



**PROYECTO PILOTO DE**  
**TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA**



**INFORME FINAL**

**Proyecto No. 2:**

**Propuesta de Control de Calidad y pago de  
Obra**

**Ejecutada en Obras Viales**



2000

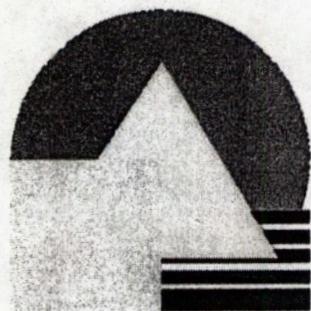


**PROYECTO PILOTO DE**  
**TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA**

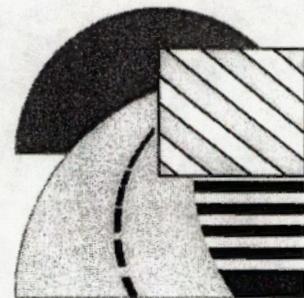
**INFORME FINAL**

**Proyecto No. 2:**

**Sistematización de una Metodología para  
el Control de Plantas Asfálticas**



L A N A M M E



P I T R A

---

## Indice

---

No.	Título	Página
1	Aspectos generales	1
2	Esquema operativo	2
2.1	Control de las características geológico-geotécnicas de las fuentes de agregados y control del plan de explotación de la fuente.	4
2.2	Control de calidad y de la uniformidad de la producción de los agregados	6
2.3	Control de la metodología de construcción y manejo de apilamientos y alimentación de tolvas	9
2.4	Control del funcionamiento óptimo de la planta y sus partes	12
2.5	Control de la incorporación de la materia prima al proceso de mezclado	13
2.6	Control del proceso de mezclado	14
2.7	Control de almacenamiento y despacho de mezcla	16
2.8	Fase final de toma de decisiones para el aseguramiento de la calidad del proceso de producción de mezcla	17 15
2.9	Análisis de resultados de laboratorio	18
2.10	Fase final de toma de decisiones para el aseguramiento de la calidad	18
3	Documentos para la supervisión de plantas	20
4	Anexos	21
	ANEXO 1: Formularios para el control de plantas asfálticas	

**ANEXO 2: Generalidades del control de plantas  
asfálticas**

# **Metodología para la Inspección del Proceso de Producción de Mezclas Asfálticas**

## **1. Aspectos generales**

La inspección o supervisión del proceso de producción de mezcla asfáltica es una labor que se debe ejecutar de forma permanente, y tiene como propósito fundamental, garantizar la calidad en cada una de las etapas del proceso, bajo un sistema de aseguramiento de la calidad previamente diseñado y puesto en ejecución.

Según sea el modelo de contratación, esta labor de supervisión la debe llevar a cabo el Contratista, la Administración o de forma compartida por ambas partes.

## **2. Esquema operativo y de supervisión del proceso de producción de mezcla asfáltica**

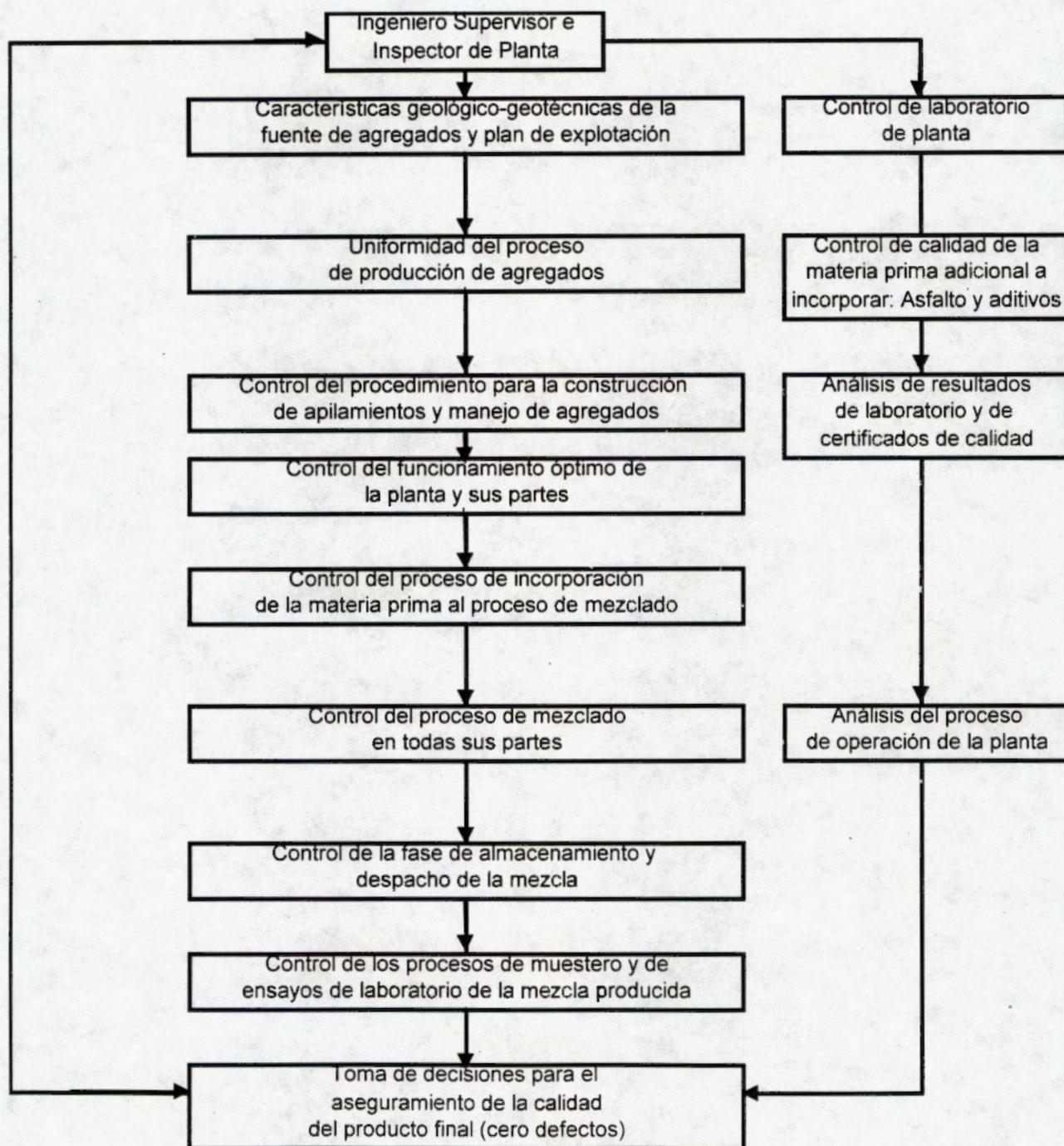
El responsable profesional por la supervisión del proceso de producción debe ser un Ingeniero Supervisor (IS). Para desempeñar esta función, se apoya en un Inspector, que debe tener el entrenamiento y los conocimientos básicos suficientes para ejercer la labor de inspección de la planta permanente, conforme a los lineamientos que adelante se especifican.

Los siguientes son los elementos básicos condicionantes, sobre los cuales se diseña, desde el punto de vista del aseguramiento de la calidad, el proceso de producción y su correspondiente sistema de control.

- i. Tipo y tamaño de la planta.
- ii. Espacios para el almacenamiento y manejo de agregados.
- iii. Características geológicas de la fuente de agregados (pueden ser varias).
- iv. Sistema de explotación de las fuentes de agregados
- v. Nivel de producción de la planta.
- vi. Tipos de materiales asfálticos que se producen.

En el diagrama siguiente se detallan las etapas del proceso de producción de la mezcla asfáltica que deben mantenerse, una a una bajo control, como condición necesaria para que el proceso de producción opere bajo un esquema de aseguramiento de la calidad.

### Etapas del proceso de producción de mezcla asfáltica



De conformidad con este diagrama, los siguientes son los elementos que se deben tomar en cuenta en cada etapa, para la supervisión total del proceso.

## **2.1 Control de las características geológico-geotécnicas de las fuentes de agregados y control del plan de explotación de la fuente.**

### Objetivos de la supervisión en esta etapa:

1. Asegurar que el control geológico de la fuente de agregados es adecuado, para la explotación correcta de esta materia prima, de conformidad con las especificaciones contractuales y el diseño de mezcla en que se fundamenta la producción.
2. Asegurarse que el sistema de explotación del tajo, es conforme con las características geológicas de las fuentes y con la calidad que se requiere de los agregados.

Los elementos a considerar para la supervisión en esta fase son los siguientes:

- I. Tamaño, estratigrafía, buzamientos, y demás características geológicas del tajo o fuente de materiales.
- II. Características mineralógicas y variabilidad de la fuente.
- III. Propiedades físico-mecánicas básicas: gravedad específica, absorción, dureza, grado de alteración y de contaminación, de los diferentes componentes de la fuente. Esta información se retroalimenta con los datos que se obtienen en la fase siguiente. Estos son los datos geológicos básicos que sirven de base para la explotación de la fuente de agregados, y

que deben actualizarse periódicamente, según la variabilidad, y el régimen de explotación.

- Esta información es la base sobre la cual se diseña el plan de explotación de la materia prima para la producción de la mezcla. En esta primera fase corresponde a la supervisión:
  - i. Asegurarse de que los estudios geológicos se encuentran debidamente actualizados.
  - ii. Comprobar que lo que señalan los estudios geológicos coincide con las características de la fuente de explotación de los agregados que se están produciendo y con la estratigrafía y características mineralógicas de los materiales.
  - iii. Verificar que el sistema de explotación es correcto y que no se está contaminando la materia prima que se produce, de conformidad con el plan de explotación.
  - iv. Corroborar que los análisis de laboratorio coinciden en uniformidad y calidad, con las propiedades del material que especifica el diseño de mezcla.
  - v. Verificar que el proceso de explotación de la fuente y de producción de agregados no está produciendo impactos ambientales negativos.
  - vi. Comunicar de inmediato al IS sobre cualquier situación anómala que se presente en esta etapa.

**Información relevante para ejercer la supervisión:**

- El plan de explotación de la fuente.
- Informes geológicos
- Informes de laboratorio de los análisis de los agregados
- Visitas de inspección a las fuentes de explotación
- Visitas de inspección a los equipos de explotación de la fuente
- Valoración de los aspectos ambientales

## **2.2 Control de calidad y de la uniformidad de la producción de los agregados**

### Objetivos

1. Tener conocimiento de la uniformidad (o dispersión) de la materia prima que se produce.
2. Tener conocimiento de los diferentes parámetros de calidad de la materia prima, y de su tendencia histórica.
3. Asegurarse de que el sistema de explotación de la fuente y de la producción de agregados se hace correctamente y no causa efectos negativos en la calidad y uniformidad de la materia prima.
4. Identificar los parámetros de calidad de mayor variabilidad de la fuente.
5. Verificar que los parámetros de calidad de la materia prima que se está produciendo, permiten cumplir con las exigencias de calidad del diseño de mezcla.

Esta es una etapa muy importante en el proceso de producción de mezcla asfáltica, en virtud de que la calidad con que, al final del proceso, se produce la mezcla, depende en gran medida de la calidad y uniformidad con que se produce esta MATERIA PRIMA. Además es importante tener claro que, con esta materia prima se construyen los apilamientos que servirán para la alimentación de las tolvas.

