplimiento T_{90} , el rango de tolerancia no puede sobrepasar el límite de la especificación.

NOTA 3: Para calcular T_{90} se abre el intervalo T , simétricamente a partir del valor especificado para la granulometría del diseño del tratamiento superficial.

Se incluye en la Tabla No. 4.2 las tolerancias en todos los tamices, en función del tamaño máximo especificado, para cada tipo de tratamiento superficial.

La reducción de precio por granulometría solamente se aplicará al tamiz de mayor incumplimiento.

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (% pasando)
Nivel 1	T
Nivel 2	$T \pm 1.5$
Nivel 3	$T \pm 3.0$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Nivel de calidad y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - (+T)] * 5.5$
Nivel 3	$\% R_3 = [T_{90} - (+T + 1.5\%)] * 8 + 8.25$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Para calcular el T_{90} en cada nivel, se abre el rango de cumplimiento a partir del valor medio de la tolerancia correspondiente de cada nivel, hasta llegar a obtener un 90% de cumplimiento. Una vez que se sobrepasa el límite de la especificación, el área bajo la curva no cuenta para efectos de calcular el 90% de cumplimiento.

Tabla No. 4.2: Tolerancias respecto al valor de diseño según el tamaño máximo especificado de la graduación

Tipo de graduación (según tamaño máximo)	Tamaño máximo	< 25.0 mm T	< 19.0 mm T	< 12.5 mm T	< 9.5 mm T	< 4.75 mm T	< 2.36 mm T	< No. 100 T	200 (1) T
G1	37.5 mm	± 6.5	± 7.0	± 6.0		-	-	-	-
G2	25.0 mm	-	± 6.5	± 7.0	± 6.0	-	-	-	-
G3	19.0 mm	-	-	± 6.5	± 7.0	± 6.0	-	-	-
G4	12.5 mm	-	-	-	± 6.0	± 7.0	± 6.0	-	-
G5	9.5 mm	-	-	-	-	± 6.0	± 6.5	-	-
G6	< 9.5 mm	-	-	-	-	-	± 6.0	± 6.0	-

(1) Esta especificación es un parámetro de aceptación que debe cumplirse siempre.

Nota 1: El porcentaje que pasa por el tamiz que define el tamaño máximo, así como el porcentaje pasando la malla 200, son parámetros de aceptación que deben cumplirse siempre.

Nota 2: Aquellos tornices que, para un determinada graduación no tienen rango de tolerancia especificado, obviamente no aplica el concepto de tolerancia de esta tabla.

ii. Factor de reducción de pago por dosificación del agregado:

Nivel de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (% de peso) (1)
Nivel 1	-12 a +12
Nivel 2	-13 a + 13
Nivel 3	-14 a + 14
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

(1) Porcentaje de variación en relación con el peso/m² de la dosificación del agregado que establece el diseño del tratamiento superficial.

Factor de reducción de pago por dosificación del agregado

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	% R ₁ = 0
Nivel 2	% R ₂ = [T ₉₀ - 12] * 6
Nivel 3	% R ₃ = [T ₉₀ - 13] * 8 + 6
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T ₉₀ sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Para calcular el T₉₀, se abre el rango de cumplimiento a partir del valor medio del rango correspondiente de cada nivel hasta llegar a obtener el 90% de cumplimiento.

iii. Factor de reducción de pago por dosificación del ligante asfáltico

Nivel de calidad y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (% de peso) (2)
Nivel 1	-11 a +11
Nivel 2	-12 a + 12
Nivel 3	-13 a + 13
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

(2) Porcentaje de variación con relación a los l/m² de dosificación del asfalto residual que establece el diseño del tratamiento superficial.

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	% R ₁ = 0
Nivel 2	% R ₂ = [T ₉₀ - 11] * 6
Nivel 3	% R ₃ = [T ₉₀ - 12] * 8 + 6
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T ₉₀ sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Para determinar el rango para el cual se logra el cumplimiento al nivel de confianza del 90%, se abre la tolerancia a partir del valor de diseño especificado en la granulometría para cada tamiz, y no puede sobrepasar el límite del rango de la especificación.

4.6.3 Reducción total del precio del ítem de mezcla asfáltica

Para obtener la reducción total del precio del ítem se suman los porcentajes de reducción correspondientes a cada parámetro de pago.

Luego se obtiene el factor de pago para la mezcla asfáltica de la siguiente forma:

$$\%FP = 100 - \sum \%R_i$$

Donde:

ΣR_i = Porcentaje de reducción de pago calculado para cada parámetro de pago

FP = Factor de pago, en porcentaje

4.7 Número mínimo de ensayos a presentar por parte del contratista, para realizar el trámite de estimación de obra para el pago.

Los ensayos deben corresponder a la producción que el Contratista va a someter al trámite de cobro (periodo de estimación).

Las muestras para la realización de estos ensayos no se pueden acumular todas en un determinado momento, sino que deben ser uniformemente distanciados, de conformidad con el avance de la producción.

Estos ensayos NO corresponden a un sistema de control de calidad, son requisito para el trámite de la estimación. El control de calidad es responsabilidad del Contratista, y corresponde a éste establecer el tipo y frecuencia de ensayo que

requiere cada una de las etapas de su proceso de producción del tratamiento superficial para asegurar la calidad y la uniformidad del producto final.

Las muestras que se tomen para realizar estos ensayos deben ser representativas, además el muestreo debe ser supervisado por la Ingeniería de Proyecto. Todas estas muestras se toman por triplicado y dos de ellas se envían a la Administración. En caso de determinaciones en sitio debe quedar indicado claramente el lugar donde se hizo la medición.

Tabla No. 4.3: Número mínimo de ensayos a realizar a los agregados para trámite de estimación para pago de obra

Ensayo	Frecuencia	Frecuencia mínima (1)
Partículas planas y elongadas	1 @ 20000 m ²	2/mes
Contenido de polvo	1 @ 5000 m ²	3/semana
Caras fracturadas	1 @ 20000 m ²	2/mes
Gravedad específica y absorción	1 @ 15000 m ²	3/mes
Contenido de humedad	Control permanente	1/día
Viscosidad del ligante al momento de su aplicación		2/mes
Temperatura de aplicación del ligante (control permanente)	Control permanente	-
Contenido de agua de la emulsión	1 @ 00000 m ²	2/mes
Tiempo de rompimiento de la emulsión	1 @ 40000 m ²	1/mes
Tiempo de curado de la emulsión	Control permanente	-
Afinidad agregado-ligante	1 @ 40000 m ²	1/mes
Partículas sueltas después de la compactación	Control permanente	-

(1) Esta cantidad mínima de ensayos aplica en aquellos casos donde el volumen de producción es pequeño, y al calcular el número de ensayos en función del régimen de producción, la frecuencia sería menor a lo que se indica en esta columna.

NOTA 1: Todos estos ensayos deben muestrearse por triplicado. Dos de las muestras pasarán a la Administración.

El cumplimiento con estos requerimientos de frecuencia y tipo de ensayo para el trámite de la estimación de obra para el pago, NO exime al Contratista de su responsabilidad de cumplir en todo momento con todos los parámetros de aceptación. Para cumplir con esta exigencia, el Contratista debe poner en ejecución el plan de calidad que requiera su proceso constructivo.

Capítulo 5: Metodología para Control y Pago en Función de la Calidad de la Base Granular

5.1 Requerimientos previos

5.1.1 Aspectos básicos

- En el informe que presenta el Contratista para demostrar el cumplimiento de las pruebas de aceptación; el análisis de calidad que se presenta de los agregados, debe corresponder estrictamente a los materiales con que realmente se va a construir la base.
- Los parámetros de aceptación que presenta el Contratista deben ser estadísticamente representativos, desde el punto de vista de la materia prima con que se va a construir la base.
- El documento de solicitud de aceptación de la fórmula de trabajo es un informe profesional, debidamente editado y firmado por un profesional responsable.

5.1.2 Solicitud de aceptación de la fórmula de trabajo

El Contratista, previo a iniciar la construcción de la base, debe presentar una solicitud de aceptación de la fórmula de trabajo para la construcción de la base, que comprende los siguientes aspectos:

- Fuentes de donde se tomarán los materiales.
- Proceso de triturado y tipo de graduación que aportará cada fuente de agregados.

- Estudio de laboratorio que demuestre que cada fuente de agregados a utilizar (separadamente) cumple con todos los parámetros de aceptación que establece el cartel para materiales de base granular.
- Curva granulométrica que utilizará para la construcción de la base.
- Datos estadísticos de los apilamientos en que se soporta la curva granulométrica propuesta.

5.2 Definición de los parámetros de aceptación

Para analizar los parámetros de aceptación los agregados se separan en dos fracciones. El agregado grueso corresponde al que es retenido en la malla No. 4 y el fino es aquel que pasa la malla No.4.

Estos parámetros de aceptación los debe cumplir cada fuente de agregados individualmente.

5.2.1 Parámetros de aceptación por fuente de agregados

Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	
Índice de abrasión en máquina Los Angeles (*)	ASTM C 131, C535
Resistencia a la acción de los sulfatos (sanidad)	ASTM C88, AASHTO T 104
Gravedad específica y absorción (si lo especifica el cartel)	ASTM C 127, AASHTO T 100
Equivalente de Arena (si lo especifica el cartel)	ASTM D 24109
Límites de Atterberg	ASTM D 423, AASHTO T 89
Terrones de arcilla y partículas friables	AASHTO T 112

(*) Solamente se aplica para el agregado grueso.

Caso que de una fuente se tome solamente agregado fino, de dicha fuente, se deben tomar muestras de agregado grueso, para determinar si el tipo de roca utilizada, cumple con los parámetros de dureza y sanidad que se exigen para el agregado grueso que se incorporará en la base.

5.2.2 Parámetros de aceptación para los agregados mezclados

- | | |
|---|--------------------------------------|
| • Capacidad de soporte de California | ASTM D 1883, AASHTO T 193 |
| • Curva Próctor modificado (la curva 0.1" y 0.2" de penetración) | ASTM D 1557, AASHTO T 180 |
| • Granulometría | ASTM C 126, C 117, AASHTO T 27 y T11 |
| • Caras fracturadas | MOP E 109 |
| • Partículas planas y elongadas | ASTM D 4791 |
| • Vacíos en el agregado fino no compactado (si lo especifica el cartel) | ASTM C 1252 |

5.2.3 Parámetros de aceptación de la regularidad geométrica superficial.

Estos parámetros deben cumplirse como requisito para el trámite de pago.

- Alineamiento vertical y horizontal
- Ancho y sobre-anchos
- Peraltes y demás detalles del trazado geométrico (rasante, prisma, etc).
- Deformaciones superficiales, con regla de 3 m o el procedimiento que especifique el cartel.

5.3 Parámetros de Control

Los ensayos de control deben cubrir desde la fase de producción de los agregados en el quebrador, hasta la compactación y el acabado final de la base granular.

Adelante se detallan algunos de los parámetros de control, de los cuales el Contratista seleccionará los que estime necesarios para garantizar uniformidad y calidad del proceso constructivo. Solamente en los casos en que así se indique debe realizar la frecuencia mínima de ensayos especificada. Al diseñar su sistema de control de calidad, el Contratista debe garantizar uniformidad y calidad en sus procesos.

Granulometría	ASTM C 126,C117; AASHTO T27, T11
Partículas planas y elongadas	ASTM D 4791
Límites de Atterberg	ASTM D 423, AASHTO T 89
Caras fracturadas	MOP e 109
Gravedad específica y absorción	ASTM D854, AASHTO T 100
Equivalente de arena	ASTM C 2419
Vacíos en el agregado fino no compactado	ASTM C 1252
Contenido de humedad	ASTM D 2216, AASHTO T 265
Índice de abrasión en máquina de Los Angeles	ASTM C 131, C535
Porcentaje de compactación	ASTM D 2726, AASHTO T 166
Densidad Próctor modificado	ASTM D 1557, AASHTO T 180
Capacidad de soporte de California (CBR)	ASTM D 1883, AASHTO T 193
Regularidad geométrica del acabado superficial	
Espesor de capa (el ensayo que indique el cartel)	
Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	
Resistencia a la acción de los sulfatos (sanidad)	ASTM C88, AASHTO T 104
Angularidad del agregado fino	

Otros, según los requerimientos específicos del proyecto y del propio proceso productivo.

De la fuente de donde se toma el agregado fino, se deben tomar muestras de agregado grueso, para determinar si el tipo de roca utilizada, cumple con los parámetros de dureza y sanidad que se exigen para el agregado grueso que se incorporará en la mezcla.

Tabla No. 5.1: Resumen de parámetros de calidad

Parámetros de Aceptación	Parámetros de Control	Parámetros de Pago
Por fuente de agregados		
Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	Granulometría	Granulometría
Índice de abrasión en máquina Los Angeles	Partículas planas y elongadas	Densidad de compactación
Resistencia a la acción de los sulfatos (sanidad)	Límites de Atterberg	Espesor de capa
Gravedad específica y absorción (si lo especifica el cartel)	Caras fracturadas	Regularidad superficial
Equivalente de Arena (si lo especifica el cartel)	Gravedad específica y absorción	
Límites de Atterberg	Equivalente de arena	
Terrones de arcilla y partículas friables	Vacios en el agregado fino no compactado	
	Contenido de humedad	
Para los agregados mezclados	Índice de abrasión en máquina de Los Angeles	
Capacidad de soporte de California	Porcentaje de compactación	
Curva Próctor modificado	Densidad Próctor modificado	
Granulometría	Capacidad de soporte de California (CBR)	
Caras fracturadas	Regularidad geométrica del acabado superficial	
Partículas planas y elongadas	Espesor de capa (el ensayo que indique el cartel)	
Vacios en el agregado fino no compactado	Durabilidad	
	Resistencia a la acción de los sulfatos	
Para la regularidad geométrica superficial	Angularidad	
Alineamiento vertical y horizontal		
Ancho y sobre-anchos		
Peraltes y demás detalles del trazado geométrico		
Deformaciones superficiales, con regla de 3 m		

5.4 Metodología para el pago en función de la calidad

Adelante se indican los parámetros tales que, en un proceso de producción controlado, permiten determinar el nivel de cumplimiento de la producción por lote y por lo tanto, son indicadores objetivos para determinar el monto a pagar en función de la calidad. Como el Contratista garantiza en la oferta la uniformidad del proceso de producción, para determinar el nivel de cumplimiento de la producción de un período (estimación de obra para el pago), la Administración tomará muestras en cualquier momento durante dicho período, con lo cual determinará el nivel de cumplimiento, con base en los parámetros de pago establecidos en el cartel.

5.4.1 Parámetros de calidad para el pago de la obra

Los siguientes son los parámetros para determinar la calidad de la base:

- Granulometría
- Densidad de compactación
- Espesor de capa
- Regularidad superficial

Los parámetros de acabado superficial se incorporarán posteriormente cuando la Administración defina las especificaciones para aceptación de la condición superficial.

Previo a evaluar estos parámetros para pago de obra, en cada estimación el Contratista debe presentar el informe de laboratorio que demuestre el cumplimiento de todos los parámetros de aceptación y control que defina el cartel, cumpliendo además con la frecuencia mínima de ensayos que se especifique.

5.5 Lineamientos para muestreo y reducción de pago de obra

Para cada proyecto, según sus volúmenes de producción, la Administración definirá la forma de pago del trabajo ejecutado en este ítem de base granular, conforme a los siguientes lineamientos:

- i. La cantidad a pagar de cada ítem de obra ejecutada será la correspondiente a cada período de estimación de obra para el pago.
- ii. De cualquier segmento de la producción del período de estimación de obra para el pago, la Administración tomará muestras o realizará mediciones (caso de la compactación o el espesor) para determinar, por medio de los parámetros de pago, el nivel de cumplimiento de la producción, mismo que contrastará con las respectivas especificaciones y tolerancias, y de esta forma aplicará el correspondiente porcentaje de reducción de pago correspondiente a cada periodo de estimación.