La supervisión para el control permanente de la producción del agregado (como materia prima), comprende los siguientes aspectos, esto es:

- Conocimientos de las características del quebrador
- Conocimientos de las propiedades de los agregados que se producen:

1. Gravedad específica y absorción.
2. Forma del agregado grueso (partículas planas y elongadas).
3. Caras fracturadas.
4. Angularidad del agregado fino.
5. Uniformidad granulométrica de la producción.
6. Contenido de polvo de los agregados.
7. Plasticidad o equivalente de arena de la fracción fina.
8. Resistencia ante la acción de sulfatos (sanidad).
9. Resistencia ante la abrasión. (Los Angeles)
10. Durabilidad

- Conocimientos de la sensibilidad del diseño de mezcla con respecto a los agregados.

En síntesis en esta etapa se determina el nivel de calidad y dispersión con que se está produciendo la materia prima, en cada una de las fracciones en que se subdivide la producción del quebrador.

El número de ensayos a realizar, debe ser el necesario y suficiente, y la frecuencia depende de la dispersión misma del proceso. Procesos uniformes (bajo control) requieren de menor cantidad de ensayos, en consecuencia, la frecuencia de ensayo debe ser tal que sus resultados muestren de forma fehaciente y confiable la uniformidad (o grado de dispersión) con que se está produciendo esta materia prima, en los parámetros de calidad antes indicados.

En general, los ensayos antes señalados se clasifican, según la tabla siguiente (el tipo de ensayo corresponde a la numeración de la anterior lista):

**Tabla No.1: Frecuencia de ensayo**

Tipo de ensayo	Frecuencia		
	Alta	Media	Baja
1	X <sup>(a)</sup>		
2		X	
3		X	
4		X	
5	X		
6		X	
7		X	
8			X
9			X
10			X

(a) Podría ser de frecuencia media en fuentes de materiales uniformes respecto a este parámetro.

El conjunto de los datos históricos de estos análisis, permite determinar de forma fehaciente la calidad de la materia prima que se está produciendo, bajo un proceso controlado, así como advertir de cualquier cambio en los agregados que amerite por ejemplo, modificaciones al diseño de mezcla y por ende, al proceso de construcción de los apilamientos, o ajustes en los procesos del quebrador.

Adicionalmente, con esta información, el productor de agregados tendría una especie de "certificado de calidad", con el cual el cliente estaría debidamente informado de las propiedades de la materia prima que compra.

**Información relevante para ejercer la supervisión en esta fase de proceso:**

- Conocimiento detallado del proceso de producción y del manejo (ajustes) del quebrador.

- Conocimiento del tipo de quebrador y su relación con la forma y uniformidad de la producción de agregados.
- Conocimiento de los rendimientos del proceso de producción.
- Valoración de los aspectos ambientales.
- Valoración de las condiciones de seguridad y del ambiente de trabajo.
- Procedimientos de manejo y mantenimiento del equipo del quebrador (incluido las mallas y los sistemas de lavado).
- Procedimientos utilizados para revisar y ajustar periódicamente los quebradores.
- Uso de la información de la etapa anterior (fase geológica) para el control de las fuentes de explotación y corroboración de las propiedades de los agregados que anticipaban los estudios geológicos.
- Informes de laboratorio y datos históricos de los parámetros de calidad, incluidos análisis de tendencia histórica y dispersión.
- Visitas de inspección a los quebradores.

### **2.3 Control de la metodología de construcción y manejo de apilamientos y alimentación de tolvas**

#### Objetivos

1. Conocer e identificar los agregados, según la fuente de donde provienen.
2. Conocer la metodología que se utiliza para construir los apilamientos.
3. Conocer los parámetros de calidad de los apilamientos y su dispersión, de acuerdo con la secuencia con que se van construyendo.
4. Conocer los procedimientos de control de humedad de los apilamientos y de ajuste de la dosificación del ligante asfáltico, y su relación con las condiciones climáticas.
5. Asociar los parámetros de calidad de los apilamientos y el proceso de alimentación de las tolvas, con la curva granulométrica del diseño de mezcla.

6. Asociar el tamaño de los apilamientos con el volumen de producción de la mezcla asfáltica.

Esta fase de construcción y manejo de apilamientos está estrechamente ligada con la granulometría del diseño de mezcla y con la dosificación del ligante asfáltico.

En esta fase, la inspección requiere conocer lo siguiente:

1. La metodología que se utiliza para construir los apilamientos.
2. El número de tolvas y apilamientos con que se logra la curva granulométrica del diseño de la mezcla.
3. El origen de los agregados con que se construyen los apilamientos.
4. Parámetros de uniformidad granulométrica conforme se van construyendo los apilamientos (media móvil, desviación estándar móvil, otros), para asociarlos con el diseño de mezcla y las tolerancias de especificación.
5. Las variaciones reales de humedad de los frentes de los apilamientos de donde se alimentan las tolvas, en función de las condiciones de clima que se presentan.
6. El procedimiento que se utiliza para ir incorporando agregados a los apilamientos.
7. El procedimiento que se utiliza para tomar los agregados de los apilamientos e incorporarlos a las tolvas.
8. El grado de cumplimiento con que los agregados cumplen con todos los parámetros de aceptación para la mezcla asfáltica, incluido la resistencia retenida. Aquí solo se harán los ensayos complementarios que no se ejecutaron en la fase anterior (fuente de agregados).

En la tabla siguiente se muestra la lista de parámetros de aceptación para la producción de mezcla asfáltica. La frecuencia de ensayo depende de la variabilidad de cada parámetro y del volumen de producción.

**Tabla 1: Parámetros de calidad para la mezcla asfáltica**

Parámetros de Aceptación	Parámetros de Control	Parámetros de Pago
<b>Agregados (por fuente de agregado)</b>	<b>Agregados</b>	<b>Mezcla producida</b>
<b>a) Agregado grueso</b> Índice de abrasión en máquina Los Angeles Sanidad (resistencia al efecto de sulfatos) Durabilidad (el ensayo que indique el cartel) Residuo insoluble en la prueba de carbonatos solubles (si los agregados son de origen calcáreo) Absorción (si lo especifica el cartel)	Granulometría Partículas planas y elongadas Límites de Atterberg Caras fracturadas Gravedad específica Absorción Equivalente de arena Vacíos en el agregado fino no compactado Residuo insoluble en la prueba de carbonatos solubles	Porcentaje de Asfalto Granulometría
<b>b) Agregado fino</b> Gravedad específica Absorción (si lo especifica el cartel) Sanidad (resistencia al efecto de sulfatos) Equivalente de Arena Durabilidad (el ensayo que indique el cartel) Límites de Atterberg	Ensayo de azul de metileno Contenido de humedad Índice de abrasión en máquina Los Angeles Sanidad (resistencia al efecto de sulfatos) Durabilidad (el ensayo que indique el cartel) Coeficiente de pulimento acelerado	<b>Mezcla colocada</b> Porcentaje de Vacíos Porcentaje de Vacíos Espesor de capa
<b>Agregados mezclados (según diseño de mezcla)</b>	<b>Otros ensayos</b>	<b>Acabado superficial</b>
<b>Agregado grueso</b> Caras fracturadas Gravedad específica y absorción Partículas planas y elongadas	<b>Asfalto</b> Viscosidad a 125 C, 135 C, 145 C. Temperatura de mezclado y de compactación Viscosidad retenida Pérdida de masa en película delgada Ductilidad y penetración retenida	IRI: índice de rugosidad internacional CRT: coeficiente de rozamiento transversal
<b>Agregado fino</b> Vacíos en el agregado fino no compactado Gravedad específica y absorción	Viscosidad absoluta a 60 C Penetración a 25 C Razón de viscosidades después de envejecimiento en película delgada Viscosidad, ductilidad y penetración del asfalto extraído de la mezcla Otros ensayos	
<b>Parámetros de aceptación de la mezcla asfáltica</b>	<b>Mezcla producida en planta</b>	
Granulometría Estabilidad Marshall Flujo Marshall Vacíos en el agregado mineral Vacíos llenos de asfalto Gravedad específica máxima teórica Razón polvo/asfalto efectivo Resistencia a la tensión diametral (si lo especifica el cartel) Contenido de asfalto respecto al peso de la mezcla Contenido de asfalto respecto al peso del agregado Densidad Marshall Vacíos en la mezcla (pastillas Marshall) Resistencia retenida Resistencia a la compresión uniaxial (si lo especifica el cartel) Durabilidad (los ensayos que indique el cartel)	Gravedad específica y absorción del agregado fino Gravedad específica y absorción del agregado grueso Caras fracturadas Partículas planas y elongadas Vacíos en el agregado fino no compactado Granulometría Estabilidad Marshall Flujo Marshall Vacíos llenos de asfalto Densidad Gravedad específica máxima teórica Razón polvo/asfalto Contenido de asfalto efectivo Contenido total de asfalto Viscosidad a 60 C de asfalto extraído de la mezcla Vacíos en la mezcla (pastillas Marshall) Durabilidad Deformación permanente Densidad Marshall Contenido de agua en la mezcla Ductilidad y penetración del asfalto extraído en la mezcla Otros ensayos* adicionales	
	<b>Mezcla compactada</b>	
	Tramos de prueba (densidad de referencia) Índice internacional de rugosidad (IRI) Vacíos de la mezcla compactada Coeficiente de rozamiento del pavimento Textura de la superficie del pavimento Espesor de la capa asfáltica Uniformidad superficial de la capa asfáltica Perfil transversal y longitudinal Cumplimiento del trazado geométrico Otros ensayos	

## **2.4. Control del funcionamiento óptimo de la planta y sus partes.**

### Objetivos:

1. Verificar que la planta, sus sensores y demás componentes, se encuentren debidamente calibrados, conforme a las exigencias de "certificación" del contrato.
2. Verificar que el equipo de laboratorio se encuentra debidamente calibrado.
3. Verificar que los sistemas de pesaje para despacho de mezcla estén debidamente calibrados.
4. Verificar que las instalaciones cuenten con las condiciones requeridas para maniobra de vehículos, protección de la mezcla para despachar bajo lluvia y toma de muestras.
5. Verificar que se aplique un adecuado proceso de mantenimiento (preventivo) a las plantas.

### **En esta fase la inspección debe estar atenta a que:**

1. Cualquier situación sintomática que advierta de un posible daño en la planta (humo, polvo, mezcla mal graduada, mezcla quemada, etc)
2. Se implante y se ejecute de forma sistemática el mantenimiento preventivo del equipo (incluido la limpieza)
3. La planta siempre cumpla con los requerimientos de "certificación" y calibración, acorde con la buena práctica de la ingeniería y con los términos contractuales.
4. Los equipos de laboratorio se encuentren permanentemente calibrados y certificados para su uso en ejecución de ensayos.