En el caso de volúmenes de producción muy altos, excepcionalmente al Administración puede determinar el nivel de cumplimiento por sub-lotes correspondientes a una misma estimación. Esta condición quedará previamente establecida en los términos de diferencia de los documentos de licitación.

El número de muestras a tomar, lo definirá la Administración en función de la cantidad de producción. En general debe tomarse del orden de 10 muestras o mediciones para medir el nivel de cumplimiento para una estimación para pago de obra.

5.6 Cálculo del monto a pagar en función del nivel de cumplimiento

5.6.1 Aspectos generales

Definidos los parámetros de pago y sus tolerancias, se establecen cuatro rangos o niveles de cumplimiento, para pago o rechazo de la obra ejecutada en un período de estimación para pago.

La reducción de pago en cada nivel de cumplimiento, se aplica al precio total del ítem de la base granular colocada.

Los niveles de cumplimiento son los siguientes:

Nivel 1: Lo pactado en el contrato.

Nivel 2: Segundo nivel de cumplimiento aceptable.

Nivel 3: Tercer nivel de cumplimiento aceptable.

Nivel 4: Nivel de rechazo.

El nivel de rechazo se alcanza cuando:

- Un parámetro individualmente alcanza dicho nivel de calidad
- Cuando la sumatoria de deducciones de los parámetros para pago de obra son mayores al 50% del precio del ítem.

En el nivel de rechazo, el Contratista debe levantar toda la base colocada y volver a construir conforme a los compromisos contractuales, todo por su propia cuenta, sin que medie ampliación de plazo por este concepto.

A cualquier nivel de deducción de precio, el Contratista, por su propia cuenta, tiene la potestad de rehacer completamente el trabajo ejecutado y optar así por construir el lote de producción correspondiente en un nivel de cumplimiento superior.

El nivel de cumplimiento se calcula por inferencia estadística para un nivel de confianza del 90%.

5.6.2 Cálculo del nivel de cumplimiento y del porcentaje de reducción de precio de la base granular

Según se definió anteriormente, para determinar el nivel de calidad se consideran los siguientes parámetros:

- Granulometría
- Densidad de compactación
- Espesor

i) Factor de reducción del precio por granulometría

Para determinar el factor para reducción de pago por este concepto, se sub-divide la granulometría en 3 categorías:

Agregado grueso	Agregado de tamaño mayor o igual al tamiz No. 4 (inclusive)
Agregado fino	Material que pasa el tamiz No.8, y queda retenido en la malla No. 200.
Polvo	Material que pasa el tamiz No. 200.

El tamiz que define el tamaño máximo de la granulometría especificada, no entra en consideración para calcular el factor de reducción, pues es una condición que debe cumplirse siempre.

En cada una de dichas categorías, para el cálculo del factor de reducción para pago, solamente se considerará el tamiz de mayor incumplimiento, de conformidad con el siguiente criterio:

- **Factor de reducción para el agregado grueso**

Niveles de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de cumplimiento (%)
Nivel 1	± 8.0
Nivel 2	± 9.0
Nivel 3	± 10.0
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

NOTA: La tolerancia se mide a partir del valor especificado por el Contratista en la curva granulométrica que presentó para la construcción de la base.

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 8.0] * 6$
Nivel 3	$\% R_2 = [T_{90} - 9.0\%] * 10 + 6.0$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

NOTA 1: T_{90} es el rango para la cual se alcanza el nivel de cumplimiento del 90%, en el nivel de cumplimiento correspondiente. Este rango se mide abriendo simétricamente el intervalo, a partir del valor correspondiente de la curva granulométrica propuesta por el Contratista, y no puede sobrepasar los límites que determina la especificación en cada malla. Este criterio aplica en todos los tamices, incluido el agregado fino y el polvo, o sea, que para el cálculo de T_{90} , no se considera el área bajo la curva fuera del rango de la especificación.

▪ **Factor de reducción para el agregado fino**

La reducción de precio por granulometría del agregado fino solamente se aplicará al tamiz de mayor incumplimiento.

Niveles de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de cumplimiento (%)
Nivel 1	± 5
Nivel 2	± 6
Nivel 3	± 7.0
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 5] * 6$
Nivel 3	$\% R_2 = [T_{90} - 6] * 10 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

- Factor de reducción para el polvo (porcentaje pasando la malla 200)

Nivel de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de cumplimiento (%)
Nivel 1	± 4.0
Nivel 2	± 5.0
Nivel 3	± 5.5
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Factor de reducción de pago:

Nivel de calidad	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 4] * 6$
Nivel 3	$\% R_3 = [T_{90} - 5] * 20 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

i. Factor de por la densidad de compactación

Nivel de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de cumplimiento (% de compactación)
Nivel 1	> 96%
Nivel 2	> 94%
Nivel 3	> 93%
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	% $R_1 = 0$
Nivel 2	% $R_2 = [96 - T_{90}] * 3$
Nivel 3	% $R_3 = [94 - T_{90}] * 10 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

ii. **Factor de reducción por espesor de capa**

Nivel de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de cumplimiento (cm)
Nivel 1	-1.3 a +1.5
Nivel 2	-1.4 a +1.8
Nivel 3	-1.4 a +2.1
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 1.5] * 20$
Nivel 3	$\% R_3 = [T_{90} - 1.8] * 30 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Nota: Para calcular el rango para el cual el nivel de cumplimiento es del 90% (T_{90}), se parte del valor medio correspondiente a cada nivel, y se abre el intervalo en igual magnitud en ambas direcciones, hasta lograr el 90% de cumplimiento, En el caso que no se logre ese 90% de cumplimiento se cae en el nivel 4 de incumplimiento.

5.6.3 Reducción de precio del ítem

Para obtener la reducción total del precio del ítem se suman los porcentajes de reducción correspondientes a cada parámetro de pago.

Luego se obtiene el factor de pago para la mezcla asfáltica de la siguiente forma:

$$\%FP = 100 - \sum \%R_i$$

Donde:

$\sum R_i$ = Porcentaje de reducción de pago calculado para cada parámetro de pago

FP = Factor de pago, en porcentaje

5.7 Número mínimo de ensayos a presentar por parte del Contratista, para realizar el trámite de estimación de obra para el pago.

Los ensayos deben corresponder a la producción que el Contratista va a someter al trámite de cobro (periodo de estimación).

Las muestras para la realización de estos ensayos no se pueden acumular todas en un determinado momento, sino que deben ser uniformemente distanciadas, de conformidad con el avance de la producción.

Estos ensayos NO corresponden a un sistema de control de calidad, son requisito para el trámite de la estimación. El control de calidad es responsabilidad del

Contratista, y corresponde a éste establecer el tipo y frecuencia de ensayo que requiere cada una de las etapas de su proceso de producción de la base granular para asegurar la calidad y la uniformidad del producto final.

Las muestras que se tomen para realizar estos ensayos deben ser representativas, además el muestreo debe ser supervisado por la Ingeniería de Proyecto. Todas estas muestras se toman por triplicado y dos de ellas se envían a la Administración. En caso de determinaciones en sitio debe quedar indicado claramente el lugar donde se hizo la medición.

Tabla No. 5.2: Número mínimo de ensayos para trámite de estimación para pago de obra

Ensayo	Frecuencia	Frecuencia mínima (1)
Durabilidad	1 @ 10000 m ³	1/mes
Resistencia a la acción de los sulfatos	1 @ 10000 m ³	1/mes
Partículas planas y elongadas	1 @ 1000 m ³	1/semana
Límites de Atterberg	1 @ 1000 m ³	1/semana
Caras fracturadas	1 @ 10000 m ³	1/semana
Gravedad específica y absorción	1 @ 3000 m ³	2/mes
Equivalente de arena	1 @ 3000 m ³	2/mes
Vacios en el agregado fino no compactado	1 @ 10000 m ³	1/mes
Contenido de humedad	control permanente	-
Índice de abrasión en máquina de Los Angeles	1 @ 15000 m ³	½ meses
Próctor modificado	1 @ 1500 m ³	1/semana
Capacidad de soporte de California (CBR)	1 @ 1500 m ³	1/semana
Regularidad geométrica del acabado superficial	control permanente	-
Espesor de capa (control permanente)	control permanente	-

(1) Esta cantidad mínima de ensayos aplica en aquellos casos donde el volumen de producción es pequeño, y al calcular el número de ensayos en función del régimen de producción, la frecuencia daría menor a lo que se indica en esta columna.

NOTA 1: Esta tabla solamente aplica para aquellos ensayos (o parámetros de calidad) especificados en el cartel para cada proyecto específico.

El cumplimiento con estos requerimientos de frecuencia y tipo de ensayo para el trámite de la estimación de obra para el pago, NO exime al Contratista de su responsabilidad de cumplir en todo momento con todos los parámetros de aceptación. Para cumplir con esta exigencia, el Contratista debe poner en ejecución el plan de calidad que requiera su proceso constructivo.

Capítulo 6: Metodología para Control y Pago en Función de la Calidad de la Sub-base Granular

6.1 Requerimientos previos

6.1.1 Aspectos básicos

- En el informe del Contratista de las pruebas de aceptación, el análisis de calidad que se presenta de los agregados, debe corresponder estrictamente a los materiales con que realmente se va a construir la sub-base.
- Los parámetros de aceptación que presenta el Contratista deben ser estadísticamente representativos, desde el punto de vista de la materia prima con que se va a construir la sub-base.
- El documento de solicitud de aceptación de la fórmula de trabajo es un informe profesional, debidamente editado y firmado por un profesional responsable.

6.1.2 Solicitud de aceptación de la fórmula de trabajo

El Contratista, previo a iniciar la construcción de la sub-base, debe presentar una solicitud de aceptación de la fórmula de trabajo para la construcción de la sub-base, que comprende de los siguientes aspectos:

- Fuentes de donde se tomarán los materiales.
- Proceso de triturado y tipo de graduación que aportará cada fuente de agregados.

- Estudio de laboratorio que demuestre que cada fuente de agregados a utilizar (separadamente) cumple con todos los parámetros de aceptación que establece el cartel para materiales de sub-base granular.
- Curva granulométrica que utilizará para la construcción de la sub-base.
- Datos estadísticos de los apilamientos en que se soporta la curva granulométrica propuesta.

6.2 Definición de los parámetros de aceptación

Para analizar los parámetros de aceptación los agregados se separan en dos fracciones. El agregado grueso corresponde al que es retenido en la malla No. 4 y el fino es aquel que pasa la malla No.4.

Estos parámetros de aceptación los debe cumplir cada fuente de agregados individualmente.

6.2.1 Parámetros de aceptación por fuente de agregados

índice de abrasión en máquina Los Angeles (*)	ASTM C 131, C535
Resistencia a la acción de los sulfatos (sanidad)	ASTM C88, AASHTO T 104
Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	
Gravedad específica y absorción	ASTM C 127, AASHTO T 100
Equivalente de Arena	ASTM D 24109
Límites de Atterberg	ASTM D 423, AASHTO T 89

(*) Solamente para el agregado grueso

De la fuente de donde se toma el agregado fino, se deben tomar muestras de agregado grueso, para determinar si el tipo de roca utilizada, cumple con los parámetros de dureza y sanidad que se exigen para el agregado grueso de la sub-base.

6.2.2 Parámetros de aceptación para los agregados debidamente mezclados para construir la sub-base

- Capacidad de soporte de California ASTM D 1883, AASHTO T 193
- Curva Próctor modificado (la curva a 0.1" y 0.2" de penetración) ASTM D 1557, AASHTO T 180
- Granulometría ASTM C 126, C 117, AASHTO T 27 y T11
- Caras fracturadas (si lo especifica el cartel) MOP E 109
- Partículas planas y elongadas (si lo especifica el cartel) ASTM D 4791
- Angularidad del agregado fino (si lo especifica el cartel)
- Vacíos en el agregado fino no compactado (si lo especifica el cartel) ASTM C 1252

6.2.3 Parámetros de aceptación de la regularidad geométrica superficial.

Estos parámetros deben cumplirse como requisito para el trámite de pago.

- Alineamiento vertical y horizontal
- Ancho y sobre-anchos
- Peraltes y demás detalles del trazado geométrico (rasante, prisma, etc).

Deformaciones superficiales, con regla de 3 m o el procedimiento que especifique el cartel.

6.3 Parámetros de Control

Los ensayos de control deben cubrir desde la fase de producción de los agregados en el quebrador, hasta la compactación y el acabado final de la sub-base granular.

Adelante se detallan algunos de los parámetros de control, en las diferentes fases del proceso, de los cuales el Contratista seleccionará los que estime necesarios para garantizar uniformidad y calidad del proceso constructivo. Solamente en los casos en que así se indique debe realizar la frecuencia mínima de ensayos especificada. Al diseñar su sistema de control de calidad, el contratista debe garantizar uniformidad y calidad en sus procesos.

Granulometría	ASTM C 126, C117; AASHTO T27, T11
Partículas planas y elongadas	ASTM D 4791
Límites de Atterberg	ASTM D 43, AASHTO T 69
Caras fracturadas	MOP E 109
Gravedad específica y absorción	ASTM D854, AASHTO T 100
Equivalente de arena	ASTM C 2419
Vacíos en el agregado fino no compactado (si lo indica el cartel)	ASTM C 1252
Contenido de humedad	ASTM D 2216, AASHTO T 265
Índice de abrasión en máquina de Los Angeles	ASTM C 131, C535
Porcentaje de compactación	
Densidad del Próctor modificado	ASTM D 1557, AASHTO T 180
Capacidad de soporte de California (CBR)	ASTM D 1883, AASHTO T 193
Regularidad geométrica del acabado superficial	
Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	
Espesor de capa	
Resistencia a la acción de los sulfatos (sanidad)	
Angularidad del agregado fino	

Otros, según los requerimientos específicos del proyecto y del proceso constructivo.

Tabla No. 6.1: Resumen de parámetros de calidad

Parámetros de Aceptación	Parámetros de Control	Parámetros de Pago
Por fuente de agregados		
Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	Granulometría	Granulometría
Índice de abrasión en máquina Los Angeles	Partículas planas y elongadas	Densidad de compactación
Resistencia a la acción de los sulfatos (sanidad)	Límites de Atterberg	Espesor de capa
Gravedad específica y absorción (si lo especifica el cartel)	Caras fracturadas	Regularidad superficial
Equivalente de Arena (si lo especifica el cartel)	Gravedad específica y absorción	
Límites de Atterberg	Equivalente de arena	
Terrones de arcilla y partículas friables	Vacios en el agregado fino no compactado	
	Contenido de humedad	
Para los agregados mezclados	Índice de abrasión en máquina de Los Angeles	
Capacidad de soporte de California	Porcentaje de compactación	
Curva Próctor modificado	Densidad Próctor modificado	
Granulometría	Capacidad de soporte de California (CBR)	
Caras fracturadas	Regularidad geométrica del acabado superficial	
Partículas planas y elongadas	Espesor de capa (el ensayo que indique el cartel)	
Vacios en el agregado fino no compactado	Durabilidad	
	Resistencia a la acción de los sulfatos	
Para la regularidad geométrica superficial	Angularidad	
Alineamiento vertical y horizontal		
Ancho y sobre-anchos		
Peraltes y demás detalles del trazado geométrico		
Deformaciones superficiales, con regla de 3 m		

6.4 Metodología para el pago en función de la calidad

Adelante se indican los parámetros tales que, en un proceso de producción controlado, permiten determinar el nivel de cumplimiento de la producción por lote y por lo tanto, son indicadores objetivos para determinar el monto a pagar en función de la calidad. Como el Contratista garantiza en la oferta la uniformidad del proceso de producción, para determinar el nivel de calidad de la producción de un período (estimación de obra para el pago), la Administración tomará muestras en cualquier momento durante dicho período, con lo cual determinará el nivel de cumplimiento, con base en los parámetros de pago establecidos en el cartel.

6.4.1 Parámetros de calidad para el pago de la obra

i. Los siguientes son los parámetros para determinar la calidad de la sub-base:

- Granulometría
- Densidad de compactación
- Espesor de capa
- Regularidad superficial

Los parámetros de acabado superficial se incorporarán posteriormente cuando la Administración defina las especificaciones para aceptación de la condición superficial.

Previo a evaluar estos parámetros para pago de obra, en cada estimación el Contratista debe presentar el informe de laboratorio que demuestre el cumplimiento de todos los parámetros de aceptación y control que defina el cartel, cumpliendo además con la frecuencia mínima de ensayos que se especifique.

6.5 Lineamientos para muestreo y reducción de pago de obra

Para cada proyecto, según sus volúmenes de producción, la Administración definirá la forma de pago del trabajo ejecutado en este ítem de sub-base granular, conforme a los siguientes lineamientos:

- I. La cantidad a pagar de cada ítem de obra ejecutada será la correspondiente a cada período de estimación de obra para el pago.
- II. De cualquier segmento de la producción del período de estimación de obra para el pago, la Administración tomará muestras o realizará mediciones

(caso de la compactación o el espesor) para determinar, por medio de los parámetros de pago, el nivel de cumplimiento de la producción, mismo que contrastará con las respectivas especificaciones y tolerancias, y de esta forma aplicará el porcentaje de reducción de pago correspondiente a cada periodo de estimación.

- III. El número de muestras a tomar, lo definirá la Administración en función de la cantidad de producción. En general debe tomarse del orden de 10 muestras o mediciones para medir el nivel de calidad para una estimación para pago de obra.

En el caso de volúmenes de producción muy altos, excepcionalmente al Administración puede determinar el nivel de cumplimiento por sub-lotes correspondientes a una misma estimación. Esta condición quedará previamente establecida en los términos de diferencia de los documentos de licitación.

6.6 Cálculo del monto a pagar en función del nivel de cumplimiento

6.6.1 Aspectos generales

Definidos los parámetros de pago y sus tolerancias, se establecen cuatro rangos o niveles de cumplimiento, para pago o rechazo de la obra ejecutada en un periodo de estimación para pago.

La reducción de pago en cada nivel de calidad, se aplica al precio total del ítem de la sub-base granular colocada.

Los niveles de calidad son los siguientes:

Nivel 1: Lo pactado en el contrato.

Nivel 2: Segundo nivel de cumplimiento aceptable.

Nivel 3: Tercer nivel de cumplimiento aceptable.

Nivel 4: Nivel de rechazo.

El nivel de rechazo se alcanza cuando:

- Un parámetro individualmente alcanza dicho nivel de cumplimiento
- Cuando la sumatoria de deducciones de los parámetros para pago de obra son mayores al 50% del precio del ítem.

En el nivel de rechazo, el Contratista debe levantar toda la sub-base colocada y volver a construir conforme a los compromisos contractuales, todo por su propia cuenta, sin que medie ampliación de plazo por este concepto.

A cualquier nivel de deducción de precio, el Contratista, por su propia cuenta, tiene la potestad de rehacer completamente el trabajo ejecutado y optar así por construir el lote de producción en un nivel de cumplimiento superior.

El nivel de cumplimiento se calcula por inferencia estadística para un nivel de confianza del 90%.

6.6.2 Cálculo del nivel de cumplimiento y del porcentaje de reducción de precio para la sub-base granular

Según se definió anteriormente, para determinar el nivel de calidad se consideran los siguientes parámetros:

- Granulometría
- Densidad de compactación
- Espesor

i. Factor de reducción de precio por granulometría

Para determinar el factor para reducción de pago por este concepto, se sub-divide la granulometría en 3 categorías:

Agregado grueso	Agregado de tamaño mayor o igual al tamiz No. 4 (inclusive)
Agregado fino	Material que pasa el tamiz No.8, y queda retenido en la malla No. 200.
Polvo	Material que pasa el tamiz No. 200.

El tamiz que define el tamaño máximo de la granulometría especificada, no entra en consideración para calcular el factor de reducción, pues es una condición que debe cumplirse siempre.

En cada una de dichas categorías, para el cálculo del factor de reducción para pago, solamente se considerará el tamiz de mayor incumplimiento, de conformidad con el siguiente criterio:

- **Factor de reducción para el agregado grueso**

Niveles de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (% pasando)
Nivel 1	± 9.0
Nivel 2	± 10.0
Nivel 3	± 11.0
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 9.0] * 6$
Nivel 3	$\% R_2 = [T_{90} - 10.5] * 10 + 6.0$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

NOTA 1: T_{90} es el rango para la cual se alcanza el nivel de cumplimiento del 90%, en el nivel de cumplimiento correspondiente. Este rango se mide abriendo simétricamente el intervalo, a partir del valor correspondiente de la curva granulométrica propuesta por el Contratista, y no puede sobrepasar los límites que determina la especificación en cada malla. Este criterio aplica en todos los tamices, incluido el agregado fino y el polvo, o sea que para el cálculo de T_{90} , no se considera el área bajo la curva fuera del rango de la especificación.

NOTA 2: Para el cálculo de T_{90} , no se puede tomar en cuenta el área de la curva, por debajo del rango de la especificación.

- **Factor de reducción para el agregado fino**

La reducción de precio por granulometría del agregado fino solamente se aplicará al tamiz de mayor incumplimiento.

Niveles de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (% pasando)
Nivel 1	± 6.5
Nivel 2	± 7.5
Nivel 3	± 8.5
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 6.5] * 6$
Nivel 3	$\% R_2 = [T_{90} - 7.5] * 10 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

- **Factor de reducción para el polvo (porcentaje pasando la malla 200)**

La reducción de precio por granulometría solamente se aplicará al tamiz de mayor incumplimiento.

n Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (% pasando)
Nivel 1	± 5
Nivel 2	± 6
Nivel 3	± 7
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 5] * 6$
Nivel 3	$\% R_3 = [T_{90} - 6] * 10 + 8$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

ii. **Factor de reducción por densidad de compactación**

Niveles de calidad y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (% compactación)
Nivel 1	> 95
Nivel 2	> 94
Nivel 3	> 93
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [95 - T_{90}] * 6$
Nivel 3	$\% R_3 = [94 - T_{90}] * 10 + 8$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

NOTA: T_{90} es la tolerancia para la cual se alcanza el nivel de confianza del 90%, en el nivel de calidad correspondiente.

iii. Factor de reducción por espesor de capa

Niveles de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de cumplimiento (cm)
Nivel 1	-1.4 cm a +1.6 cm
Nivel 2	-1.5 cm a +1.9 cm
Nivel 3	-1.5 cm a +2.2 cm
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 1.8] * 20$
Nivel 3	$\% R_3 = [T_{90} - 1.9] * 30 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{30} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Nota: Para calcular el rango para el cual el nivel de cumplimiento es del 90% (T_{90}), se parte del valor medio correspondiente a cada nivel, y se abre el intervalo en igual magnitud en ambas direcciones, hasta lograr el 90% de cumplimiento, En el caso que no se logre ese 90% de cumplimiento se cae en el nivel 4 de incumplimiento.

6.6.3 Reducción de precio del ítem

Para obtener la reducción total del precio del ítem se suman los porcentajes de reducción correspondientes a cada parámetro de pago.

Luego se obtiene el factor de pago para la mezcla asfáltica de la siguiente forma:

$$\%FP = 100 - \sum \%R_i$$

Donde:

$\sum R_i$ = Porcentaje de reducción de pago calculado para cada parámetro de pago

FP = Factor de pago, en porcentaje

6.7 Número mínimo de ensayos a presentar por parte del contratista, para realizar el trámite de estimación de obra para el pago.

Los ensayos deben corresponder a la producción que el Contratista va a someter al trámite de cobro (periodo de estimación).

Las muestras para la realización de estos ensayos no se pueden acumular todas en un determinado momento, sino que deben ser uniformemente distanciadas, de conformidad con el avance de la producción.

Estos ensayos NO corresponden a un sistema de control de calidad, son requisito para el trámite de la estimación. El control de calidad es responsabilidad del Contratista, y corresponde a éste establecer el tipo y frecuencia de ensayo que requiere cada una de las etapas de su proceso de producción para asegurar la calidad y la uniformidad del producto final.

Las muestras que se tomen para realizar estos ensayos deben ser representativas, además el muestreo debe ser supervisado por la Ingeniería de Proyecto. Todas estas muestras se toman por triplicado y dos de ellas se envían a la Administración. En caso de determinaciones en sitio debe quedar indicado claramente el lugar donde se hizo la medición.

Tabla No. 6.2: Número mínimo de ensayos para trámite de estimación para pago de obra para sub-base granular

Ensayo	Frecuencia	Frecuencia mínima (1)
Durabilidad	1 @ 15000 m ³	1/mes
Resistencia a la acción de los sulfatos	1 @ 15000 m ³	1/mes
Partículas planas y elongadas	1 @ 2500 m ³	2/mes
Límites de Atterberg	1 @ 1500 m ³	1/semana
Caras fracturadas	1 @ 1500 m ³	1/semana
Gravedad específica y absorción	1 @ 5000 m ³	2/mes
Equivalente de arena	1 @ 5000 m ³	1/mes
Contenido de humedad	control permanente	
Índice de abrasión en máquina de Los Angeles	1 @ 10000 m ³	½ mes
Próctor modificado	1 @ 2000 m ³	½ meses
Capacidad de soporte de California (CBR)	1 @ 2000 m ³	2/mes
Regularidad geométrica del acabado superficial	control permanente	-
Espesor de capa	control permanente	-

(1) Esta cantidad mínima de ensayos aplica en aquellos casos donde el volumen de producción es pequeño, y al calcular el número de ensayos en función del régimen de producción, la frecuencia daría menor a lo que se indica en esta columna.

NOTA 1: Todos estos ensayos deben muestrearse por triplicado. Dos de las muestras pasarán a la Administración. Si se trata de determinaciones en sitio debe dejarse claramente indicado el lugar donde se tomaron.

Capítulo 7: Metodología para Control y Pago en Función de la Calidad de la Base Estabilizada con Cemento

7.1 Requerimientos previos

7.1.1 Aspectos básicos

- En el informe del Contratista de las pruebas de aceptación, el análisis de calidad que se presenta de los agregados, debe corresponder estrictamente a los materiales con que realmente se va a realizar la producción, y por lo tanto, corresponde a los materiales con que se va a construir la base estabilizada con cemento.
- Los parámetros de aceptación de los agregados deben ser estadísticamente representativos, desde el punto de vista de la materia prima con que se va a construir la base estabilizada.
- El documento de solicitud de aceptación del diseño de la base estabilizada es un informe profesional, debidamente editado y firmado por un profesional responsable.

7.2.1 Solicitud de aceptación del diseño de la base estabilizada

El Contratista, previo a iniciar la construcción de la base estabilizada, debe presentar una solicitud de aceptación del diseño de la estabilización para la construcción de la capa de base, que comprende los siguientes aspectos:

- Fuentes de donde se tomarán los materiales.
- Proceso de triturado y tipo de graduación que aportará cada fuente de agregados.
- Estudio de laboratorio que demuestre que los agregados combinados según el diseño propuesto, cumplen con todos los parámetros de aceptación que establece el cartel para la construcción de una base estabilizada.
- Curva granulométrica propuesta (la granulometría de la base estabilizada es un parámetro de aceptación y por lo tanto, debe cumplir siempre, durante todo el proceso constructivo, con esta especificación).
- Datos estadísticos de los apilamientos en que se soporta la curva granulométrica propuesta.
- Estudio de laboratorio completo del diseño de la estabilización. Debe aportarse la memoria de cálculo de laboratorio, incluidos los datos de resistencia obtenidos para cada espécimen a 7 días y a 28 días. Si se usa acelerante de fraguado, debe incluirse el dato de resistencia a 3 días. Los especímenes deben moldearse a la energía del Próctor Modificado. Caso de premura de tiempo, se puede aportar a posteriori la resistencia a 28 días, pero debe ser estrictamente la que corresponde a los especímenes moldeados en el diseño de la estabilización.
- Además, el porcentaje óptimo de humedad debe obtenerse de la curva Próctor Modificado, incluyendo el contenido de cemento en la estabilización.
- Debe presentarse la curva Próctor Modificado que corresponde al porcentaje de cemento que se utilizará en la construcción de la base estabilizada.
- El informe debe incluir además una descripción detallada del sistema de curado que aplicará durante el proceso constructivo, con indicación clara de:
 - Momento a partir del cual se aplicará el curado
 - Dosificación a utilizar
 - Equipo a utilizar y su rendimiento
 - Soporte técnico o certificación de calidad que garantice la idoneidad del curado.

- Ensayos de laboratorio que utilizará en el campo para demostrar la eficiencia del curado, determinando la resistencia de la capa construida, a los 28 días de edad.

7.2 Definición de los parámetros de aceptación

7.2.1 Parámetros de aceptación por fuente de agregado

- Coeficiente de desgaste de Los Angeles (si lo especifica el cartel) ASTM C 131, C 535
- Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)
- Límites de Atterberg ASTM D 43, AASHTO T 89
- Sanidad ASTM C 88, AASHTO T 104
- Equivalente de arena (si lo especifica el cartel) ASTM D 24194

7.2.2 Parámetros de aceptación para los agregados mezclados

- Granulometría ASTM C 126, C117; AASHTO T 27, T 11

7.2.3 Parámetros de aceptación para el agua

- Calidad del agua (el ensayo que indique el cartel)

7.2.4 Parámetros de aceptación para el cemento

El cemento que se va a utilizar debe cumplir con las especificaciones establecidas, de acuerdo con el tipo de cemento especificado en el cartel.

7.3 Parámetros de Control

Los ensayos de control deben cubrir desde la fase de producción de los agregados, hasta la compactación y el acabado final de la base estabilizada con cemento.

Adelante se detallan algunos de los parámetros de control, de los cuales el contratista seleccionará los que estime necesarios (frecuencia y tipo de ensayo) para garantizar uniformidad y calidad. Solamente en los casos en que así se indique debe realizar la frecuencia mínima de ensayos especificada. Al diseñar su sistema de control de calidad, el contratista debe garantizar uniformidad y calidad en sus procesos.

7.3.1 Listado de parámetros de control de calidad

Granulometría	ASTM C 126; AASHTO T27, T11 ASTM D 2216, AASHTO T 265
Equivalente de arena	ASTM D 2419
Límites de Atterberg	ASTM D 43, AASHTO T 89
Caras fracturadas	MOP E 109
Gravedad específica y absorción	ASTM D854, AASHTO T 100; ASTM C 127; AASHTO T 85
Índice de abrasión en máquina de Los Angeles	ASTM C 131, C 3535, AASHTO T 96
Densidad de Próctor modificado	ASTM D 1557; AASHTO T 180
Contenido de humedad	ASTM D 2216; AASHTO T 285

Porcentaje de compactación

ASTM D 2726, AASHTO T 166

Dosificación del cemento

Dosificación del producto para curado

Espesor de capa

Resistencia en sitio de la base estabilizada a 7
y 28 días

Regularidad geométrica del acabado
superficial

Evaluación visual del producto para curado

7.4 Metodología para el pago en función de la calidad

Adelante se indican los parámetros tales que, en un proceso de producción controlado, permiten determinar el nivel de calidad de la producción por lote y por lo tanto, son indicadores objetivos para determinar el monto a pagar en función de la calidad. Como el contratista garantiza en la oferta la uniformidad del proceso de producción, para determinar el nivel de calidad de la producción de un período (estimación de obra para el pago), la Administración tomará muestras en cualquier momento durante el período, con lo cual determinará el nivel de calidad para dicho período, con base en los parámetros de pago establecidos en el cartel.

7.4.1 Parámetros de calidad para el pago de la obra

iii. Los siguientes son los parámetros para determinar la calidad de la base estabilizada con cemento:

- Densidad de compactación
- Resistencia a la compresión a los 7 días
- Espesor de capa
- Regularidad superficial

Los parámetros de acabado superficial se incorporarán posteriormente cuando la Administración defina las especificaciones para aceptación de la condición superficial.