## **2.5. Control de la incorporación de la materia prima al proceso de mezclado**

### Objetivos

1. Verificar la uniformidad de salida de los agregados de las tolvas (grumos, material adherido a las paredes de las tolvas, alimentación correcta de las tolvas, velocidad uniforme de las bandas, llenado correcto de las tolvas, etc)
2. Comprobar que la humedad de los agregados concuerda con los datos que se manejan en el centro de control.
3. Conocer la dosificación que debe aportar cada tolva y comprobar el cumplimiento de la granulometría.
4. Verificar que los componentes mecánicos del sistema de alimentación de los componentes de la mezcla (agregados, asfalto, aditivos, material reciclado, etc) y los sensores de velocidad-peso, funcionan correctamente y que son revisados y calibrados con la periodicidad requerida.
5. Comprobar que el almacenamiento de asfalto es correcto y que no se mezclan diferentes tipos de asfaltos, o asfaltos con diferentes propiedades.
6. Verificar que el sistema de calentamiento y bombeo del ligante asfáltico funciona correctamente, y que los sensores de medición de temperatura y control de caudal (o peso) son revisados y calibrados con la periodicidad requerida.
7. Conocer si el asfalto que se incorpora a la mezcla corresponde con el que se especifica en el diseño de mezcla.
8. Verificar que la incorporación de aditivos o de material reciclado es correcta, de conformidad con el diseño de mezcla.

En esta fase la supervisión debe estar atenta a:

- a. Que el proceso de incorporación de agregados al quemador garantice la uniformidad de la mezcla, o sea que este proceso no debe ser causa de dispersión de la granulometría de los agregados.
- b. Que el control de humedad de los agregados es correcto y no se está alterando la dosificación del asfalto.
- c. Que el proceso de secado de los agregados es correcto y no se incumpla con el contenido de agua de la mezcla.
- d. Que la dosificación de los componentes de la mezcla es conforme con la fórmula de trabajo para la producción de la mezcla.

Además se requiere que la inspección tenga conocimiento preciso de la fórmula de trabajo con que se produce la mezcla.

## **2.6. Control del proceso de mezclado**

### Objetivos

1. Verificar que el sistema electromecánico y de sensores, del sistema de mezclado, funcionan correctamente, que sean revisados y calibrados con la periodicidad que se requiere.
2. Conocer el tiempo de mezclado con que se produce la mezcla.
3. Conocer el efecto de la humedad de los agregados en el tiempo y temperatura para lograr el secado, y su efecto en el contenido de agua de la mezcla.
4. Conocer el diagrama de temperaturas del quemador y la forma de operación del tambor mezclador, el diagrama de temperatura, el punto de incorporación de los componentes de la mezcla y la dirección de movimiento de estos materiales.

5. Verificar el control de temperaturas ( en la caseta de mando, y en los diferentes puntos del sistema de mezclado)
6. Verificar el correcto funcionamiento del sistema de incorporación de finos.
7. Verificar el sistema de control para la incorporación aditivos.
8. Verificar las temperaturas del agregado, del asfalto y de la mezcla.
9. Verificar que el secado de los agregados es correcto.
10. Evaluar visualmente la calidad de la mezcla.
11. Conocer el tiempo de secado/mezclado del proceso y su relación con el contenido de agua de la mezcla.
12. Conocer las características de funcionamiento del quemador, su sistema de control y el tipo de combustible que utiliza.
13. Verificar que no queden residuos de combustible del quemador en la mezcla.
14. Asociar los parámetros de calidad con que se produce la mezcla con la metodología de control de cada una de las etapas del proceso.

Para asegurar la correcta ejecución de esta etapa del proceso, la supervisión requiere asegurar que se ejecuta correctamente:

- i. Los controles de temperatura
- ii. Los controles de dosificación (agregado, asfalto, aditivos, materiales reciclados)
- iii. El control de humedad y el secado de los agregados
- iv. La operación del quemador
- v. La operación del retorno de finos
- vi. El manejo de los diferentes controles de operación de la planta
- vii. El calentamiento del asfalto y de los agregados.
- viii. El muestreo y la ejecución de los ensayos de laboratorio.

## **2.7. Control de almacenamiento y despacho de mezcla**

### Objetivos

En esta fase hay una importante cantidad de aspectos que están bajo la responsabilidad de la supervisión, para lograr los siguientes objetivos:

1. Conocer el tiempo y temperatura de almacenamiento en los silos
2. Conocer el efecto de curado (cambio en el contenido de asfalto efectivo) en función de la temperatura, tiempo de almacenamiento y porosidad del agregado.
3. Conocer el contenido de agua de la mezcla, según las diferentes condiciones de humedad de la planta.
4. Conocer las características de diseño y funcionamiento del silo.
5. Verificar la condición de las instalaciones para el vaciado a las vagonetas, especialmente en condiciones de lluvia.
6. Revisar la condición de las vagonetas para transporte de mezcla.
7. Contar con facilidades para toma de muestras.
8. Verificar la técnica de muestreo de la mezcla asfáltica.
9. Supervisar la técnica de llenado de vagonetas.
10. Verificar la correcta instalación del cobertor (lona) a las vagonetas.
11. Verificar la revisión y calibración periódica de los sistemas de pesaje.
12. Verificar los pesos, temperatura y hora de despacho de la mezcla asfáltica.
13. Identificar la vagoneta y lugar de destino.

Para ejecutar esta labor, la supervisión requiere:

- Evaluar visualmente (de forma permanente) la calidad de la mezcla.
- Controlar el tiempo que transcurre entre la producción y el despacho de mezcla.

- Ejecutar o supervisar la toma de muestras (frecuencia y técnica de muestreo)
- Controlar permanentemente todos los aspectos relacionados con el control de peso y llenado de vagonetas.
- Revisar la temperatura de despacho de la mezcla.
- Llenar los recibos de remisión de mezcla.

## **2.8 Fase final de toma de decisiones para el aseguramiento de la calidad del proceso de producción de mezcla**

En esta etapa, se toman las acciones requeridas para lograr los siguientes objetivos:

1. Verificar que todas las etapas del proceso están bajo control.
2. Verificar que los parámetros de calidad de la producción sean acordes en cuanto al valor medio y la dispersión, con las especificaciones del contrato.
3. Verificar que se apliquen acciones correctivas en el mismo momento en que se detecta un cambio en cualquiera de las etapas del proceso.
4. Asegurar que todos los componentes de la mezcla se dosifican con estricto apego a la fórmula de trabajo.
5. Supervisar los muestreos.
6. Supervisar el proceso de verificación y calibración de los equipos de laboratorio.

**Para la correcta ejecución de estas actividades se requiere:**

- i. Mantener un archivo actualizado de todos los datos históricos, tendencias y dispersión de todos los parámetros de calidad en cada una de las etapas del proceso.
- ii. Analizar los datos pero ejecutar acciones correctivas, en las etapas donde se detecten situaciones "anómalas".

## **2.9. Análisis de resultados de laboratorio**

### Objetivos

- Analizar los resultados de laboratorio de las diferentes etapas del proceso.
- Identificar los parámetros de calidad de cada etapa del proceso, su dispersión y su tendencia histórica, con la metodología de trabajo.
- Explicar los estándares de calidad con que se ejecuta cada etapa del proceso a la luz de los resultados de los ensayos de laboratorio.

## **2.10. Fase final de toma de decisiones para el aseguramiento de la calidad**

### Objetivos

1. Verificar que la técnica de muestreo es correcta, o sea:
  - Que el muestreo es aleatorio
  - Que la muestra se toma del lugar correcto.
  - Que las muestras se anotan correctamente en la bitácora.
2. Verificar que se ejecuta un correcto proceso de verificación y calibración de los equipos de laboratorio.
3. Verificar que se utiliza correctamente la información de laboratorio para el control y la operación de la planta.
4. Verificar que se aplican correctamente las normas de ensayo.
5. Verificar que toda la materia prima que se compra o produce, tiene su correspondiente respaldo o certificado de calidad.

Para la supervisión de este proceso se requiere:

- Conocer la programación de muestras (laboratorios) que realiza el Contratista.
- Conocer los puntos y fechas de toma muestras, para interpretar correctamente los resultados de los ensayos y su aplicación para hacer correcciones para que las plantas funcionen satisfactoriamente.
- Asegurar que el laboratorio de la planta funciona correctamente (equipo, muestreo y ejecución de los ensayos).
- Conocer las características y requerimientos de la materia prima, para verificar permanentemente la idoneidad de los certificados o documentos que respaldan su calidad.

### **3. Documentos para la supervisión de plantas**

Para la inspección de las plantas se requieren los siguientes documentos:

- Instructivo del inspector de planta
- Bitácora de muestreo
- Formularios para el despacho de mezcla asfáltica
- Formulario de inspección periódica del laboratorio de planta
- Formulario para el informe diario de inspección
- Formulario para la supervisión del laboratorio de la planta

Estos documentos se adjuntan a continuación.

## Documentos para la supervisión de plantas

Formulario No.	Propósito	Importancia de la producción
<b>1</b> <b>Control semanal del la producción de mezcla</b>	El Inspector presenta un resumen semanal de producción, indicando el destino de la mezcla, y el detalle de las muestras realizadas.	Permite generar un resumen de producción por planta y por proyecto. Además permite un control cruzado de la frecuencia de muestreo en función de la producción.
<b>2</b>	Permite llevar el control y ejercer la supervisión de los muestreos. Toda muestra que se tome debe quedar debidamente registrada.	Se tiene un control preciso de las muestras tomadas y de la calidad del muestreo, para contrarrestar con los resultados reportados.
<b>3</b> <b>Formulario para la revisión del laboratorio de planta</b>	Es un instrumento que guía y ordena el trabajo de revisar detalladamente la condición en que se encuentra un laboratorio de planta.	Permite conocer la situación y condiciones en que funciona un laboratorio de planta.
<b>4</b> <b>Formulario para remisión de mezcla asfáltica (guías de entrega)</b>	Este es el documento oficial para controlar la cantidad de mezcla enviada a los proyectos y las condiciones de remisión.	Permite llevar un control detallado del envío de mezcla asfáltica a cada proyecto, y es útil para contrarrestar contra la cantidad de obra ejecutada. Incluye datos de la condición de envío de la mezcla.
<b>5</b> <b>Colillas de muestreo</b>	Sistematizan y ordenan toda la información relevante que debe tener una muestra que se envía al laboratorio.	La información detallada de la muestra que ingresa al laboratorio, es fundamental para el proceso y control de los ensayos de laboratorio y sus resultados.

<p><b>6</b></p> <p><b>Supervisión del muestreo de mezcla asfáltica</b></p>	<p>Este formulario es una guía práctica para supervisar periódicamente la calidad de los muestreos que se realizan en las plantas.</p>	<p>La calidad del muestreo es crucial para lograr alta calidad en la ejecución de los ensayos, pues ese es el primer paso del ensayo.</p>
<p><b>7</b></p> <p><b>Auditoría técnica de plantas asfálticas</b></p>	<p>Contar con un instrumento práctico para ejecutar periódicamente auditorías técnicas a las plantas de producción de mezclas.</p>	<p>La auditoría técnica es un recurso muy importante, que sirve a los altos niveles de la Administración para controlar de forma efectiva el funcionamiento de todas las plantas asfálticas.</p>

## **Instructivo para el inspector de planta**

- Usted debe tener permanentemente informado al Ingeniero Supervisor (IS) de lo que sucede en la planta.
- Si detecta algún problema, repórtelo de inmediato al IS.
- Si tiene alguna duda, consulte de inmediato al IS.
- Asegúrese de contar con toda la documentación que necesita para ejercer su labor.