Previo a evaluar estos parámetros para pago de obra, en cada estimación el Contratista debe presentar el informe de laboratorio que demuestre el cumplimiento de todos los parámetros de aceptación y control que defina el cartel, cumpliendo además con la frecuencia mínima de ensayos que se especifique.

Tabla No. 7.1: Resumen de parámetros de calidad

Parámetros de Aceptación	Parámetros de Control	Parámetros de Pago
Por cada fuente de agregado		
Coefficiente de desgaste de Los Angeles	Granulometría	Densidad de compactación
Durabilidad (el ensayo que indique el cartel)	Equivalente de arena	Resistencia a la compresión a los 7 días
Límites de Atterberg	Límites de Atterberg	Espesor de capa
Sanidad	Caras fracturadas	
Equivalente de arena	Gravedad específica y absorción	
	Índice de abrasión en máquina de Los Angeles	
Para los agregados mezclados	Densidad de Práctor modificado	
Granulometría	Contenido de humedad	
	Porcentaje de compactación	
Para el agua	Dosificación del cemento	
Calidad del agua	Dosificación del producto para curado	
	Espesor de capa	
	Resistencia en sitio de la base estabilizada a 7 y 28 días	
	Regularidad geométrica del acabado superficial	
	Evaluación visual del producto para curado	

7.5 Lineamientos para muestreo y reducción de pago de obra

Para cada proyecto, según sus volúmenes de producción, la Administración definirá la forma de pago del trabajo ejecutado en este ítem de base estabilizada, conforme a los siguientes lineamientos:

- iv. La cantidad a pagar de cada ítem de obra ejecutada será la correspondiente a cada período de estimación de obra para el pago.
- v. De cualquier segmento de la producción del período de estimación de obra para el pago, la Administración tomará muestras o realizará mediciones (caso de la compactación o el espesor) para determinar, por medio de los parámetros de pago, el nivel de cumplimiento de la producción, mismo que contrastará con las respectivas especificaciones y tolerancias, y de esta forma aplicará el correspondiente porcentaje de reducción de pago correspondiente a cada periodo de estimación.
- vi. El número de muestras a tomar, lo definirá la Administración en función de la cantidad de producción. En general debe tomarse del orden de 10 muestras o mediciones para medir el nivel de cumplimiento para una estimación para pago de obra.

7.6 Cálculo del monto a pagar en función de la calidad

7.6.1 Aspectos generales

Definidos los parámetros de pago y sus tolerancias, se establecen cuatro rangos o niveles de calidad, para pago o rechazo de la obra ejecutada en un período de estimación de obra para el pago.

La reducción de pago en cada nivel de calidad, se aplica al precio total del ítem de la base estabilizada colocada.

Los niveles de calidad son los siguientes:

Nivel 1: Lo pactado en el contrato.

Nivel 2: Segundo nivel de cumplimiento aceptable.

Nivel 3: Tercer nivel de cumplimiento aceptable.

Nivel 4: Nivel de rechazo.

El nivel de rechazo se alcanza cuando:

- a. Un parámetro individualmente alcanza dicho nivel de cumplimiento
- b. Cuando la sumatoria de deducciones de los parámetros por cumplimiento de la base estabilizada son mayores al 50% del precio del ítem.

En el nivel de rechazo, el contratista debe levantar toda la base estabilizada colocada y volver a construir conforme a los compromisos contractuales, todo por su propia cuenta y sin que medie ampliación de plazo por este concepto.

A cualquier nivel de deducción de precio, el contratista tiene la potestad de rehacer completamente el trabajo ejecutado y optar así por construir un lote de producción en un nivel de cumplimiento superior.

7.6.1 Cálculo del nivel de calidad y del monto a pagar

Para determinar el nivel de cumplimiento se consideran los siguientes parámetros:

- Densidad de compactación
- Resistencia a la compresión a los 7 días

- Espesor de la capa
- Deformaciones superficiales

7.6.2 Cálculo del nivel de cumplimiento y del factor de reducción del precio por calidad de la base estabilizada

El nivel de cumplimiento se calcula por inferencia estadística para un nivel de confianza del 90%.

i. Factor de reducción por la densidad de compactación

Niveles de cumplimiento y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (% compactación)
Nivel 1	> 96.0
Nivel 2	> 95.0
Nivel 3	> 94.0
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [96 - T_{90}] * 6$
Nivel 3	$\% R_3 = [95 - T_{90}] * 12 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la T_{90} sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

NOTA: T_{90} es la tolerancia para la cual se alcanza el nivel de confianza del 90%, en el nivel de calidad correspondiente.

vii. Factor de reducción por resistencia a la compresión a los 7 días

La resistencia se mide a los 7 días, a la energía del Próctor Modificado.

a. Base tipo BE-25

Nivel de cumplimiento	Rango de cumplimiento (kg/cm ²)
Nivel 1	20 – 40
Nivel 2	19 – 42
Nivel 3	19 – 44
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	% $R_1 = 0$
Nivel 2	% $R_2 = [T_{90} - 40] * 3$
Nivel 3	% $R_3 = [T_{90} - 42] * 5 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Nota: Para calcular el rango para el cual el nivel de cumplimiento es del 90% (T_{90}), se parte del valor de medio correspondiente a cada nivel, y se abre el intervalo en igual magnitud en ambas direcciones, hasta lograr el 90% de cumplimiento. En el caso que no se logre ese 90% de cumplimiento se cae en el nivel 4 de incumplimiento.

b. Base tipo BE-35

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (kg/cm ²)
Nivel 1	28-50
Nivel 2	26-51
Nivel 3	26-53
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	% R ₁ = 0
Nivel 2	% R ₂ = [T ₉₀ - 48] * 6
Nivel 3	% R ₃ = [T ₉₀ - 50] * 10 + 6
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Nota: Para calcular el rango para el cual el nivel de cumplimiento es del 90% (T₉₀), se parte del valor de medio correspondiente a cada nivel, y se abre el intervalo en igual magnitud en ambas direcciones, hasta lograr el 90% de cumplimiento. En el caso que no se logre ese 90% de cumplimiento se cae en el nivel 4 de cumplimiento.

viii. Factor de reducción por el espesor

Nivel de cumplimiento	Rango de aceptación (cm)
Nivel 1	-1.2 a +1.5
Nivel 2	-1.3 a +1.7
Nivel 3	-1.4 a +1.8
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [T_{90} - 1.5] * 30$
Nivel 3	$\% R_3 = [T_{90} - 1.7] * 100 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Nota: Para calcular el rango para el cual el nivel de cumplimiento es del 90% (T_{90}), se parte del valor de medio correspondiente a cada nivel, y se abre el intervalo en igual magnitud en ambas direcciones, hasta lograr el 90% de cumplimiento. En el caso que no se logre ese 90% de cumplimiento se cae en el nivel 4 de incumplimiento.

7.6.3 Reducción de precio del ítem

Para obtener la reducción total del precio del ítem se suman los porcentajes de reducción correspondientes a cada parámetro de pago.

Luego se obtiene el factor de pago para la mezcla asfáltica de la siguiente forma:

$$\%FP = 100 - \sum \%R_i$$

Donde:

$\sum R_i$ = Porcentaje de reducción de pago calculado para cada parámetro de pago

FP = Factor de pago, en porcentaje

7.7 Número mínimo de ensayos a presentar por parte del contratista, para realizar el trámite de estimación de obra para el pago.

Los ensayos deben corresponder a la producción que el Contratista va a someter al trámite de cobro (periodo de estimación).

Las muestras para la realización de estos ensayos no se pueden acumular todas en un determinado momento, sino que deben ser uniformemente distanciados, de conformidad con el avance de la producción.

Estos ensayos NO corresponden a un sistema de control de calidad, son requisito para el trámite de la estimación. El control de calidad es responsabilidad del Contratista, y corresponde a éste establecer el tipo y frecuencia de ensayo que requiere cada una de las etapas de su proceso de producción para asegurar la calidad y la uniformidad del producto final.

Las muestras que se tomen para realizar estos ensayos deben ser representativas, además el muestreo debe ser supervisado por la Ingeniería de Proyecto. Todas estas muestras se toman por triplicado y dos de ellas se envían a la Administración. En caso de determinaciones en sitio debe quedar indicado claramente el lugar donde se hizo la medición.

Tabla No. 7.2: Número mínimo de ensayos para trámite de estimación para pago de obra para base estabilizada con cemento

Ensayo	Por cada 1000 m ³	Mínimo
Granulometría	2 @ 1000 m ³	1/semana
Contenido de humedad (control permanente) (1)	Control permanente	Control permanente
Regularidad geométrica del acabado superficial (regla de 3 m) (control permanente) (1)	Control permanente	Control permanente
Límites de Atterberg	1 @ 2000 m ³	1/mes
Resistencia en sitio de la base estabilizada a 28 días	2 @ 2000 m ³	1/semana
Dosificación del cemento. (control permanente) (1)	Control permanente	Control permanente
Dosificación del producto para curado (control permanente) (1)	Control permanente	Control permanente
Evaluación visual del producto para curado. Control permanente (1)	Control permanente	Control permanente

(1) El Contratista debe mantener una supervisión permanente de la obra para garantizar el cumplimiento estricto de estos controles permanentes.

NOTA 1: Todos estos ensayos deben muestrearse por triplicado. Dos de las muestras pasarán a la Administración. Si se trata de determinaciones en sitio debe dejarse claramente indicado el sitio donde se hizo la determinación.

El cumplimiento con estos requerimientos de frecuencia y tipo de ensayo para el trámite de la estimación de obra para el pago, NO exime al Contratista de su responsabilidad de cumplir en todo momento con todos los parámetros de aceptación. Para cumplir con esta exigencia, el Contratista debe poner en ejecución el plan de calidad que requiera su proceso constructivo.

Capítulo 8: Metodología para Control y Pago en Función de la Calidad de las Losas de Hormigón

8.1 Requerimientos previos

8.1.1 El diseño de la mezcla de concreto

- I. El informe de diseño de mezcla es un informe profesional que debe tener el formato de un reporte de esta naturaleza (índice, empastado, páginas numeradas, etc) y debe presentarse suscrito por un profesional responsable del informe.
- II. Definición de diseño de mezcla. El diseño de mezcla consiste en la fórmula de proporcionamiento de los diferentes componentes de la materia prima con que se va a producir la mezcla del proyecto.
- III. El Contratista debe presentar en el diseño de mezcla, como mínimo la siguiente información:
 - a. Resultados de todas las pruebas de aceptación realizadas a la materia prima. En el anexo del informe debe adjuntar las memorias de cálculo de los ensayos realizados.
 - b. Los certificados de calidad de los aditivos que se incorporarán a la mezcla durante el proceso constructivo.
 - c. Certificado de calidad del producto que utilizará para el curado del hormigón, dosificación a utilizar y el fundamento técnico, en que se basa esta propuesta de curado, incluido la dosificación.
 - d. Certificado de calidad del agua que utilizará en la producción del concreto.
 - e. Memoria de cálculo del diseño de mezcla.

- f. Resultados individuales de los ensayos realizados a cada espécimen, donde se demuestra que con el diseño propuesto se alcanza la resistencia especificada para el hormigón.
 - g. Datos preliminares que muestren que está en proceso la prueba para determinar la reactividad álcali-agregado.
 - h. El método de laboratorio que utilizará para demostrar que la resistencia de diseño a los 28 días, efectivamente se está logrando en obra, como comprobación de la idoneidad del sistema constructivo y del proceso de curado.
- IV. Definición de fórmula de trabajo. Una vez que el diseño de mezcla está debidamente aceptado por parte de la administración, el Contratista debe reproducir esa fórmula en su planta de producción de mezcla.
- V. El Contratista tiene la potestad de cambiar su diseño de mezcla, en cuyo caso, debe hacer el trámite completo ante la Administración, para someter a consideración un nuevo diseño de mezcla.
- VI. El Contratista debe tener debidamente aceptado su diseño de mezcla, previo a iniciar la producción. Aunque la Administración emita la aceptación del diseño presentado por el contratista, éste seguirá siendo el único responsable por la calidad de la producción y del propio diseño de mezcla.
- VII. El diseño de mezcla debe incluir todos los ensayos de laboratorio realizados en los quebradores, así como en los apilamientos de agregados, debidamente analizados estadísticamente, como fundamento de soporte de la granulometría que propone en el diseño de mezcla.
- VIII. Certificación de la planta. La Administración definirá las exigencias de certificación permanente que debe cumplir una planta de producción de hormigón, y que debe mantener vigentes durante todo el proceso de producción.
- IX. El diseño de mezcla queda aceptado para las fuentes de agregados que específicamente estaban indicadas en la solicitud, por tanto, éste no aplica si se cambia una o más fuentes de agregados.

8.2 Definición de los parámetros de aceptación

Los siguientes parámetros de aceptación se deben cumplir durante el proceso de producción del hormigón:

8.2.1 Parámetros de aceptación para agregados

Granulometría	ASTM C 126, C117; AASHTO T27, T11
Terrones de arcillas	AASHTO T 112
Resistencia a la acción de los sulfatos (sanidad)	ASTM C88, AASHTO T 104
Índice de caras fracturadas	MOP E 109
Partículas planas y elongadas	ASTM D 4791
Módulo de finura de la arena	
Gravedad específica y absorción (del agregado grueso y fino)	ASTM D854, AASHTO T 100
Índice de abrasión en máquina de los Angeles	ASTM C 131, C535
Contenido de materia orgánica	ASTM C40; AASHTO T21
Equivalente de arena	ASTM C 2419
Reactividad álcali-agregado	
Partículas blandas o deletéreas	ASTM c 142; AASHTO T 112
Pesos unitarios sueltos y envarillados	ASTM C 29, AASHTO T 19
Durabilidad (del agregado grueso y fino)	AASHTO T - 210
Angularidad del agregado fino	

De la fuente de donde se toma el agregado fino, se deben tomar muestras de agregado grueso, para determinar si el tipo de roca utilizada, cumple con los parámetros de dureza y sanidad que se exigen para el agregado grueso que se incorporará en la mezcla.

8.2.2 Parámetros de aceptación para el cemento

Consistencia	ASTM C 186, AASHTO T 129
Tiempo de fragua sin aditivo	ASTM C 191, AASHTO T 131
Contenido de cenizas	
Tipo de cemento (según especificaciones)	
Tiempo de fragua con el acelerante y/o plastificante.	ASTM C 191, AASHTO T 131
Resistencia a compresión en cubos de 2" cm x 2" con arena sílica	AASHTO C 109, AASHTO T 106

Certificado de calidad del cemento que demuestre que cumple con la especificación AASHTO M-85 98, o cualquier otra que indique el cartel para el tipo de cemento especificado.

8.2.3 Parámetros de aceptación para el agua

Acidez (pH)	AASHTO 210
Contenido de cloruros	ASTM D 512
Contenido de residuos solubles	AASHTO T 26
Contenido de sulfatos	ASTM D 516
Contenido de materia orgánica	AASHTO T 26

8.2.4 Parámetros de aceptación para el hormigón

Resistencia a compresión de cilindros de 15cm X 30 cm de mezcla de prueba	ASTM C 109, AASHTOT 106
Revenimiento	ASTM C 995
Módulo de rotura en vigas	ASTM C 39, AASHTO T 22
Prueba de curado	ASTM C 171
Certificado de calidad para los aditivos	

Durante el proceso de producción, el contratista está obligado a mantener un archivo actualizado de todos los parámetros de aceptación, en donde demuestre que su proceso de producción en todo momento cumple con las exigencias contractuales, en todo lo concerniente a estos parámetros.

8.2.5 Parámetros de aceptación para el material de curado

El Contratista debe presentar un certificado de que el material de curado cumple con la especificación AASHTO M 148-97, o cualquier otra especificación que indique el cartel.

8.2.6 Parámetros de aceptación para el material de sellado de juntas

El Contratista debe presentar un certificado de que el material para sellado de juntas cumple con la especificación AASHTO M 173, M 301, o cualquier otra que indique el cartel.