### **1. Seguridad**

- identifique las áreas de trabajo que representan algún peligro para los trabajadores o para la planta misma y repórtelo al Ingeniero Supervisor.
- Asegúrese de que la manipulación y almacenamiento del combustible se hace de forma segura. Especialmente revise la temperatura del combustible.
- Verifique que los trabajadores y usted utilicen el equipo de protección adecuado.
- Verifique que las maniobras en los patios no pongan en peligro a los trabajadores.

### **2. Inspección de la fuente de agregados**

- Revise y analice con el IS el informe geológico de la fuente de agregados para conocer y poder reconocer sus características básicas.
- Inspeccione las fuentes de donde se toman los materiales para el quebrador.
- Verifique que los materiales conserven siempre las mismas características (peso, porosidad, color, estratigrafía, etc). Esta inspección se debe hacer con frecuencia, en conjunto con el Ingeniero Superior y se debe comentar con

detalle todo lo que observe. Se debe identificar cualquier problema que se presente para plantear su solución.

- Inspeccione el equipo de trituración y reporte, cualquier problema o deficiencia que observe.
- Anote todos los tiempos en que se detuvo el trabajo del quebrador, e indique las causas.
- Inspeccione y anote cualquier ajuste que se haga al quebrador.
- Anote los trabajos de revisión o reparación que se hagan al quebrador.
- Supervise la toma de muestras y su correcta anotación en la bitácora.
- Anote la fecha y lugar de donde se toman las muestras.
- Mantenga un archivo con todos los resultados de los ensayos de laboratorio e informe de esto al Ingeniero Supervisor.
- Si hay equipo de laboratorio en el quebrador, anote cada vez que este equipo es objeto de revisión, reparación o calibración.

### **3. Inspección de la planta de producción de mezcla**

#### **3.1 Los agregados**

- Lleve el control de las fuentes de donde provienen los agregados.
- Lleve el control permanente del procedimiento que se utiliza para incorporar los agregados a los apilamientos.
- Lleve el control permanente del lugar de donde se toman los agregados para incorporarlos a las tolvas.
- Anote el lugar exacto de donde se toman las muestras de los agregados.
- Revise siempre la condición en que se encuentran las tolvas. El flujo de agregados debe ser continuo y sin segregación.
- Supervise la toma de muestras y asegúrese de que se llena la bitácora de muestreo correctamente.

- Lleve un archivo actualizado con los datos de laboratorio de planta de los agregados.

### **3.2 El asfalto**

- Cada vez que se incorpora asfalto a la planta, adquiera una copia del certificado de calidad.
- Revise la temperatura de mezclado del asfalto que ingresa a la planta y compárela con la del asfalto que existe en el tanque. Si hay diferencias, repórtelo de inmediato al IS.
- Verifique el tipo de asfalto que está ingresando, (AC-20, AC-30,...) y compárelo con el que está en el tanque. Si hay diferencias, repórtelo de inmediato al IS.

### **3.3 El combustible**

- Verifique el tipo de combustible que ingresa a la planta. Compruebe que sea del mismo tipo de combustible que se está usando. Cualquier cambio que detecte repórtelo de inmediato al IS.

### **3.4 La fórmula de trabajo**

- Usted debe de conocer con todo detalle la fórmula de trabajo, incluidas las dosificaciones de los componentes de la mezcla (agregado, asfalto, aditivos), la fuente de agregados para la cual es válido el diseño de mezcla y las tolerancias granulométricas.
- Debe conocer el procedimiento que se usa para ajustar la fórmula de trabajo e informar permanentemente al IS sobre los ajustes que se realizan.
- Debe conocer respecto a los cambios de humedad en los agregados por efecto de la lluvia, y su efecto sobre el secado, tiempo de mezclado y contenido de agua de la mezcla que se produce.

### **3.5 Del centro de control**

- Revise la operación rutinaria del centro de control de la planta.
- Verifique los controles de dosificación y temperatura, así como el procedimiento de pesaje y confección de recibos.
- Cualquier cambio o anomalía debe reportarlo de inmediato al IS.

### **3.6 El quemador y el mezclador**

- Debe estar atento desde el inicio de la operación de la planta, respecto a la puesta a punto del quemador y del proceso de mezclado.
- Debe constatar la temperatura y la apariencia de la primera descarga que se da por aceptada, y en lo sucesivo mantener bajo supervisión este proceso.
- Verifique que las temperaturas del ligante, del agregado y de la mezcla son correctas.
- Asegúrese de que el sistema de retorno de finos funciona correctamente.
- Mantenga vigilancia sobre los gases que emite la planta, comente este asunto con el IS. Cualquier cambio debe reportarlo de inmediato.

### **3.7 Almacenamiento y carga de vagonetas.**

- Usted debe conocer el tiempo de almacenamiento y la temperatura de la mezcla. Debe mantener informado al IS sobre este asunto.
- El IS y el Inspector debe conocer cómo afecta el tiempo y la temperatura de almacenamiento el asfalto efectivo sobre la mezcla.
- Revise que la vagoneta tenga las condiciones necesarias para transportar la mezcla: limpieza, cobertor, tipo de góndola, etc.

### 3.8 Despacho de la mezcla

- Cerciórese de la temperatura de la mezcla y anótela. Si desconoce la temperatura de la mezcla NO invente el dato.
- Evalúe visualmente la mezcla que despacha. Si autoriza su salida es porque usted está conforme con la apariencia de la mezcla. Si tiene dudas al respecto comuníquese con el IS.
- Cerciórese del peso de la mezcla, si no está seguro del peso de la mezcla, no puede indicarlo en el recibo de despacho de mezcla.
- Llene correctamente el formulario de envío de mezcla. Con su firma en este documento usted asegura que toda la información que ahí se incluye es cierta.

### 3.9 Laboratorio de planta

- Usted debe conocer el procedimiento que usa el Contratista, para definir dónde y cuándo tomar muestras. Coordine con el IS sobre este asunto para que se asegure de que el procedimiento de muestreo está suficientemente claro.
- Supervise la toma de muestras y verifique que la bitácora de muestreo tenga la información correcta.
- Tome nota del lugar de donde se toman las muestras y del procedimiento que utiliza el laboratorista para realizar este trabajo.
- Revise que todas las muestras sean procesadas y que los datos se incorporan correctamente en los archivos. Coordine al respecto con el IS.
- Mantenga usted un archivo actualizado con todos los datos de los ensayos de laboratorio.
- Mantenga estrecha coordinación con el IS sobre toda la información del laboratorio.

### **3.10 De la calibración de la planta y el equipo de laboratorio**

- Lleve un registro detallado de las calibraciones de la planta (sistemas de pesaje, indicadores de temperatura, manómetros, etc). Debe registrar la siguiente información:
  - Fecha de revisión o calibración
  - Compañía que hizo el trabajo
  - Profesional responsable por ejecutarlo
  - Equipos que revisó y calibró
  - Si tiene problemas para obtener esta información repórtelo al IS

### **3.11 Del mantenimiento y la limpieza de la planta**

- Anote diariamente cualquier desperfecto de la planta que se suscite.
- Reporte y anote cualquier desperfecto que usted detecte.
- Anote el tipo de avería que se presenta, las consecuencias para el proceso de producción, el tiempo que la planta salió de producción como consecuencia de la avería, el efecto de la averías en la calidad de las mezclas, etc.
- Informe de inmediato al IS cada vez que se interrumpe el proceso de producción.
- Verifique si se indica cuándo le corresponde a cada equipo la próxima calibración.

### **3.12 Aspectos ambientales**

Manténgase alerta sobre problemas ambientales como los siguientes:

- Derrame de hidrocarburos (incluido el asfalto)
- Nivel de ruido (diurno y nocturno)
- Emisiones de gas o de polvo

- Descarga de lodos
- Disposición de mezcla no aceptada u otro tipo de residuos.
- Otros

Mantenga estrecha coordinación con el IS sobre todos estos asuntos relacionados con la inspección de la planta.

---

# **ANEXOS**

---

---

**Anexo 1: Formularios  
del Control de  
Plantas Asfálticas**

---



## 2. BITACORA DE MUESTREO

FECHA \_\_\_\_\_

BMP-0000

HORA \_\_\_\_\_

PLANTA \_\_\_\_\_

CONTRATISTA \_\_\_\_\_

UBICACION \_\_\_\_\_

**MUESTREO DE MEZCLA ASFALTICA :** CONTENIDO DE ASFALTO POR \_\_\_\_\_ DENSIDAD MAX. TEORICA PASTILLAS MARSHALL OTROS \_\_\_\_\_**MUESTREO DE AGREGADOS :** BACHE SECO BACHE HUMEDO APILAMIENTO CEMENTO ASFALTICOMUESTRA PARA :  ADMINISTRACION CONTRATISTA TESTIGO

LUGAR Y TECNICA DE MUESTREO \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES : \_\_\_\_\_

**MUESTREADOR**

NOMBRE \_\_\_\_\_

FIRMA \_\_\_\_\_

LABORATORIO \_\_\_\_\_

**INSPECTOR  
DE PLANTA**

NOMBRE \_\_\_\_\_

FIRMA \_\_\_\_\_

### 3. FORMULARIO PARA LA REVISION DEL LABORATORIO DE PLANTA

#### Información sobre los equipos

Indicar cuáles de los equipos se tienen en la planta, así como su estado aparente y cantidades.

	Estado Aparente			Cantidad
	MALO	BUENO	EXCELENTE	
Filtros circulares de papel Tipo: _____				
Calentador o Plantilla				
Termocupla con precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$				Cantidad
Espátulas y cucharas Detalles: _____				
Instrumentos de muestreo (palas, cucharas)				
Ventilador				
Bandejas metálicas (al menos 6)				
Lonas y varillas de cuarteo				
Balanza con precisión de 0.1 g y capacidad de 6 kg				
Envases para muestras Tipo: _____				
Colillas para identificación de muestras Tipo: _____				
Solvente utilizado para limpieza Tipo: _____				
"Spray" anti-adherencia para dispositivos de cuarteo Tipo: _____				

#### Indicar qué tipo de documentos de calibración y revisión se tienen. Con los siguientes, como requisitos mínimos

Certificado de dimensiones de los moldes Marshall, con fecha de medición de no más allá de tres meses. Reportar tal fecha y responsable de la medición	SI:	NO:	Fecha:	Responsable:
Certificado de verificación del horno (mapeo), con evaluación de dispersión interna y precisión, con fecha de medición de no más allá de tres meses.			Fecha:	SI: NO:
Certificado de calibración o verificación de la termocupla. Con fecha de medición de no más de un mes.			Fecha:	SI: NO:
Certificado de calibración o verificación de la balanza. Con fecha de determinación de no más de dos meses.			Fecha:	SI: NO:
Otros certificados y controles de los equipos que existan				

#### INFORMACION SOBRE PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE ENSAYO

Hay bitácora de control de ingreso de muestras?	SI:	NO:
Hay bitácora de ejecución de ensayos?	SI:	NO:
Tiene los protocolos de ensayo por escrito?	SI:	NO:
Tiene boletas de ejecución de ensayos o bitácoras de ejecución de ensayos?	SI:	NO:

## 4. Formulario de remisión de mezcla asfáltica

<b>GUIA DE ENTREGA</b>			Nº <b>5951</b>	FECHA: _____
PLANTA _____	CONTRATISTA _____			
DESTINO _____	RUTA _____	ZONA _____		
<b>DESPACHO DE MEZCLA ASFALTICA</b>				
TRANSPORTISTA : _____	CANTIDAD	<input type="text"/>	ton.	
PLACA _____	HORA DE SALIDA	<input type="text"/>		
	TEMPERATURA SALIDA	<input type="text"/>	° C	
VAGONETA MUESTREADA	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	MUESTREADOR _____	
INSPECTOR DE PLANTA:	NOMBRE: _____	FIRMA: _____		
<b>RECEPCION DE MEZCLA EN SITIO</b>				
ARRIBO DE MATERIAL:	HORA	<input type="text"/>	TEMPERATURA	<input type="text"/> ° C
COLOCACION DE MATERIAL:	HORA	<input type="text"/>	TEMPERATURA	<input type="text"/> ° C
TRAMO DE COLOCACION: _____				
USO DE MATERIAL:	<input type="checkbox"/> SOBRE-CAPA	<input type="checkbox"/> TACK COAT	<input type="checkbox"/> OTROS	
	<input type="checkbox"/> BACHEO	<input type="checkbox"/> CAPA DELGADA DE SELLO		
INSPECTOR EN SITIO:	NOMBRE: _____	FIRMA: _____		

Original: Pago

## 5. Colilla de muestreo

Collila de muestero		Fecha: ____/____/____	
Reg. Bitácora: _____		Muestreador: _____	
Tipo de material: _____		Temperatura: _____ C	
Punto de muestreo: _____		Proyecto: _____	
Contratista: _____		Planta: _____	
Destino: _____			
_____			
_____			
FORMULA	TIPO	FUENTE	% DE DOSIFICACION
Agreg. No. 1	_____	_____	_____
Agreg. No. 2	_____	_____	_____
Agreg. No. 3	_____	_____	_____
ASFALTO	_____	_____	_____

## 6. Formulario de SUPERVISION DE MUESTREO DE MEZCLA ASFALTICA

PLANTA: \_\_\_\_\_ INSPECTOR: \_\_\_\_\_

LUGAR EXACTO DE MUESTREO: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_ HORA: \_\_\_\_\_

SUPERVISOR: \_\_\_\_\_

### I- Tamaño de muestra :

- Tres muestras de 10.0 kg.
- Otras (especifique) \_\_\_\_\_

Durante la supervisión de los muestreos deben tomarse dos muestras adicionales de 10.0 kg (muestreo espejo), las cuales tendrán otro número de muestra.

### II- Formulario de evaluación:

#### 1) Equipo básico para muestreo.

Item	Revisión	
	Satisfactorio	No satisfactorio
Recipientes limpios y secos		
Disponibilidad de termocupla.		
Estado de termocupla.		
Disponibilidad de boletas de muestreo.		
Conocimiento de la fórmula de trabajo.		
Dominio del plan de muestreo LANAMME		

#### 2) Realización del muestreo.

Item	Revisión	
	Satisfactorio	No satisfactorio
Divide la superficie de la vagoneta en seis segmentos de igual área		
Seleccióna tres segmentos de manera aleatoria		
En cada punto seleccionado, elimina al menos 10 cm de mezcla asfáltica		
Toma un tercio de la muestra en cada segmento seleccionado.		
Evita perder material.		
Evita lanzarlo desde más de 50 cm de altura.		
Llena boletas de muestreo, indicando todos los detalles de la mezcla: temperatura, fórmula de trabajo, destino, etc.		
Identifica las muestras de acuerdo con la numeración de la bitácora de muestreo.		
Cierra las cajas con cinta adhesiva.		

Item	Revisión	
	Satisfactorio	No satisfactorio
Almacena las muestras en un sitio limpio, seco y libre de contaminación.		

### 3) Evaluación de la labor del inspector.

Item	Revisión	
	Satisfactorio	No satisfactorio
Periodicidad del muestreo		
Cuidados al ejecutar el muestreo		
Seguimiento de la fórmula de trabajo.		
Control de temperaturas de la producción.		
Reportes semanales de producción y control de bitácoras de muestro.		
Conocimiento del autocontrol del contratista		
Información oportuna de irregularidades en planta al LANAMME		

### III - LIMITACIONES EN PLANTA PARA TOMA DE MUESTRAS

---



---



---



---



---



---

### IV - COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

---



---



---



---



---



---



---



---

\_\_\_\_\_  
Firma del Supervisor

\_\_\_\_\_  
Firma del Inspector

## 7. Informe Diario de Plantas

### INFORME DIARIO

NOMBRE DE LA PLANTA: \_\_\_\_\_ UBICACIÓN: \_\_\_\_\_  
 NOMBRE DEL INSPECTOR: \_\_\_\_\_ CEDULA: \_\_\_\_\_  
 HORA DE INICIO DE OPERACION DE PLANTA: \_\_\_\_\_ HORA DE FINALIZACION DE OPERACION DE PLANTA: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

**CONTROL SOBRE LA PRODUCCION MEZCLA ASFALTICA** TOTAL DE PRODUCCION \_\_\_\_\_ TON

#### 1. CONTROL DIARIO DE LOS MATERIALES

TIPO DE APILAMIENTO, TIPO DE ASFALTO	PROCEDENCIA EXACTA	% DOSIFICACION
1		
2		
3		
4		
CEMENTO ASFALTICO - AC		

#### 2. CONTROL DIARIO DE LA GRANULOMETRIA DE LAS FUENTES DE AGREGADOS

TAMAÑO AGREGADO	PORCENTAJE PASANDO								
	19 mm	12.7 mm	9.5 mm	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 200
Tolerancia	100								

#### 3. CONTROL DIARIO DE LA HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

TIPO DE APILAMIENTO	HORA	1	2	3	4	5	6	7		
		% w								
		% w								

#### 4. CONTROL DIARIO SOBRE LOS APILAMIENTOS

TIPO APILAMIENTO	ALTURA (m)	FORMA	SEGREGACION	PROTECCION	CONTAMINACION
		<input type="checkbox"/> CONICA <input type="checkbox"/> CAMELLON	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
		<input type="checkbox"/> CONICA <input type="checkbox"/> CAMELLON	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
		<input type="checkbox"/> CONICA <input type="checkbox"/> CAMELLON	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO

NOTA: si el apilamiento está segregado y/o contaminado, no puede aceptarse mezcla producida en esta (s) condición (es).

#### 5. CONTROL DIARIO SOBRE EL CEMENTO ASFALTICO

TIPO DE ASFALTO	LECTURA INICIAL EN EL TANQUE	LECTURA FINAL EN EL TANQUE	ORIGEN	No DE LOTE
FECHA DE ARRIVO A LA PLANTA	TEMPERATURAS RECOMENDADAS DE MEZCLADO DE LA MEZCLA ASFALTICA		TEMPERATURA MAXIMA MEZCLADO	TEMPERATURA MINIMA MEZCLADO
	°C	°C	°C	°C

#### 6. CONTROL DIARIO DE LOS MUESTREOS

Muestra No	Código	Material	Muestreado por	Lab. Destino	Proyecto-Destino
1					
2					
3					
4					

Notas: 1. Todos los muestreos (sin excepción), deben realizarse por triplicado, independientemente del laboratorio destino  
 2. Los muestreos del Contratista deben realizarse en correspondencia con el Plan de Muestreo Aleatorio.

#### 7. PROBLEMAS DETECTADOS EN LA MEZCLA POR INSPECCION VISUAL

HORA	DETALLE	ACCIONES TOMADAS

Comente sobre segregación observada, problemas de temperatura, recubrimiento, exceso de asfalto, exceso de finos, etc.

INICIO DE INSPECCION:

FIN DE INSPECCION:

#### 8. PROBLEMAS OPERACIONALES DE PLANTA

HORA	DETALLE	ACCIONES TOMADAS

FIRMA DEL INSPECTOR

---

**Anexo 2:**  
**Generalidades del**  
**Control de Plantas**  
**Asfálticas**

---

## 1. Fuente de materiales

Los agregados que son destinados a la producción de mezcla asfáltica, sea cual sea su procedencia, deben pasar por un riguroso proceso de experimentación, que incluye los siguientes ensayos de laboratorio:

**Tabla 1.1. Características y pruebas en los agregados para mezclas asfálticas en caliente, según la NAPA.**

<b>Características</b>	<b>Significado</b>	<b>Prueba</b>
Dureza	Resistencia a la abrasión y degradación; calidad de las partículas	ASTM C 131 ASTM C 535
Sanidad	Resistencia al congelamiento y al deshielo; húmedo y seco	ASTM C 88 AASHTO T 103
Forma de las partículas y textura de la superficie	Fricción interna de la estructura mineral, resistencia al deslizamiento; compactación; estabilidad de la mezcla	ASTM D 3398 ASTM D 4791 ASTM C 1252
Resistencia al pulido	Resistencia al deslizamiento y al desgaste superficial	ASTM D 3319 ASTM E 303 ASTM E 660 ASTM D 3042
Durabilidad	Resistencia al efecto de la erosión y al intemperismo.	ASTM D 3744

Resistencia al desnudamiento	Resistencia al efecto del agua. Desprendimiento de partículas, fisuras, pérdida de capacidad estructura (módulo resiliente).	ASTM D 1664 NCHRP 246; 274 AASHTO T 283 ASTM D 1075 AASHTO T 182
Gravedad específica y absorción de agua	Cálculos para diseño de mezcla; durabilidad, uniformidad de los agregados.	ASTM C 127 ASTM C 128
Graduación y tamaño	Resistencia de la mezcla, estabilidad, trabajabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia a la fractura, durabilidad, permeabilidad, vacíos, compactabilidad y resistencia a la deformación permanente (roderas).	ASTM D 2041 ASTM D 4469
Composición mineral	Mojabilidad, porosidad, sensibilidad al efecto del agua, durabilidad a largo plazo.	ASTM C 117 ASTM C 136 y C 702 AASHTO T 30
		ASTM C 294 ASTM C 295
Limpieza y sustancias contaminantes	Resistencia a la erosión y efectos del agua.	ASTM C 117 y D 422 ASTM C 123 ASTM C 142 ASTM D 2419 ASTM D 4318

Fuente: Hot Mix Asphalt Materilas, Mixture Design and Construction, NAPA, pag 137

- Tipo de roca, caracterizándola geológica, fisico-mecánica y petrográficamente.
- Espesores.

- Buzamiento.

En caso de utilizarse material proveniente de un río, es necesario realizar esta misma caracterización periódicamente. Además se debe incluir una granulometría del río.

## **2. Quebrador**

Las características físicas de un agregado, como la resistencia a la abrasión, son determinadas en primera instancia por las propiedades de la roca de la cual procede. Sin embargo, el proceso de explotación en el quebrador puede afectar significativamente la calidad del agregado, por la eliminación de capas de roca débil y por el efecto de quebrado en la forma de la partícula y graduación del agregado.

Casi todas las canteras tienen una capa de material que debe ser eliminado de la roca sana original. La sobrecarga consiste típicamente de suelo y roca descompuesta. La línea de demarcación entre la roca sana y la alterada, a veces es difícil de establecer.

### **2.1 Operaciones en la cantera**

El propósito básico de una operación de cantera es remover la roca sana existente por voladuras y posteriormente utilizar una serie de quebradores, pulverizadores, y unidades de tamizaje para separar los materiales en un suficiente número de componentes para producir los materiales de construcción deseados para la mezcla asfáltica. También es preferible que la producción de agregado quebrado es esencialmente de forma cúbica evitando la producción de partículas planas o elongadas.

En el proceso primario se emplea un quebrador de mandíbula y en el secundario, un quebrador cónico. Las unidades de quebrado se seleccionan en función de los siguientes propósitos:

1. Producir el tamaño y la forma de agregado deseado, a partir del material.
2. Tener suficiente capacidad para manejar las demandas máximas de agregados.
3. Minimizar los atascamientos y los taponamientos.
4. Manejo seguro del material que no se quiebra, como acero.
5. Requiere un personal mínimo
6. Satisface los requerimientos de agregado sin la necesidad de etapas de quebrado adicional y equipo auxiliar.
7. Proveer menor demanda de energía por tonelada producida.
8. Resiste el deterioro de la abrasión.

La sobrecapa de suelo debe eliminarse y lavarse, antes de iniciar la operación de extracción de la roca de la cantera. Luego de la extracción de la roca, se debe prestar atención en las rocas más degradadas en grietas o en otras ubicaciones, debido a que esta se rompe en tamaños más pequeños que deben eliminarse antes del triturado mediante un tamizado. El resto de material pasa al quebrador primario en donde se quiebra en un tamaño manejable para los quebradores posteriores. Es necesario un sistema de cribado para separar el material en los diferentes tamaños requeridos y para separar las partículas de mayor tamaño a que se deben reintegrar al quebrador.

En el proceso de quebrado es muy importante que las propiedades finales del producto sean uniformes. Se requiere que la roca madre de donde se alimenta el quebrador sea uniforme en sus propiedades físicas como absorción y gravedad específica. Si la roca proviene de diferentes lugares, las propiedades pueden variar produciendo problemas en mantener una relación de vacíos consistente en

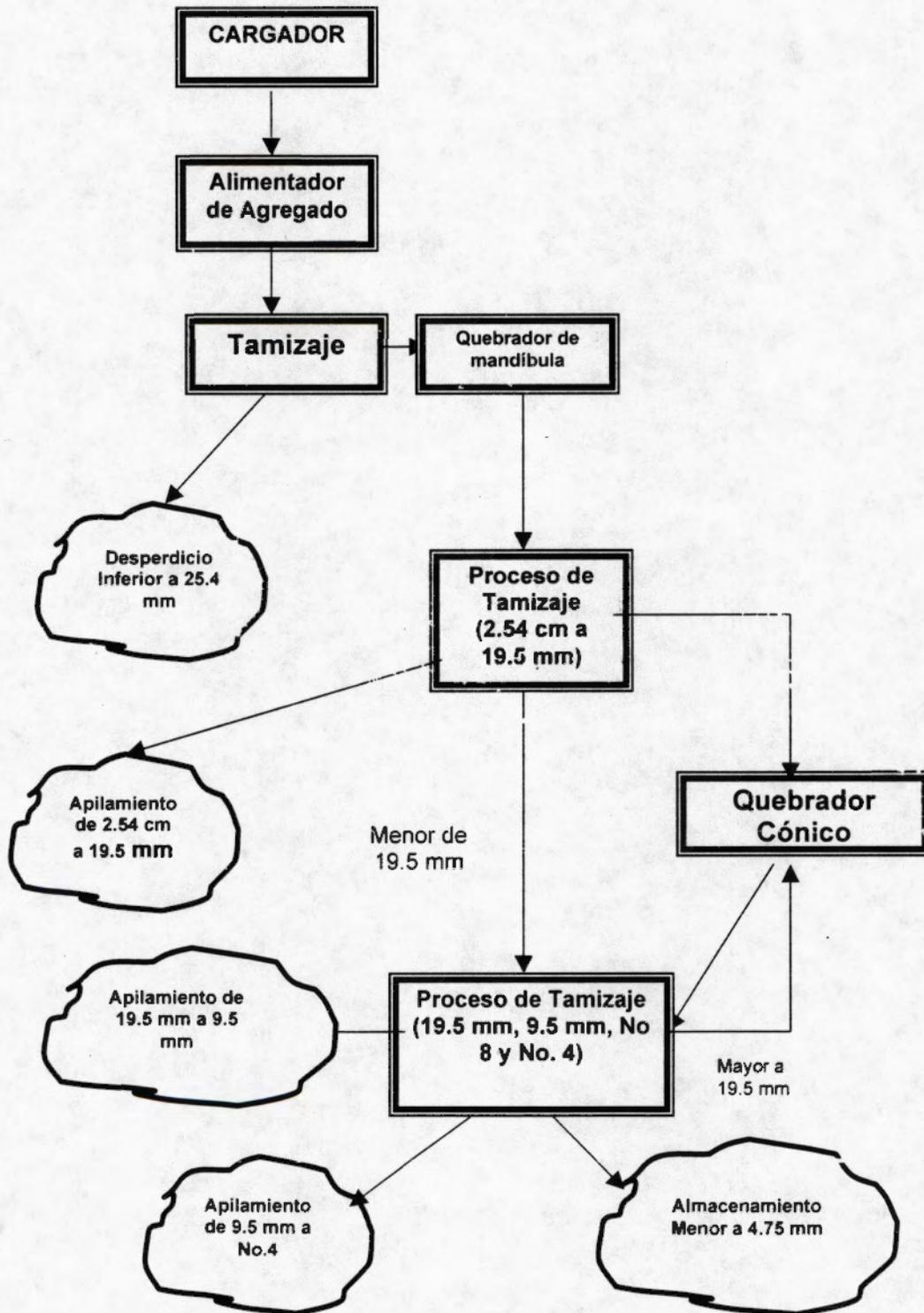
la mezcla. La cantidad de material que alimenta al quebrador debe mantenerse constante, un sobreflujo de material resulta en un producto final con una graduación más fina.

El proceso de reducción de la roca involucra cuatro mecanismos:

- Impacto
- Fricción
- Cortante
- Compresión

El impacto se desarrolla debido al golpe de un objeto puntiagudo mediante la fuerza gravitacional o impacto dinámico. La fricción genera la reducción de la roca mediante el contacto con dos superficies más duras. El cortante ocurre como resultado de una acción de partir o recortar. Usualmente el cortante se relaciona con otro mecanismo, como el impacto o la compresión. La compresión se refiere a la reducción mediante fuerzas compresivas entre dos superficies. Los rompedores de mandíbula emplean fuerzas de compresión y son el sistema más eficiente para reducir partículas de grandes dimensiones de roca muy dura y abrasiva.

Figura 2.1: Proceso Simplificado de Quebrado y tamizado para tamaño máximo de 25.4 mm



Se debe realizar un control en la producción para:

- Establecer los ensayos y su frecuencia
- Certificado de calidad de la producción
- Pesaje

### **3. Apilamientos en planta**

- Número de apilamientos
- Forma de los apilamientos
- Volumen de cada apilamiento

Los apilamientos de forma cónica tienden a segregar las partículas y los de gran tamaño suelen dar como resultado granulometrías más dispersas.

Los materiales se apilan por separado según sus diferentes tamaños, antes de incorporarlos a una planta de asfalto. Esto reduce la probabilidad de segregación, porque el material de cada pila tiene tamaño más uniforme.

Las técnicas mostradas en los siguientes cuadros permiten la uniformidad del material y reducen significativamente la segregación de los apilamientos de material.

Cuando se construyen los apilamientos, el material debe tener un control permitido en cuanto a:

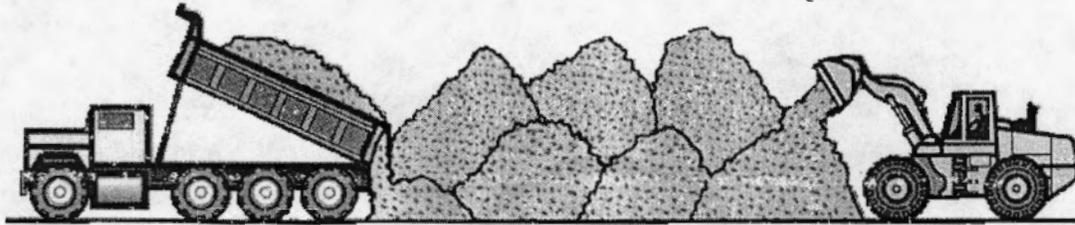
- Granulometría
- Gravedad específica (Gbs)
- Absorción
- Humedad

**Figura 3.1: Forma correcta para construir apilamientos**

**Forme varios apilamientos pequeños**

Descargue el agregado en cantidades no mayores que la que lleva un camión

Forme apilamientos que permanezcan en su lugar, según se muestra en esta figura.

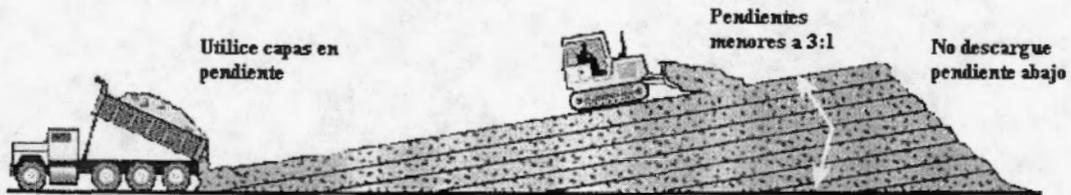


**Forme apilamientos en capas**

Utilice capas horizontales



Tractor y banda transportadora



Utilice capas en pendiente

Pendientes menores a 3:1

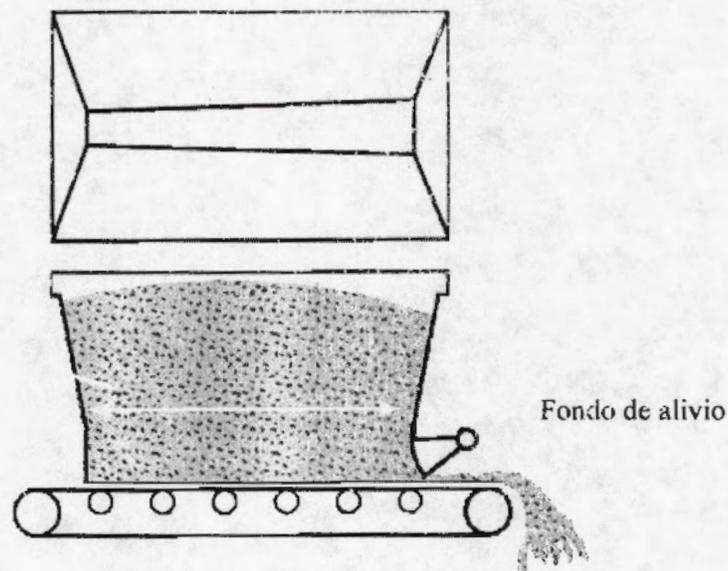
No descargue pendiente abajo

Fuente: Segregación, causas y soluciones, pág 6, ASTEC

## 4. Tolvas

Cuando se producen obstrucciones en las tolvas, resulta en una alimentación no uniforme y se pueden generar problemas de segregación. Es importante utilizar un fondo con alivio que propicie una alimentación más uniforme del material por la abertura de la tolva de alimentación.