8.2.7 Parámetros de aceptación y requerimientos específicos para el pavimento durante el proceso constructivo

Como criterio de aceptación, el proceso constructivo que ejecuta el Contratista debe garantizar la correcta ejecución de la obra en los siguientes aspectos:

- Revenimiento y contenido de vacíos, previo al extendido de la mezcla.
- Tiempo transcurrido entre la producción y el extendido de la mezcla.
- Correcta colocación y ubicación de las dovelas (pasajuntas) y de las barras de sujeción de las juntas longitudinales (tie bars)
- Control de avance y de suministro de hormigón (proceso continuo de pavimentación)

- Procedimiento de vibrado del hormigón.
- Procedimiento para control del espesor de capa.
- El procedimiento de acabado superficial y pre-texturizado.
- El tiempo para ranurado.
- La geometría de la ranura de las juntas longitudinales y transversales.
- Correcta aplicación del material de curado (para la superficie y los bordes)
- El tipo y geometría del material sellante.
- La condición de los bordes de las ranuras.
- La geometría de las ranuras de texturizado.
- El coeficiente de rozamiento.
- La geometría de los bordes de las losas.
- El índice de rugosidad internacional (IRI) especificado.
- Además, el Contratista debe demostrar de forma fehaciente, que efectivamente el pavimento está alcanzando la resistencia especificada a 28 días, de conformidad con lo indicado en el punto 8.1.1.h. Este es un requisito a cumplir para el trámite de las estimaciones.

8.3 Parámetros de Control

Los ensayos de control deben cubrir desde la fase de producción de los agregados en el quebrador, hasta la compactación y el acabado final del proceso constructivo.

Adelante se detallan algunos de los parámetros de control, de los cuales el Contratista seleccionará los que estime necesarios para garantizar uniformidad y calidad del proceso constructivo. Solamente en los casos en que así se indique debe realizar la frecuencia mínima de ensayos especificada. Al diseñar su sistema de control de calidad, el Contratista debe garantizar uniformidad y calidad en sus procesos.

8.3.1 Parámetros de control para agregados

Granulometría	ASTM C 126, C117; AASHTO T27, T11
Terrones de arcillas (el ensayo que indique el cartel)	AASHTO T 112
Resistencia a la acción de los sulfatos (sanidad)	ASTM C88, AASHTO T 104
Índice de caras fracturadas	MOP E 109
Partículas planas y elongadas	ASTM D 4791
Módulo de finura de la arena	NLT -176 (Norma española)
Gravedad específica y absorción (del agregado grueso y del agregado fino)	ASTM D854, AASHTO T 100
Índice de abrasión en máquina de los Angeles	ASTM C 131, C535
Contenido de materia orgánica	AASHTO T21
Equivalente de arena	ASTM C 2419
Reactividad álcali-agregado	CSA-A 23, 2-25A

Partículas blandas o deletéreas	ASTM c142; AASHTO T 112
Pesos unitarios sueltos y envarillados	ASTM C 29, AASHTO T 19
Porcentaje pasando la malla 200	ASTM C 126,C117; AASHTO T27, T11
Angularidad del agregado fino (si lo especifica el cartel)	
Durabilidad	AASHTO T 210

8.3.2 Parámetros de control del agua

Acidez (pH)	AASHTO 210
Contenido de cloruros	ASTM D 512
Contenido de residuos solubles	AASHTO T 26
Contenido de sulfatos	ASTM D 516
Contenido de materia orgánica	AASHTO T 26
Contenido de grasas	
Certificado de calidad	

8.3.3 Parámetros de control para el cemento

Consistencia	ASTM C 186, AASHTO T 129
Tiempo de fragua sin aditivo	ASTM C 191, AASHTO T 131
Contenido de cenizas	
Tipo de cemento (según especificaciones)	
Tiempo de fragua con el acelerante y/o plastificante.	ASTM C 191, AASHTO T 131
Resistencia a compresión en cubos de 2" cm x 2" con arena sílica	AASHTO T 106, ASTM C 109

8.3.4 Parámetros de control para el hormigón

Resistencia a compresión a los 7 días	ASTM C 39, AASHTO T 22
Resistencia a la compresión a los 28 días	ASTM C 39, AASHTO T 22
Resistencia a la flexotracción a los 7 días	ASTM C 293, AASHTO T 197-198
Resistencia a la flexotracción a los 28 días	ASTM C 293, AASHTO T 197-198
Revenimiento en la planta	
Revenimiento en el momento de extendido	ASTM C 995
Contenido de aire	ASTM C 131, C 173; AASHTO T 152, 196
Módulo de rotura	ASTM C 39, AASHTO T 22
Temperatura de colocación del hormigón	
Certificados de calidad de los aditivos	
Permeabilidad del hormigón	
Verificación de la resistencia a compresión de las losas de hormigón	

8.3.5 Curado

Certificado de calidad del producto de curado
Dosificación o número de pasadas
Efectividad del sistema de curado (resistencia a 28 días)

8.3.6 Otros controles constructivos

- Control de construcción de las "canastillas" de las dobelas.
- Control de colocación de dobelas y barras de sujeción de las juntas longitudinales.
- Control de la humedad de la superficie de la base.

- Control del revenimiento del concreto que se deposita delante de la pavimentadora.
- Control total del tiempo de fraguado:
 - Hora de despacho de la vagoneta
 - Hora de colocación
 - Tiempo de ranurado
 - Tiempo de curado
- Control de las condiciones ambientales: temperatura, viento, humedad del aire, lluvia, etc.
- Control de fisuración superficial
- Control del proceso de terminación:
 - Afinado de la superficie y los bordes
 - Pre-texturizado
 - Texturizado (ranurado)
 - Curado superficial y de los bordes
 - Ranurado de las juntas longitudinales y transversales (geometría y condición de los bordes)
 - Sellado de las juntas
- Control de espesores
- Control de la regularidad superficial (IRI)
- Control de la limpieza de las ranuras previo a la colocación del sellado de las juntas.

Tabla No. 8.1: Resumen de parámetros de calidad

Parámetros de Aceptación	Parámetros de Control	Parámetros de Pago
1. Agregados	1. Agregados	
Granulometría Terrones de arcillas Sanidad Índice de caras fracturadas Partículas planas y elongadas Módulo de finura de la arena Gravedad específica y absorción Índice de abrasión en máquina de los Angeles Contenido de materia orgánica Equivalente de arena Reactividad álcali-agregado Partículas blandas o deletéreas Pesos unitarios sueltos y envarillados Porcentaje pasando la malla 200	Granulometría Terrones de arcillas Sanidad Índice de caras fracturadas Partículas planas y elongadas Módulo de finura de la arena Gravedad específica y absorción Índice de abrasión en máquina de los Angeles Contenido de materia orgánica Equivalente de arena Reactividad álcali-agregado Partículas blandas o deletéreas Pesos unitarios sueltos y envarillados Porcentaje pasando la malla 200	Espesor de losa Resistencia a flexotracción a los 28 días Índice de rugosidad internacional (IRI) Coeficiente de rozamiento
2. Cemento	2. Cemento	
Consistencia Tiempo de fragua sin aditivo Contenido de cenizas Tipo Tiempo de fragua con el acelerante y/o plastificante. Resistencia a compresión en cubos de 2" cm x 2" con arena sílica	Consistencia Tiempo de fragua sin aditivo Contenido de cenizas Tipo Tiempo de fragua con el acelerante y/o plastificante. Resistencia a compresión en cubos de 2" cm x 2" con arena sílica	
3. Agua	3. Agua	
Acidez (pH) Contenido de cloruros Contenido de residuos solubles Contenido de sulfatos Contenido de materia orgánica Contenido de grasas	Acidez (pH) Contenido de cloruros Contenido de residuos solubles Contenido de sulfatos Contenido de materia orgánica Contenido de grasas	
3. Hormigón	3. Hormigón	
Resistencia a compresión de cilindros de 15cm X 30 cm Revenimiento Módulo de rotura Prueba de curado Certificado de calidad para los aditivos	Resistencia a compresión a los 7 días Resistencia a la compresión a los 28 días Resistencia a la flexotracción a los 7 días Resistencia a la flexotracción a los 28 días Contenido de aire Revenimiento Módulo de Rotura Temperatura de colocación del hormigón Espesor de losa Regularidad superficial Certificados de calidad de los aditivos	
	4. Curado	
	Certificado de calidad del producto de curado Dosificación o número de pasadas Efectividad del sistema de curado	

8.4 Metodología para el pago en función de la calidad

Adelante se indican los parámetros tales que, en un proceso de producción controlado, permiten determinar el nivel de cumplimiento de la producción por lote y por lo tanto, son indicadores objetivos para determinar el monto a pagar en función de la calidad. Como el Contratista garantiza en la oferta la uniformidad del proceso de producción, para determinar el nivel de cumplimiento de la producción de un período (estimación de obra para el pago), la Administración tomará muestras en cualquier momento durante dicho período, con lo cual determinará el nivel de cumplimiento, con base en los parámetros de pago establecidos en el cartel.

8.4.1 Parámetros de calidad para el pago de la obra

Los siguientes son los parámetros de pago de la mezcla de concreto:

- Espesor de losa
- Resistencia a flexotracción a los 28 días
- Índice de rugosidad internacional
- Coeficiente de rozamiento

Los parámetros de acabado superficial se incorporarán posteriormente cuando la administración defina las especificaciones para aceptación de la condición superficial.

8.5 Lineamientos para muestreo y reducción de pago de obra

Para cada proyecto, según sus volúmenes de producción, la Administración definirá la forma de pago del trabajo ejecutado en este ítem de losas de hormigón, conforme a los siguientes lineamientos:

Para cada proyecto, según sus volúmenes de producción, tipo de planta y espesor de capa, la Administración establece la forma de pago del trabajo ejecutado en este ítem de mezcla asfáltica, conforme a los siguientes lineamientos:

- i. La cantidad a pagar de este ítem de obra será la correspondiente a cada período de estimación de obra para el pago.
- ii. En cualquier momento de la producción durante el período de estimación de obra para el pago, la Administración tomará muestras o realizará mediciones (caso de la compactación o del espesor) para determinar, por medio de los parámetros de pago, el nivel de cumplimiento de la producción, mismo que contrastará con las respectivas especificaciones y tolerancias, y de esta forma se calculará el porcentaje de pago que corresponde para el ítem producido durante ese período.
- iii. Si el pago del ítem del hormigón se sub-divide por ejemplo en: agregados, cemento, o algún otro componente, el porcentaje de reducción de pago se aplicará por igual a cada uno de los componentes en que se sub-divide este ítem.

8.6 Cálculo del Monto a Pagar en Función de la Calidad

8.6.1 Aspectos generales

Definidos los parámetros de pago y sus tolerancias, se establecen cuatro rangos o niveles de calidad, para pago o rechazo de la obra ejecutada en un período de estimación para pago de obra.

La reducción de pago en cada nivel de calidad, se aplica al precio total del ítem de losas de hormigón.

Los niveles de cumplimiento son los siguientes:

Nivel 1: Lo pactado en el contrato.

Nivel 2: Segundo nivel de cumplimiento aceptable.

Nivel 3: Tercer nivel de cumplimiento aceptable.

Nivel 4: Nivel de rechazo.

El nivel de rechazo se alcanza cuando:

- a) Un parámetro individualmente alcanza dicho nivel de cumplimiento.
- b) Cuando la sumatoria de deducciones de los parámetros para pago de obra son mayores al 50% del precio del ítem.

En el nivel de rechazo, el Contratista debe levantar todo el pavimento de hormigón colocado y volver a construir conforme a los compromisos contractuales, todo por su propia cuenta y sin que medie ampliación de plazo por este concepto.

A cualquier nivel de deducción de precio, el contratista, por su propia cuenta, tiene la potestad de rehacer completamente el trabajo ejecutado y optar así por construir el lote de producción en un nivel de calidad superior.

El nivel de calidad se calcula por inferencia estadística para un nivel de confianza del 90%.

Para determinar el nivel de calidad se considerarán los siguientes parámetros:

- Resistencia a la flexotracción del hormigón a los 28 días
- Espesor de la capa

8.6.2 Cálculo del nivel de calidad y del factor de reducción del precio por calidad del pavimento de hormigón

En todos los casos se calcula el nivel de calidad con una confiabilidad del 90%:

i) Resistencia a la flexotracción del hormigón a los 28 días

Niveles de calidad y sus tolerancias

Nivel de cumplimiento	Rango de cumplimiento (%) (1)
Nivel 1	97%
Nivel 2	95%
Nivel 3	93%
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

(1) Se refiere al porcentaje de la resistencia especificada.

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción (%)
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [97 - T_{90}] * 3$
Nivel 3	$\% R_2 = [95\% - T_{90}] * 6 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

ii) Espesor de losa

Nivel de cumplimiento	Tolerancia (mm)
Nivel 1	-7.0 a +8.0
Nivel 2	-8.0 a +10.0
Nivel 3	-9.0 a +12.0
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Nota: Para calcular el rango para el cual el nivel de cumplimiento es del 90% (T_{90}), se parte del valor medio correspondiente a cada nivel, y se abre el intervalo en igual magnitud en ambas direcciones, hasta lograr el 90% de cumplimiento, En el caso que no se logre ese 90% de cumplimiento se cae en el nivel 4 de incumplimiento.

Factor de reducción de pago:

Nivel de calidad	Factor de reducción (%)
Nivel 1	% $R_1 = 0$
Nivel 2	% $R_2 = [T_{90} - 8.0] * 3$
Nivel 3	% $R_2 = [T_{90} - 10] * 6 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

8.6.3 Reducción de precio del ítem

Para obtener la reducción total del precio del ítem se suman los porcentajes de reducción correspondientes a cada parámetro de pago.

Luego se obtiene el factor de pago para la mezcla asfáltica de la siguiente forma:

$$\%FP = 100 - \sum \%R_i$$

Donde:

$\sum R_i$ = Porcentaje de reducción de pago calculado para cada parámetro de pago

FP = Factor de pago, en porcentaje

8.7 Número mínimo de ensayos a presentar por parte del contratista, para realizar el trámite de estimación de obra para el pago.

Los ensayos deben corresponder a la producción que el Contratista va a someter al trámite de cobro (periodo de estimación).

Las muestras para la realización de estos ensayos no se pueden acumular todas en un determinado momento, sino que estos ensayos deben ser uniformemente distanciados, de conformidad con el avance de la producción.

Estos ensayos NO corresponden a un sistema de control de calidad, solamente son un requisito para el trámite de la estimación. El control de calidad es responsabilidad del Contratista, y corresponde a éste establecer el tipo y frecuencia de ensayo que requiere cada una de las etapas de su proceso de producción de losas de hormigón para asegurar la calidad y la uniformidad del producto final.

Las muestras que se tomen para realizar estos ensayos deben ser representativas, además el muestreo debe ser supervisado por la Ingeniería de Proyecto. Todas estas muestras se toman por triplicado y dos de ellas se envían a la Administración. En caso de determinaciones en sitio debe quedar indicado claramente el lugar donde se hizo la medición.