Figura 4.1: Tolva con fondo de alivio



Fuente: Segregación, causas y soluciones, pág 7, ASTEC

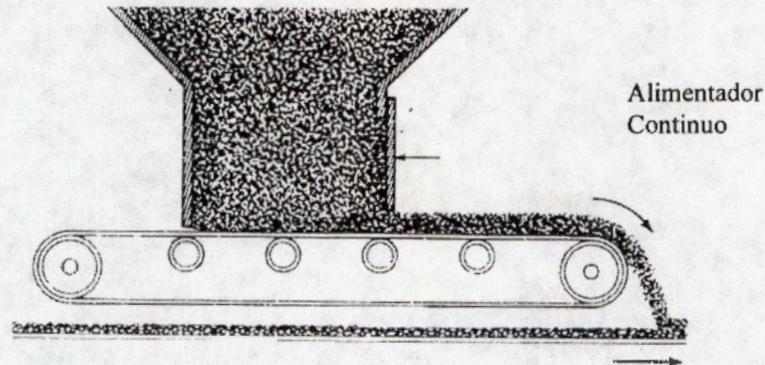
### 4.1 Tipos de alimentadores y controles

Los alimentadores de agregado se ubican en las cercanías de los apilamientos. Su función es garantizar un flujo de agregado uniforme. Las unidades alimentadoras tienen controles que pueden ser manipulados para producir un flujo

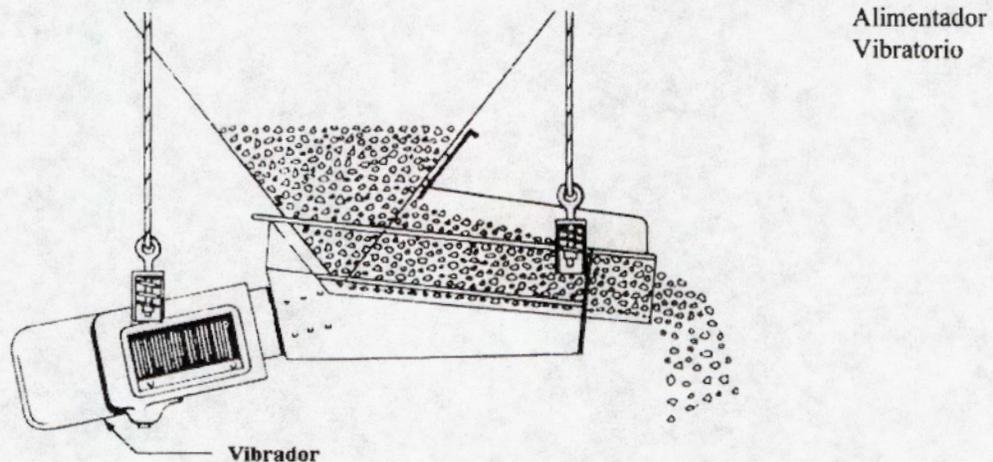
uniforme a la banda transportadora. Hay muchos tipos de alimentadores, incluyendo los continuos, los vibratorios y los de delantal.

Para una uniforme salida de la mezcla, la entrada de los materiales debe ser cuidadosamente determinada. La importancia del alimentador es suplir las cantidades exactas de agregado de acuerdo con el diseño de mezcla vigente.

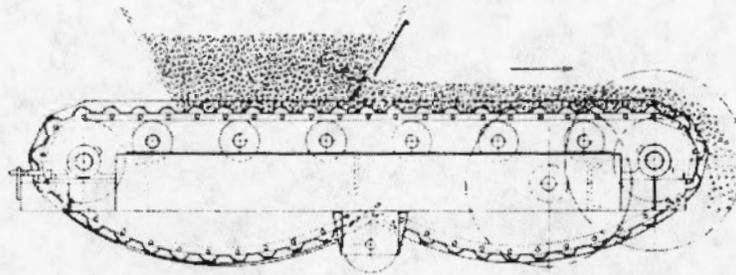
**Figura 4.2: Tipos de alimentadores**



Fuente: The Asphalt Handbook, Asphalt Institute, pág 182



Fuente: The Asphalt Handbook, Asphalt Institute, pág 182



Alimentador  
de Delantal

Fuente: The Asphalt Handbook, Asphalt Institute, pág 183

En esta etapa del proceso debe mantenerse un control en los siguientes parámetros:

- Granulometría
- Porcentaje de Humedad
- Uniformidad de salida de la tolva
- Llenado de las tolvas

El llenado de las tolvas debe ser permanente para reducir problemas de falta de uniformidad en el flujo de descarga y reducir cualquier posibilidad de segregación por esto.

## 5. Almacenamiento del asfalto

El almacenamiento del asfalto en las instalaciones debe ser lo suficiente para mantener uniforme la operación de producción durante el funcionamiento de la planta.

El almacenamiento del asfalto debe contar con un dispositivo para que la cantidad de material remanente en el tanque pueda ser determinada en cualquier momento. Los tanques deben estar equipados con un termómetro que posea un dispositivo de registro cuya capacidad sea al menos de 24 horas, ya sea en un gráfico directamente o una computadora.

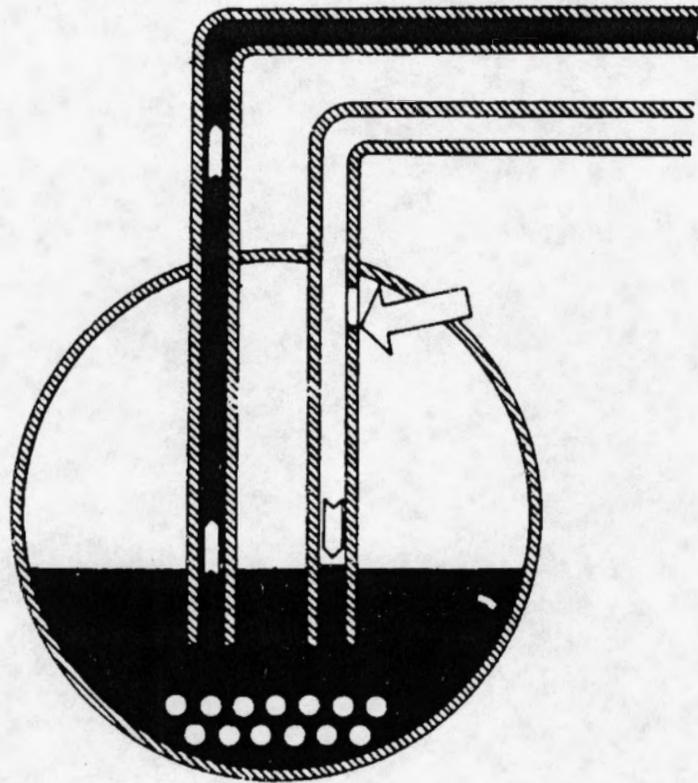
### **5.1 Calentamiento del asfalto y circulación**

El asfalto debe estar lo suficientemente fluido para moverse a través de las líneas de alimentación y de retorno. En ese momento debe ser calentado. El calentamiento debe ser generado por circulación de corriente o aceite caliente en el tanque.

Todos los tanques de almacenamiento, líneas de transferencia, bombas y dispositivos de peso deben tener espirales de calentamiento para mantener el asfalto a la temperatura adecuada.

Las líneas que descargan en el tanque de almacenamiento deben ser sumergidas abajo del nivel del asfalto todo el tiempo, para prevenir la oxidación del ligante.

Figura 5.1: Sistema de carga/descarga del asfalto



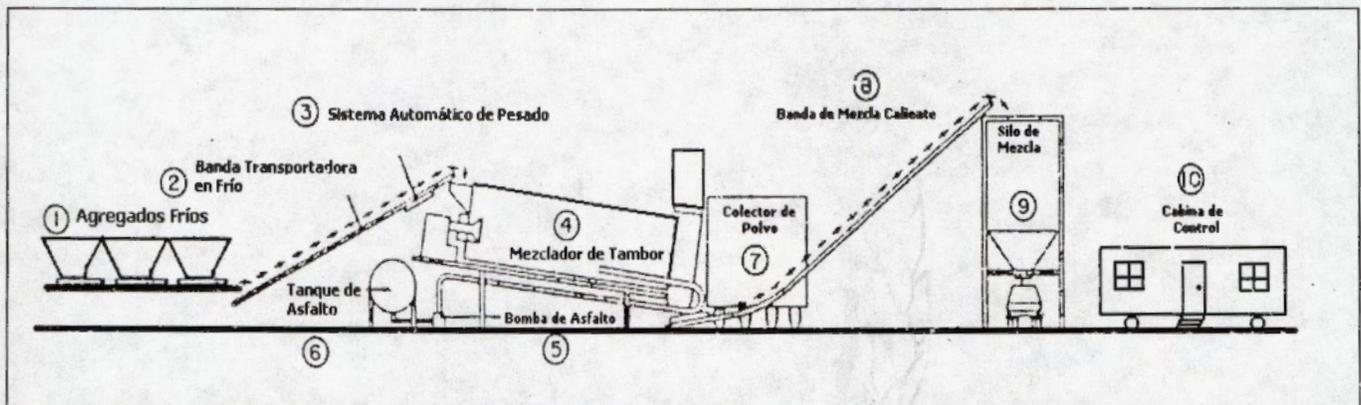
Fuente: The Asphalt Handbook, pág 190

## 6. Plantas Continuas

La figura 6.1 muestra las instalaciones de una planta asfáltica continua. De acuerdo con lo mostrado, los agregados son llevados desde los apilamientos hacia las tolvas. El número de tolvas depende del número de agregados utilizados en el diseño de mezcla. La mayoría de las plantas usualmente utilizan entre 4 y 5 tolvas. En algunas plantas, las tolvas tienen un vibrador, el cual permite un flujo de agregado constante a la salida de la tolva, la cual está ubicada en la parte inferior. En esta salida también hay una compuerta, a la cual se le puede ajustar su abertura, y así poder dejar pasar la cantidad adecuada de agregado. Este agregado es llevado hasta el secador por medio de una banda transportadora, a la cual se le puede variar su velocidad, lo cual también ayuda a regular la cantidad

de agregado que sale de cada tolva y así poder cumplir con la graduación que especifica la fórmula de trabajo. Esta banda transportadora posee un sistema de pesado automático, el cual envía información al cuarto de control y determina la cantidad de material y humedad que va ingresando en el mezclador de tambor. La corrección del peso debido a la presencia de humedad se lleva a cabo determinando el contenido de humedad en el apilamiento o en el agregado que va en el transportador y ese dato se alimenta en la computadora del cuarto de control y así obtener datos del peso del agregado preciso.

**Figura 6.1: Planta asfáltica continua**



Fuente: Hot Mix Asphalt Materials, Design and Construction, NAPA, pág 314

### 6.1 Tambor mezclador

El agregado entra en el tambor y empieza a moverse hacia abajo, por la inclinación del tambor, debido por la acción de la gravedad. Sin considerar la variable humedad, el tiempo en que los agregados están en el tambor depende de su longitud, del ángulo de inclinación, de la velocidad de rotación y del tamaño del agregado.