Tabla No. 8.2: Número mínimo de ensayos para trámite de estimación de obras para base granular

Ensayo	Frecuencia	Frecuencia mínima
Granulometría	1 @ 200 m ³	2/semana
Terrones de arcillas (el ensayo que indique el cartel)	1 @ 300 m ³	2/mes
Resistencia a la acción de los sulfatos (sanidad)	1 @ 3000 m ³	1/mes
Índice de caras fracturadas	1 @ 1000 m ³	2/mes
Partículas planas y elongadas	1 @ 1000 m ³	2/mes
Módulo de finura de la arena	1 @ 300 m ³	2/semana
Gravedad específica y absorción	1 @ 500 m ³	1/mes
Índice de abrasión en máquina de Los Angeles	1 @ 4000 m ³	½ meses

Contenido de materia orgánica (el ensayo que indique el cartel)	1 @ 2000 m ³	-
Equivalente de arena	1 @ 300 m ³	-
Reactividad álcali-agregado (el ensayo que indique el cartel)	(*)	(*)
Partículas blandas o deletéreas	1 @ 2000 m ³	1/mes
Pesos unitarios sueltos y envarillados	Control permanente	-
Porcentaje pasando la malla 200	Control permanente	-

Parámetros de control para el agua

Ensayo	Frecuencia	Frecuencia Mínima
Acidez (pH)	1/5000 m ³	½ meses
Contenido de cloruros	1/5000 m ³	½ meses
Contenido de residuos solubles	1/5000 m ³	½ meses
Contenido de sulfatos	1/5000 m ³	½ meses
Contenido de materia orgánica	1/5000 m ³	½ meses
Contenido de grasas		

Parámetros de control para el cemento

Consistencia	Control permanente	
Tiempo de fragua sin aditivo	Control permanente	
Contenido de cenizas	Control permanente	
Tipo de cemento (según especificaciones)	Control permanente	
Tiempo de fragua con el acelerante y/o plastificante.	Control permanente	
Resistencia a compresión en cubos de 2" cm x 2" con arena sílica	Control permanente	

Resistencia a compresión a los 7 días	Control permanente	
Resistencia a la compresión a los 28 días	Control permanente	
Resistencia a la flexotracción a los 7 días	Control permanente	
Resistencia a la flexotracción a los 28 días	Control permanente	
Revenimiento	Control permanente	
Contenido de aire	Control permanente	
Temperatura de colocación del hormigón	Control permanente	
Certificados de calidad de los aditivos	Control permanente	
Permeabilidad	Control permanente	
Verificación de la resistencia a compresión de las losas de hormigón	Control permanente	
Rugosidad Superficial	Control permanente	

(*) Uno en el diseño de mezcla y durante el proceso constructivo según lo solicite la ingeniería de proyecto.

El cumplimiento con estos requerimientos de frecuencia y tipo de ensayo para el trámite de la estimación de obra para el pago, NO exime al Contratista de su responsabilidad de cumplir en todo momento con todos los parámetros de aceptación. Para cumplir con esta exigencia, el Contratista debe poner en ejecución el plan de calidad que requiera su proceso constructivo.

Capítulo 9: Metodología para Control y Pago en Función de la Calidad de las Excavaciones y Terraplenado

9.1 Requerimientos previos

- i. Para ejecutar un trabajo de movimiento de tierra o roca, el Contratista debe someter de previo a la aprobación del Ingeniero de Proyecto el equipo que utilizará, el lugar donde dispondrá los materiales que deban removerse así como el proceso constructivo que utilizará, para lo cual tomará en consideración: escorrentías superficiales, pasos existentes (de vehículos, peatones o animales), problemas de drenaje, aspectos de seguridad, etc.
- ii. Para la aprobación de una fuente de material de préstamo, el Contratista debe presentar a la Ingeniería de Proyecto los siguientes análisis, para cada uno de los tipos de suelos que se encuentren en la fuente:
 - Granulometría
 - Límites de Atterberg
 - Curva Próctor de compactación (la que especifique el cartel según el tipo de material).
 - Curva de capacidad de soporte CBR en función de la densidad de compactación.
 - Estos materiales deben cumplir las exigencias de las especificaciones contractuales.
- iii. Previo a iniciar los trabajos de compactación, el Contratista debe solicitar la aprobación del sistema constructivo que utilizará, incluido lo siguiente:
 - Descripción y cantidad de equipo que utilizará.
 - Procedimiento que utilizará para el control de la humedad de compactación.

- Espesor de capa a colocar y compactar.
- El procedimiento que utilizará para comprobar posibles variaciones en el tipo de material que está utilizando y su correspondiente curva Próctor para control de compactación
- El procedimiento que utilizará para el control geométrico y topográfico del trabajo a ejecutar.
- Los asuntos ambientales que debe cumplir para la ejecución de los trabajos (reposición de suelos, enzacatado, reposición de capa vegetal, etc)

9.2 Parámetros de aceptación

Los materiales a utilizar en los trabajos de terraplenado o rellenos deben cumplir con las siguientes condiciones de aceptación:

Límites de Atterberg	ASTM D 423, AASHTO T 89
Clasificación (según el método que especifique el cartel)	
Contenido de humedad de compactación	ASTM 2216; AASHTO T 96
Capacidad de soporte (CBR)	ASTM D 1883; AASHTO T 193
Granulometría (si son materiales granulares)	ASTM C 126; AASHTO T 27, T11
Curva Próctor del material (cada tipo de material debe tener asociado la curva Próctor que le corresponde)	

9.3 Parámetros de Control

Los ensayos de control deben cubrir todas las etapas del proceso constructivo.

Adelante se detallan algunos de los parámetros de control, de los cuales el Contratista seleccionará los que estime necesarios para garantizar uniformidad y calidad del proceso constructivo. Solamente en los casos en que así se indique debe realizar la frecuencia mínima de ensayos especificada. Al diseñar su sistema de control de calidad, el Contratista debe garantizar uniformidad y calidad en sus procesos.

Los parámetros son los siguientes:

Límites de Atterberg	ASTM D 423, AASHTO T 89
Clasificación (según lo especifique el cartel)	
Contenido de humedad natural	ASTM D 2216, AASHTO T 265
Contenido de humedad de compactación	ASTM 2216, AASHTO T 96
Capacidad de soporte (CBR)	ASTM D 1883, AASHTO T 193
Granulometría (en materiales granulares)	ASTM C 126, AASHTO T 27, T 11
Densidad de compactación	
Curva Próctor del material	
Geometría de cortes o taludes	
Alineamiento y trazado geométrico	
Regularidad de la superficie compactada	
Espesor de capa a compactar	



Tabla No. 9.1: Resumen de parámetros de calidad

Parámetros de Aceptación	Parámetros de Control	Parámetros de Pago
Límites de Atterberg Clasificación (según el método de clasificación de la AASHTO) Contenido de humedad de compactación Capacidad de soporte (CBR) Granulometría (si son materiales granulares) Curva Próctor del material	Límites de Atterberg Clasificación Contenido de humedad de compactación Capacidad de soporte (CBR) Granulometría (en materiales granulares) Densidad de compactación Curva Próctor del material Geometría de cortes o taludes Alineamiento y trazado geométrico Regularidad de la superficie compactada Espesor de capa a compactar	Densidad de compactación

9.4 Metodología para el pago en función de la calidad

Adelante se indican los parámetros tales que, en un proceso de producción controlado, permiten determinar el nivel de cumplimiento de la producción por lote y por lo tanto, son indicadores objetivos para determinar el monto a pagar en función de la calidad. Como el Contratista garantiza en la oferta la uniformidad del proceso de producción, para determinar el nivel de cumplimiento de la producción de un período (estimación de obra para el pago), la Administración tomará muestras en cualquier momento durante dicho período, con lo cual determinará el nivel de cumplimiento, con base en los parámetros de pago establecidos en el cartel.

9.4.1 Parámetros de calidad para el pago de la obra

Los siguientes son los parámetros a utilizar para determinar el nivel de cumplimiento de las excavaciones y terraplenado

- Densidad de compactación

Nivel de cumplimiento	Rango de cumplimiento (%)
Nivel 1	> 95%
Nivel 2	> 94%
Nivel 3	> 93%
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

Factor de reducción de pago:

Nivel de cumplimiento	Factor de reducción
Nivel 1	$\% R_1 = 0$
Nivel 2	$\% R_2 = [95 - T_{90}] * 6$
Nivel 3	$\% R_3 = [94 - T_{90}] * 10 + 6$
Nivel 4	Nivel de rechazo si la tolerancia sobrepasa el rango establecido en el nivel 3

9.7 Número mínimo de ensayos a presentar por parte del contratista, para realizar el trámite de estimación de obra para el pago.

Los ensayos deben corresponder a la producción que el Contratista va a someter al trámite de cobro (periodo de estimación).

Las muestras para la realización de estos ensayos no se pueden acumular todos en un determinado momento, sino que deben ser uniformemente distanciados, de conformidad con el avance de la producción.

Estos ensayos NO corresponden a un sistema de control de calidad, son requisito para el trámite de la estimación. El control de calidad es responsabilidad del Contratista, y corresponde a éste establecer el tipo y frecuencia de ensayo que requiere cada una de las etapas de su proceso de producción para asegurar la calidad y la uniformidad del producto final.

Las muestras que se hagan para realizar los ensayos deben ser representativas, además deben ser supervisados por la Ingeniería de proyecto.

Las muestras que se tomen para realizar estos ensayos deben ser representativas, además el muestreo debe ser supervisado por la Ingeniería de Proyecto. Todas estas muestras se toman por triplicado y dos de ellas se envían a la Administración. En caso de determinaciones en sitio debe quedar indicado claramente el lugar donde se hizo la medición.

Tabla No. 9.2: Número mínimo de ensayos para trámite de estimación de obras para base granular

Ensayo	Frecuencia	Frecuencia mínima (1)
Límites de Atterberg	1/10000 m ³	1/semana
Clasificación (según AASHTO)	1/15000 m ³	1/semana
Contenido de humedad de compactación	Control permanente	Control permanente
Capacidad de soporte (CBR)	1/15000 m ³	1/semana
Granulometría (en materiales granulares)	1/10000 m ³	1/semana
Curva Próctor del material	Control permanente	Cada vez que hay cambio de material
Geometría de cortes o taludes	-	Control permanente
Alineamiento y trazado geométrico	-	Control permanente
Regularidad de la superficie compactada	-	Control permanente
Espesor de capa a compactar	-	Control permanente

(1) El cumplimiento con estos requerimientos de frecuencia y tipo de ensayo para el trámite de la estimación de obra para el pago, NO exime al Contratista de su responsabilidad de cumplir en todo momento con todos los parámetros de aceptación. Para cumplir con esta exigencia, el Contratista debe poner en ejecución el plan de calidad que requiera su proceso constructivo.



ANEXOS

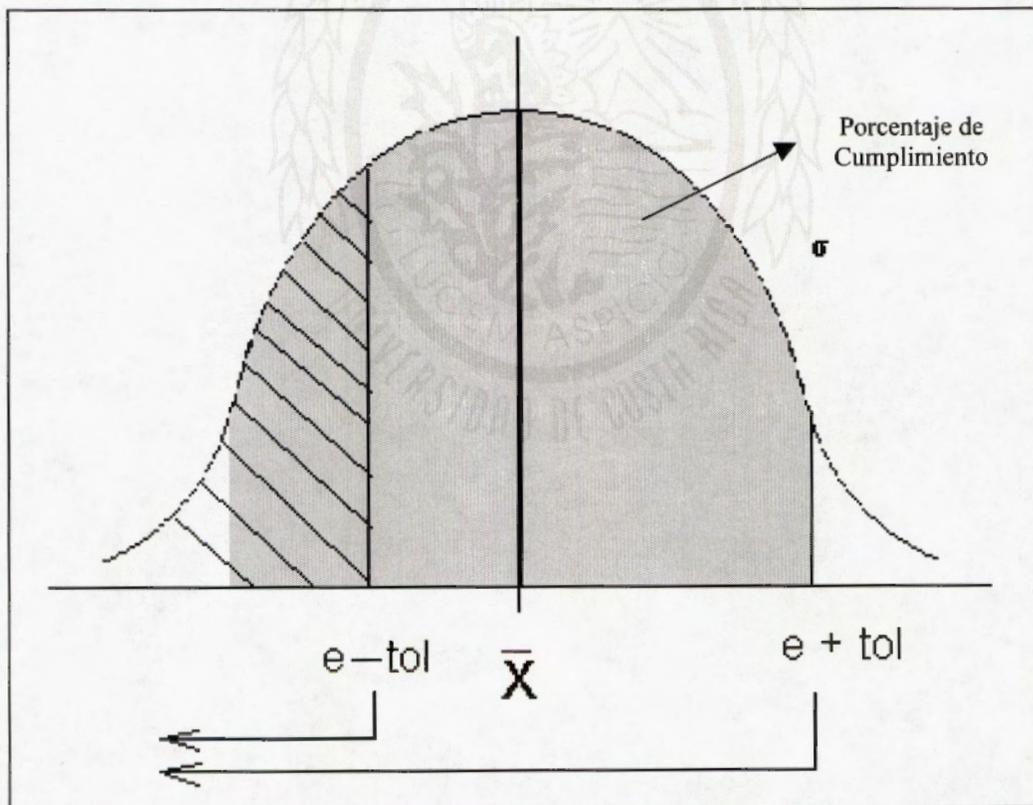


1. Ejemplo de cálculo del porcentaje de cumplimiento

1.1 Metodología para el Cálculo del Nivel de Cumplimiento

La metodología de cálculo del porcentaje de cumplimiento se basa en el análisis estadístico de los resultados, mediante la utilización, en primera instancia de la prueba de normalidad, para comprobar de esta manera, que el comportamiento de la muestra se acerca al de una distribución normal.

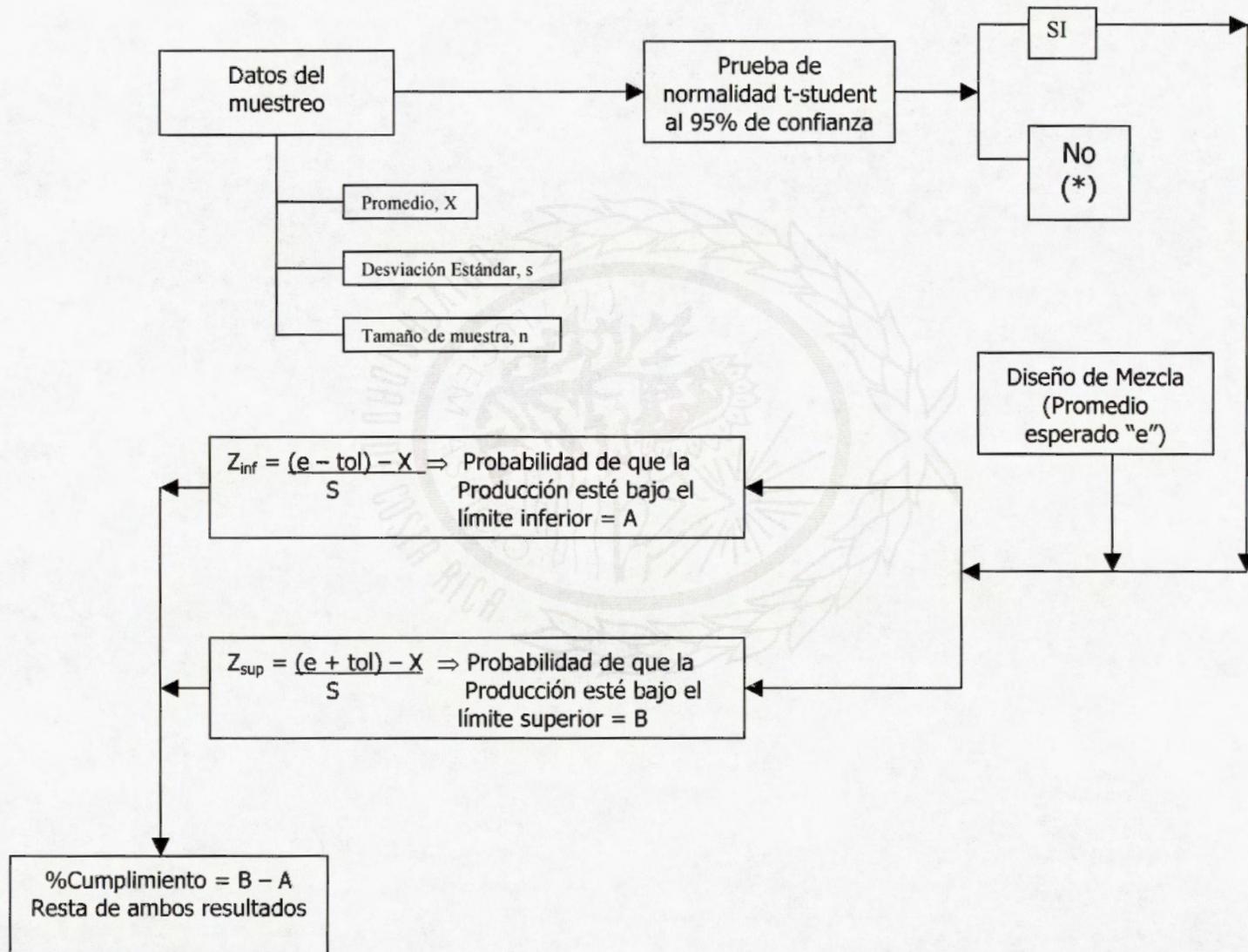
En la siguiente figura se indica gráficamente el concepto aplicado en el cálculo del porcentaje de cumplimiento:

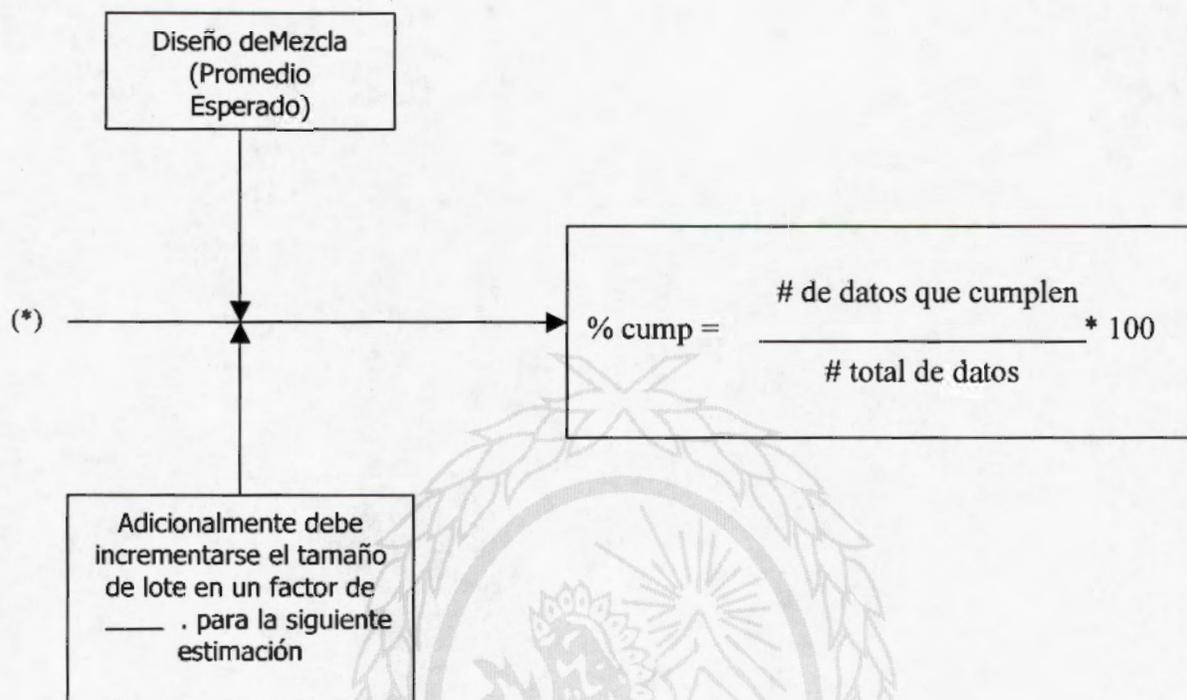


A continuación se presenta un esquema de la forma en que se calculará el porcentaje de cumplimiento de una muestra, a partir de los valores característicos de la misma: promedio esperado (o valor de diseño), promedio de lote y desviación estándar de lote.



Diagrama de Cálculo del Porcentaje de Cumplimiento





1.2 Ejemplo de cálculo

Para el contenido de asfalto, por ejemplo, se calcula el porcentaje de cumplimiento, tomando los siguientes datos:

Valor de diseño (e):	5.8
Promedio muestral (X):	5.74
Desviación estándar (s):	0.70
Número de datos (n):	10
Tolerancia:	0.6

a) Cálculo del límite inferior

$$Z_{\text{inf}} = \frac{(5.8 - 0.6) - 5.74}{0.70} = -0.77$$

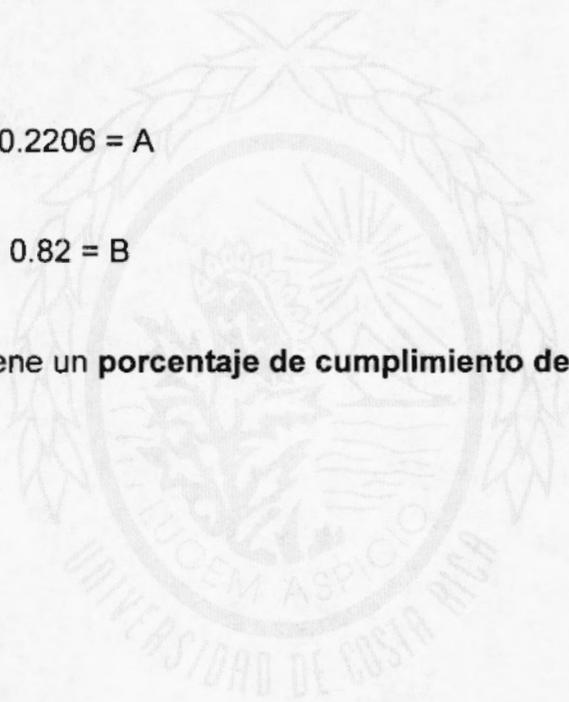
$$Z_{\text{sup}} = \frac{(5.8 + 0.60) - 5.74}{0.70} = 0.94$$

Las áreas en la curva normal asociadas para estos valores de Z, son las siguientes:

$$\text{Probabilidad de } Z_{\text{inf}} = 0.2206 = A$$

$$\text{Probabilidad de } Z_{\text{sup}} = 0.82 = B$$

Al restar B- A, se obtiene un **porcentaje de cumplimiento de 59%**.



2. Ejemplo de cálculo de la metodología de pago en función de la calidad

1. Mezcla asfáltica en caliente

Se analizará el siguiente conjunto de datos:

Parámetro	Diseño	Prom	Desv. Std.	Número de datos
Contenido de asfalto	5.8	5.74	0.30	10
% Pasando Malla 9.5 mm	76	77.48	3.0	10
% Pasando Malla No. 4	48	51.88	2.5	10
% Pasando Malla No. 8	34	36.07	1.5	10
% Pasando Malla No. 50	11	12.33	1.60	10
% Pasando Malla No. 200	5.2	6.0	0.4	10

Para la mezcla colocada en sitio, se tiene lo siguiente:

Parámetro	Diseño	Prom	Desv. Std.	Número de datos
Espesor	6 cm	6.1 cm	1.5	10
Contenido de vacíos	6.0	6.5	1.0	10

1.1 Cálculo del porcentaje de cumplimiento por caso:

El procedimiento a seguir para calcular el porcentaje de pago en función de la calidad, según lo indicado en la sección 3.6.2, en los incisos i y ii, consiste en calcular el porcentaje de cumplimiento para el nivel de calidad 1, primeramente. Si el 90% de los datos de la muestra están cumpliendo con la tolerancia asociada a este nivel, entonces el factor de reducción es igual a cero. Si no se cumple con lo anterior, se amplía la tolerancia, al valor que se corresponde al nivel de calidad 2. Si en este caso se cumple que el 90% de los datos queda dentro de las especificaciones, el porcentaje de reducción corresponde al indicado para el nivel 2. En caso de que no se cumpla con lo anterior, entonces se pasa a realizar lo mismo para el nivel de calidad 3, y si no se cumple para este nivel de tolerancia, se procede al rechazo de la mezcla.

a. Porcentaje de cumplimiento para la producción de mezcla asfáltica

Item	Nivel de calidad 1 (% de pago)		Nivel de calidad 2 (% de pago)		Nivel de calidad 3 (% de pago)		Rechazo	
	% Cump.	Factor de reducción	% Cump.	Factor de reducción	% Cump.	Factor de reducción	% Cump.	Factor de reducción
Contenido de asfalto	88.3	-	92	8.4	-	-	-	-
% Pasando Malla 9.5 mm	94.1	0		-			-	-
% Pasando Malla No. 4	87.7	-	93.3	8.0			-	-
% Pasando Malla No. 8	90.6	0					-	-
% Pasando Malla No. 50	99.7	0					-	-
% Pasando Malla No. 200	99.2	0		-			-	-

b. Porcentaje de cumplimiento para la mezcla asfáltica colocada

Para el caso de la mezcla asfáltica colocada, en cuanto al porcentaje de vacíos y el espesor de mezcla, el valor del rango de cumplimiento corresponde al tamaño total del intervalo necesario para cumplir 90% de los datos dentro de ese rango.

En este caso

Item	Nivel de calidad 1 (% de pago)		Nivel de calidad 2 (% de pago)		Nivel de calidad 3 (% de pago)		Rechazo	
	% Cump.	Factor de reducción	% Cump.	Factor de reducción	% Cump.	Factor de reducción	% Cump.	Factor de reducción
Espesor	92.3	0						
Contenido de vacíos	98.4	0						

c. Cálculo del factor de pago

Según el inciso 3.6.3, reducción de precio del ítem, el factor de pago para la producción de mezcla asfáltica analizada es el siguiente:

$$\sum R_t = \sum \%R_i$$

La ecuación anterior, se expresaría según los datos del ejemplo, así:

CASO A: Producción de mezcla asfáltica:

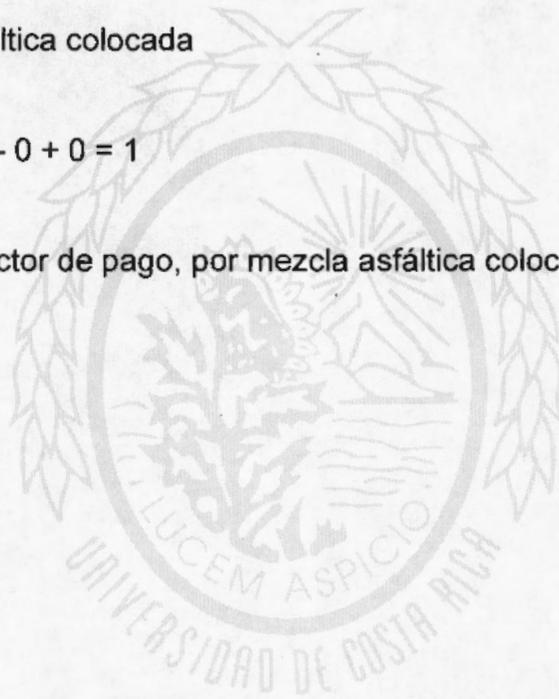
$$\text{Factor de pago} = 1 - 8.4 + 0 + 8.0 + 0 + 0 + 0 = 0.836$$

Por lo tanto, el factor a pagar es del 83.6%.

CASO B: Mezcla asfáltica colocada

$$\text{Factor de pago} = 1 - 0 + 0 = 1$$

Esto implica que el factor de pago, por mezcla asfáltica colocada es del 100%.



3. Formulación del análisis por tramos homogéneos

1. Introducción

Para determinar la variabilidad de los resultados de laboratorio, de una planta de producción de mezcla o de un proyecto específico, es necesario implementar una metodología de análisis estadístico que permita determinar si esa producción tiene características similares a lo largo del tiempo, o presenta variaciones significativas.

Estas variaciones pueden corresponder a dos aspectos: Cambio en el diseño de mezcla o un manejo irregular de la producción. Esto hace necesario la adquisición de los diseños, para ubicarlos en el tiempo y determinar si las variaciones tienen que ver con un cambio en éstos o el mal manejo de la mezcla indicado anteriormente.

2. Procedimiento de Análisis

2.1 Análisis de Resultados con el programa SPEC

Los resultados de laboratorio que han sido tabulados en la base de datos, se analizarán con el programa de análisis estadístico SPEC, con el objetivo de determinar en cuantos "*segmentos homogéneos*" se divide la muestra total. Estos intervalos deben anotarse para dar inicio al análisis estadístico.

Luego, se analizará la muestra mediante una de las dos metodologías siguientes, de acuerdo a lo que se indica a continuación:

Si la muestra tiene dos segmentos homogéneos se usa la **metodología A**. Si la muestra tiene más de dos segmentos homogéneos se emplea la **metodología B**.

En un gráfico de seguimiento histórico, también se pueden determinar segmentos de comportamiento homogéneo, empíricamente y luego se hace el análisis estadístico para determinar si los tramos determinados realmente corresponden a poblaciones homogéneas.

2.2 Metodología A: Comparación de Medias de Poblaciones

2.2.1 Supuestos:

- Muestras Tomadas Independientemente
- Diferentes Unidades de Observación
- Las muestras pertenecen a poblaciones normales
- Las desviaciones estándar de las poblaciones pueden diferir

Esta metodología se emplea en el caso de tener comparar **solamente dos segmentos homogéneos**.

2.2.2 Formulación de Hipótesis

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

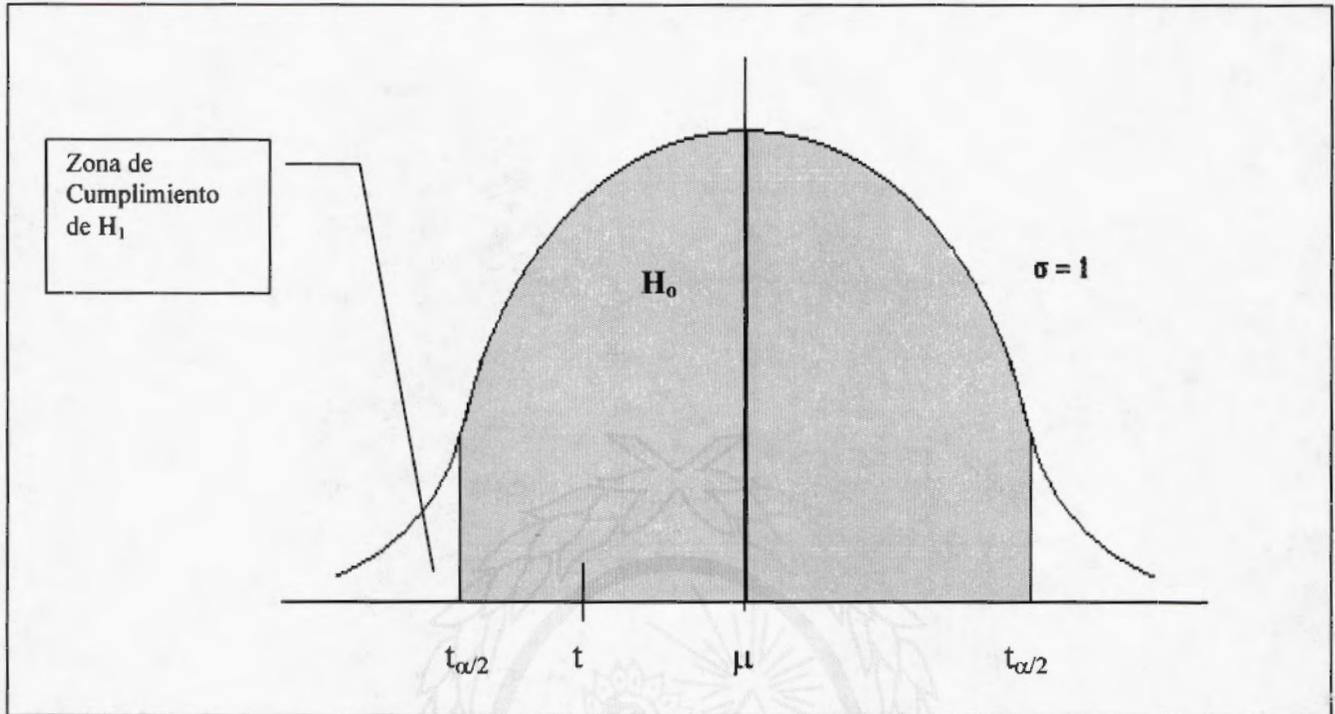
Las muestras pertenecen a la misma población

$$H_0: \mu_1 \neq \mu_2$$

No hay suficiente evidencia para demostrar que las Muestras pertenecen a la misma población (Las poblaciones son diferentes)

Gráficamente lo anterior puede explicarse de la siguiente manera:

Comparación de Medias de Poblaciones



Si $t > t_{\alpha/2}$, implica que las muestras corresponden a poblaciones diferentes.

Si $t < t_{\alpha/2}$, implica que las muestras corresponden a la misma población.

2.2.3 Procedimiento de Cálculo

- Se calcula el promedio y la desviación estándar para cada una de las muestras.

Donde:

X_1 : Promedio de Muestra 1

S_1 : Desviación Estándar de la Muestra 1

N_1 : Número de Datos Muestra 1

X_2 : Promedio de Muestra 2

S_2 : Desviación Estándar de la Muestra 2

N_2 : Número de Datos Muestra 2

- Cálculo de la Desviación Estándar conjunta para desviaciones estándar iguales

$$S_p = \{ [(n_1 - 1) \cdot (s_1)^2 + (n_2 - 2) \cdot (s_2)^2 + (n_3 - 1) \cdot (s_3)^2] / (n_1 + n_2 - 2) \}^{1/2}$$

- Cálculo de t

$$t = [X_1 - X_2] / [S_p \cdot (1/n_1 + 1/n_2)^{0.5}]$$

- Finalmente, el valor $t_{\alpha/2}$, para un nivel de confianza del 95%, es de 1.96. Por lo tanto, si t tiene un valor entre -1.96 y 1.96, se cumple la Hipótesis Nula y si no, se debe aceptar la hipótesis alternativa.

2.3 Metodología B: Análisis de Variancia

2.3.1 Supuestos

- Muestras tomadas independientemente
- Diferentes unidades de aceptación
- Las muestras pertenecen a poblaciones normales
- La Variancia de las muestras de las poblaciones es la misma

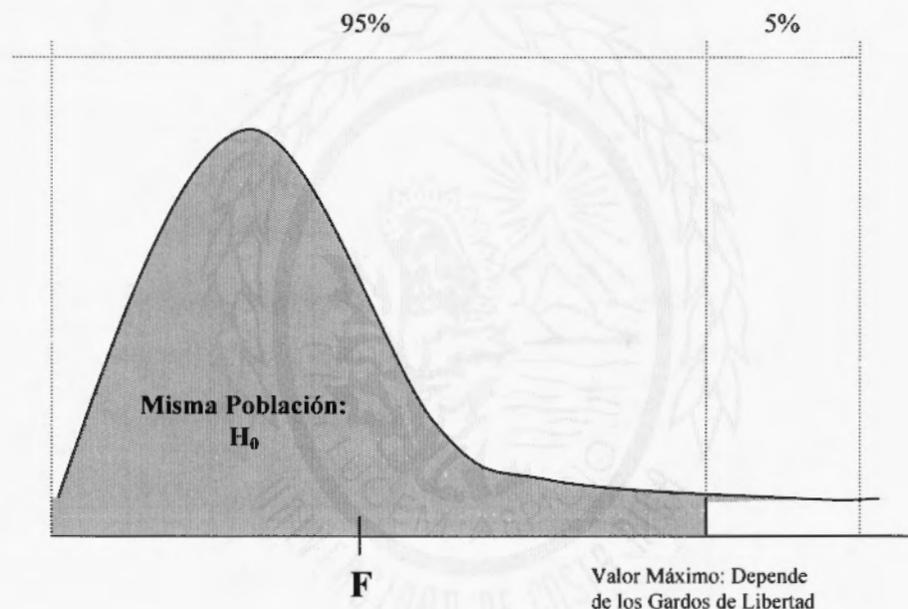
Esta es la metodología que se emplea en el caso de tener que comparar tres o más segmentos homogéneos.

2.3.2 Formulación de Hipótesis

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_i$ Las muestras pertenecen a la misma población

$H_0: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_i$ No hay suficiente evidencia para demostrar que las Muestras pertenecen a la misma población (Las poblaciones son diferentes)

Gráficamente lo anterior puede explicarse de la siguiente manera:



Si $F > \text{Valor Máximo}$, implica que las muestras corresponden a poblaciones diferentes.

Si $F < \text{Valor Máximo}$, implica que las muestras corresponden a la misma población.

2.3.3 Cálculo de la Media de toda la Población

El primer paso a realizar es determinar la gran media, que es el promedio ponderado de las muestras muestrales, que utiliza como pesos los tamaños relativos de las muestras.

El símbolo que se utilizará para este valor es:

$$X_2$$

2.3.4 Cálculo de la Variancia entre las Medias Muestrales

La fórmula para estimar la variancia de la población es:

$$\sigma^2 = \frac{\sum n_j * (X_j - X_2)^2}{k-1}$$

donde

- σ^2 = Variancia entre Muestras
- n_j = Tamaño de la muestra j-ésima
- x_j = Media muestral de la muestra j - ésima
- x_2 = Gran Media
- k = Número de Muestras

2.3.5 Cálculo de la Variancia dentro de las Muestras

Este valor se calcula utilizando la misma ecuación:

$$\sigma^2_1 = \sum \frac{(n_j - 1) * s_j^2}{(n_T - k)}$$

donde

σ^2 = Segunda estimación de la variancia dentro de la población, basada en la variación dentro de las muestras.

n_j = Tamaño de la j-ésima muestra

s_j^2 = Variancia muestraj de la j-ésima muestra k = Número de muestras

n_T = Tamaño total de la muestra.

2.3.6 La Prueba de Hipótesis F

El paso que sigue en el análisis de variancia compara las estimaciones de la variancia de la población determinando su razón, denominada F, como sigue:

$$F = \frac{\text{Variancia entre Medias Muestrales}}{\text{Variancia dentro de las Muestras}}$$

Si el **numerador** « **denominador**, implica que hay más posibilidades de aceptar la hipótesis nula.

Si el **numerador** » **denominador**, implica que hay más posibilidades de aceptar la hipótesis alternativa.

2.3.6 La Distribución F y el Uso de la Tabla F

El uso de la tabla F, genera el **valor máximo** requerido para aceptar la hipótesis nula, como se indica en la figura 2.

La tabla F, está identificada por un par de grados de libertad; el primer número se refiere al número de *grados de libertad del numerador* de la razón F, y el segundo denota los *grados de libertad del denominador*.

A continuación se definen los grados de libertad anteriores:

- Número de Grados de Libertad en el numerador de la Razón F:

$$= \text{Número de Muestras} - 1$$

- Número de Grados de Libertad en el denominador de la Razón F:

$$= \sum (n_j - 1) = n_T - k$$

donde:

- n_j = Tamaño de la j-ésima muestra
- k = Número de Muestras
- n_T = Tamaño total de la Muestra

Con ambos grados de libertad se va a la tabla de la distribución F, y se calcula el valor máximo que aceptaría la hipótesis nula.

Si el valor obtenido del estadístico F es mayor al valor máximo, esto implica que se debe aceptar la hipótesis alternativa.

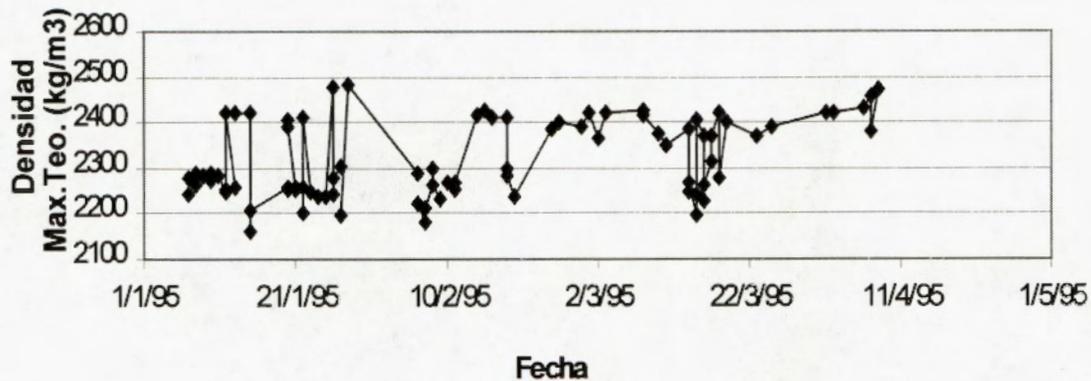
3. Ejemplo de Cálculo

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo para la metodología estadística desarrollada.

Este es un caso típico, para el cual se necesita un análisis estadístico que determine el comportamiento de la producción asfáltica en un lapso determinado.

La producción analizada corresponde a un único diseño de mezcla, que rige a partir del 7 de enero de 1995. Como se observa en el gráfico de seguimiento histórico, existe un comportamiento desordenado de la producción

**Gráfico de Seguimiento Histórico para la Densidad Máxima Teórica,
PLANTA ACOSOL
Resultados Laboratorio del MOPT,
Proyecto Barranca-Arizona**



Al introducir los valores de la base de datos en el programa de análisis estadístico Spec, se determinan tres tramos homogéneos en la producción anterior.

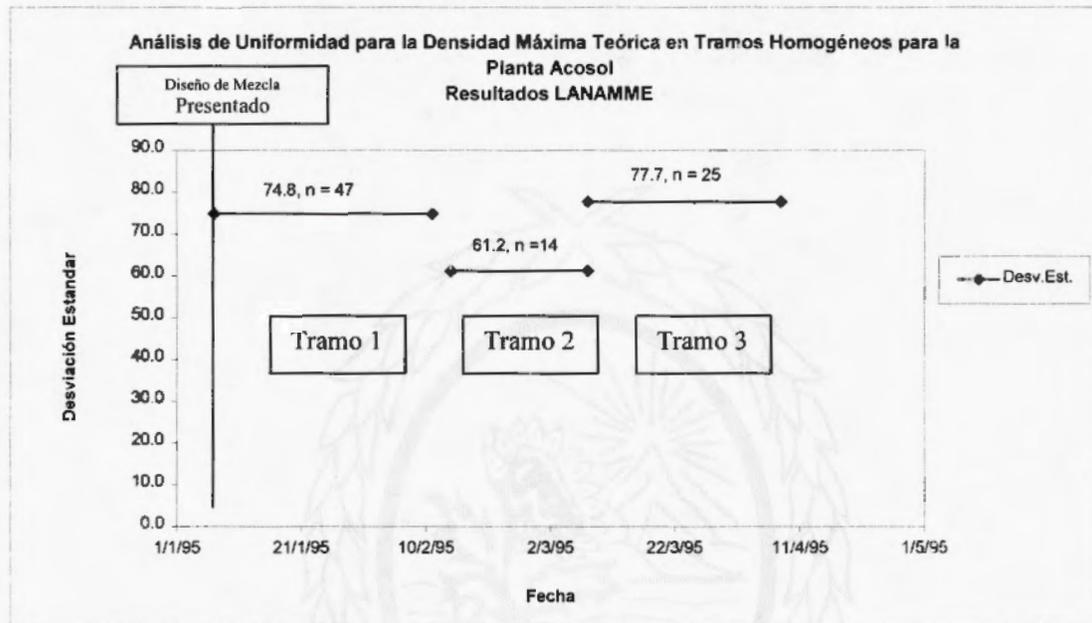
Los tramos homogéneos corresponden a poblaciones estadísticamente diferentes, por lo tanto, implican variaciones sustanciales en las características del pavimento que se va a colocar. Los tramos mencionados son:

Fecha		No. Datos	Máxima Teórica Media	Desviación Estándar	Máxima Teo. Diseño
de	a				
7/1/95	11/2/95	47	2281.9	74.8	NI
14/2/95	8/3/95	14	2378.3	61.2	NI
8/3/95	8/4/95	25	2354.8	77.7	NI

Con la distribución ANOVA se calculará el valor del estadístico F para todos los datos y se comprobará si realmente son poblaciones independientes.

Como se observa, el F calculado es 13.68, mayor que el valor máximo permitido para los grados de libertad asociados, 0.95. Lo cual comprueba que los tramos encontrados corresponden a poblaciones independientes.

Gráficamente, lo anterior puede expresarse de la siguiente manera:



3. Resumen de Análisis de Variabilidad de los Distintos Parámetros de Calidad de la Mezcla Asfáltica

En este resumen, se ordena en forma ascendente según las desviación estándar, los resultados de variabilidad para distintos proyectos.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- ASTM. American Society of Testing Materials.
Hot Mix Asphalt Construction.
Certification and Accreditation Programs.
Scott S. and James S.M. Editors 1999
- 2.- Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica.
Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes. C.R -. 77
San José, Costa Rica, 1978.
- 3.- Ministerio de Obras Públicas de Chile.
Especificaciones Técnicas Generales.
Manual de Carreteras. Volumen 5.
Santiago, Chile, 1997.
- 4.- Florida Department of Transportation.
Standar Specifications for Road and Bridge Construction, 1999
Florida 1999.
- 5.- State of California.
Department of Transportation.
Standar Specifications, 1995.
Caltrans 1995.
- 6.- Commonwealth of Puerto Rico.
Department of Transportation and Public Works.
Highway Authority. 1989.
- 7.- North Carolina Department of Transportation.
Standar Specifications for Roads and Structure
Raleigh, 1995.
- 8.- Ministry of Transportation and Highways.
Standar Specifications for Highway Construction.
British Columbia
Canadá 1999.
- 9.- Eight International Symposium on Concrete Roads.
Quality Assurance and Specifications.
Portugal, 1998.

- 10.- AASHTO. American Association of State Highway and Transportation Officials. Implementation Manual for Quality Assurance. Washington 1996.
- 11.- Hitoshi Kume.
Herramientas Estadísticas Básicas para el Mejoramiento de la Calidad. Editorial Norma. Barcelona 1985.
- 12.- Federal Highway Administration. National Highway Institute Courses.
Module I: Materials Control and Acceptance. Quality Assurance, 1993
Module II: Soils. 1990
Module IV: Aggregates and Unbound Bases
Module V: Asphalt Concrete
Module VI: Concrete. 1990
- 13.- William Mondenhall, Terry Sineich.
Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias. Cuarta Edición. Prentice Hall. 1997.
- 14.- Steven H. Kosmatka and W.C. Panarese
Design and Control of Concrete Mixtures. Thirteenth Edition
Portland Cement Association, Illinois, 1994.
- 15.- The Asphalt Institute
MS-18 Samplis Asphalt Products for Specifications Compliance. Second Edition
Lexington, Kentucky. 1987
- 16.- The Asphalt Institute
MS-22 Construction of Hot Mix Asphalt Pavements. Second Edition.
Lexington, Kentucky, 1999
- 17.- The Asphalt Institute
ES-9 Factors Affecting Compaction
Lexington, Kentucky, 1985.
- 18.- Morilla Abad, Ignacio
Control de Calidad en Obras de Carreteras.
Asociación Técnica de Carreteras
Madrid, 1989
- 19.- Jill A. Swift, J.E. Ross, V.K. Omachone
Total Quality. Second Edition.
Sta Lucia Press. Florida, 1998

- 20.- Thenoux Z., Guillermo
Calidad Total en Obras Viales. Apuntes del Curso.
Pontificia Universidad Católica de Chile, 1999
 - 21.- David V. Huntsberger, P. Billingsley
Elements of Statistical Inference. Fourth Edition
Allyn and Baron Inc., Boston 1977
 - 22.- Albert H. Bowker, G.J. Lieberman
Estadística para Ingenieros
Prentice Hall, 1972.
 - 23.- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales. PG-3
Ministerio de Fomento
España 2000
 - 24.- Quality Managent of Hot Mix Asphalt,
American Standart of Testing and Materials, SPT 1299
Decker, Dale, 1996
 - 25.- Standar Specification for Road and Bridge Construction,
Department of transportation, New Jersey, 1989
 - 26.- Standar Specifcations for Road and Bridge Construction,
Department of Transportation, State of Georgia,
Georgia, 1991
- 