Habitualmente los tambores utilizan la relación 4:1 en cuanto a su longitud y ancho. El diámetro del tambor es el primer elemento de diseño que afecta la velocidad de la producción. En la siguiente tabla se muestra como afecta el diámetro del tambor la producción:

**Tabla 6.1: Tasa de producción de mezcla asfáltica para distintos porcentajes de humedad**

Tipo de Tambor Mezclador	Diámetro del Tambor (m)	Volumen máximo (metros cúbicos por minuto)	Tasa de Producción para Varios Porcentajes de Humedad, Toneladas por Hora (*)					
			3	4	5	6	8	10
Flujo Paralelo	6	794	286	233	196	169	131	106
	7	1092	390	318	267	230	178	145
	8	1419	511	416	350	301	234	190
	9	1802	648	528	444	382	297	240
	10	2227	802	654	550	473	367	298
Contraflujo	6	794	322	262	221	190	148	119
	7	1092	439	358	301	259	200	163
	8	1419	575	468	394	339	263	214
	9	1802	730	595	500	430	334	270
	10	2227	903	736	619	533	413	336

Fuente: Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, NAPA, pag 319

(\*) 1 tonelada = 1364 kg

(\*\*) Cuando los agregados son porosos y se encuentran en un alto nivel de saturación (alto contenido de humedad), la producción horario se ve afectada por el proceso adicional de secado que requieren los agregados.

Las paletas de mezclado son de metal y están diseñadas para el control del movimiento de los agregados cuando pasan por el tambor. El **primer grupo** de paletas es configurado a un ángulo de paso relativo a la longitud del tambor para poner los agregados abajo en el tambor y lejos de la llama. Si los agregados penetran la llama cerca del punto de entrada, puede ocurrir el fenómeno de llama intermitente, lo cual causa la combustión ineficiente y por consiguiente algo del combustible quedará sin quemar y será absorbido por los agregados. Capas delgadas de combustible no quemado, pueden ocasionar la reducción de la adhesividad entre los agregados y el cemento asfáltico.

El **segundo grupo** de paletas levanta los agregados y los hace pasar a través de la cabeza de gases calientes, debido al movimiento de rotación del tambor. En este punto del proceso, se inicia el secado de los agregados.

Las **paletas de mezclado** están localizados justamente después de la mitad del tambor. Están diseñados para levantar el agregado con el cemento asfáltico, mezclándolos por la acción de giro.

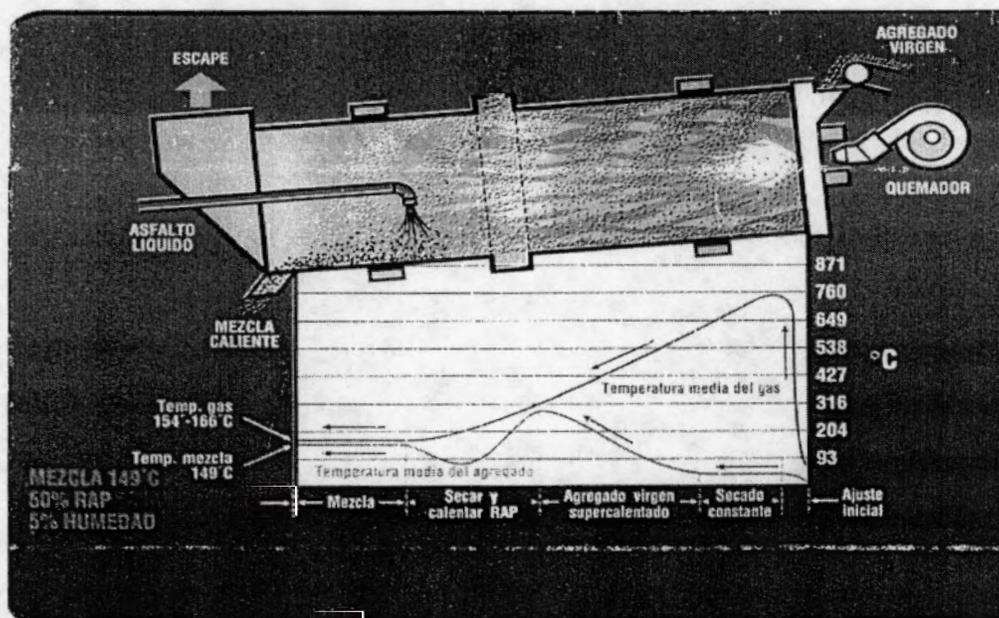
## 6.1.1 Tipos de tambor mezclador

El tipo de tambor mezclador está definido por la forma en que se acercan los agregados al quemador. Según esto, existen los dos tipos básicos de tambor mezclador, que se describen a continuación:

### 6.1.1.1 Tambor mezclador de flujo paralelo

En este tipo de tambor, la entrada de los agregados se hace directamente en el punto en donde se ubica el quemador, como se muestra en la figura 6.2. En este diagrama, se incluye el diagrama de temperaturas típico de un tambor de esta clase.

Figura 6.2: Tambor mezclador de flujo paralelo

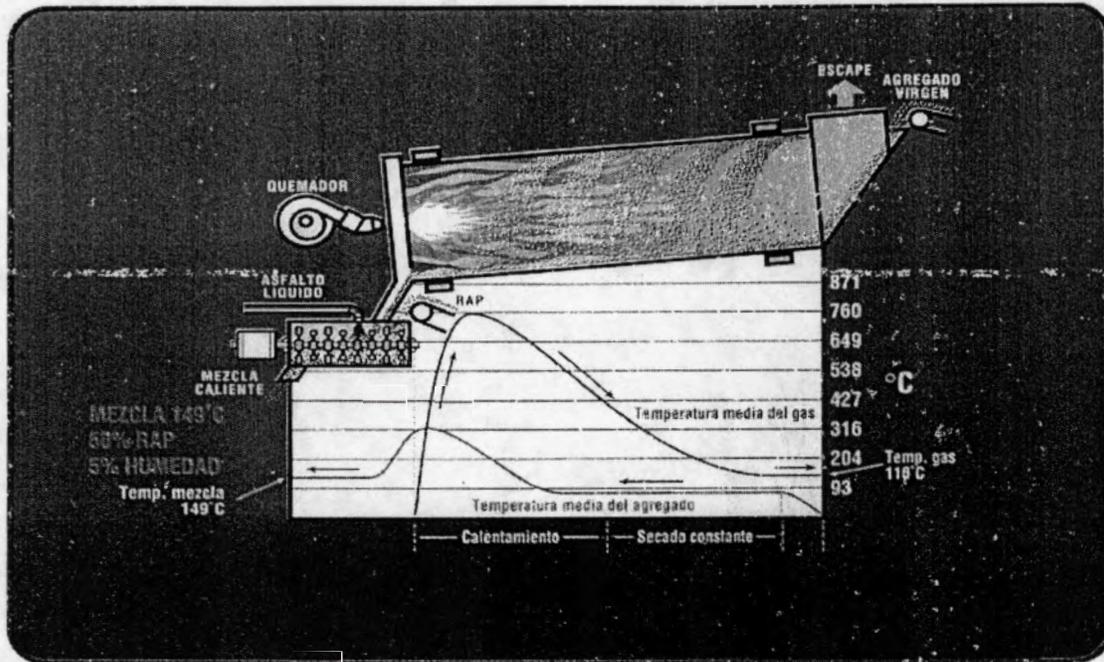


Fuente: Folleto Contenido de Asfalto, ASTEC

### 6.1.1.2 Tambor mezclador de contraflujo

En este tipo de tambor mezclador los agregados entran por un extremo al mismo, en el punto opuesto a la ubicación del quemador, como se indica en la figura 6.3:

Figura 6.3: Tambor mezclador de contraflujo



Fuente: Folleto Contenido de Asfalto, ASTEC

## 6.2. Quemadores

Es importante entender como opera el proceso de combustión porque es un factor muy importante desde el punto de vista de costo y eficiencia. El combustible es quemado para proveer la energía calórica para evaporar el agua de los agregados y lleva la mezcla a la temperatura de mezclado.

En los quemadores de aire forzado, el 100% del aire es atrapado adentro del quemador. El aire es forzado a través de un área restringida, hasta un punto en el cual se suministra el combustible.

Otro tipo de quemador utilizado es el reclutador de aire. Este, tiene un dispositivo que se encuentra en el lado final del quemador y toma de ahí el 79% del aire que se utilizará para la combustión.

El tipo de quemador que se utiliza en la producción de mezcla asfáltica en caliente incluye ambos tipos de quemadores, para formar así un híbrido. En la mayoría de los casos, el 70% del aire es inducido y el 30% es forzado.

Para minimizar el costo de la producción de cada tonelada de mezcla asfáltica, el operador debe concentrarse en los factores que afectan los costos de energía. Estos factores incluyen la humedad del agregado y escapes en la corriente de aire en cualquier lugar entre el sistema de retorno de finos y el quemador.

### 6.3 Proceso de secado y calentamiento

En la figura 6.4, se indica cual es el proceso básico de entrada del aire en un quemador.

Figura 6.4: Alimentación de aire en el quemador

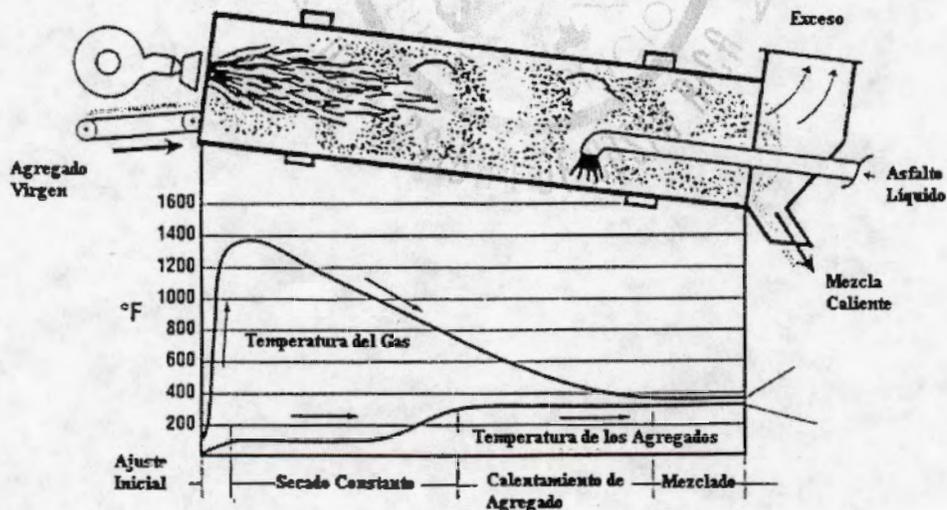


Según el tipo de alma del quemador la temperatura excede los 1371 °C y como el aire inducido empieza a fluir alrededor de la flama su temperatura se incrementa rápidamente hasta cerca de los 760 °C. A esta temperatura se secan los agregados.

El perfil de temperatura del agregado tiene tres componentes. La primera zona, el ajuste inicial, el agregado es calentado hasta cerca de los 38 °C, pero a un punto en el cual empieza a evaporar el agua de la parte superior de los agregados. La segunda zona, **secado constante**, es la zona en la cual ocurre mayor evaporación del agua, y en la cual el agregado es calentado entre 82 y 93 °C.

La tercera zona, el agregado se calienta a temperaturas más altas, es la zona en donde se lleva al agregado a la temperatura de mezclado. Cerca del final de la tercera zona es en donde se bombea el asfalto y se mezcla con el agregado caliente.

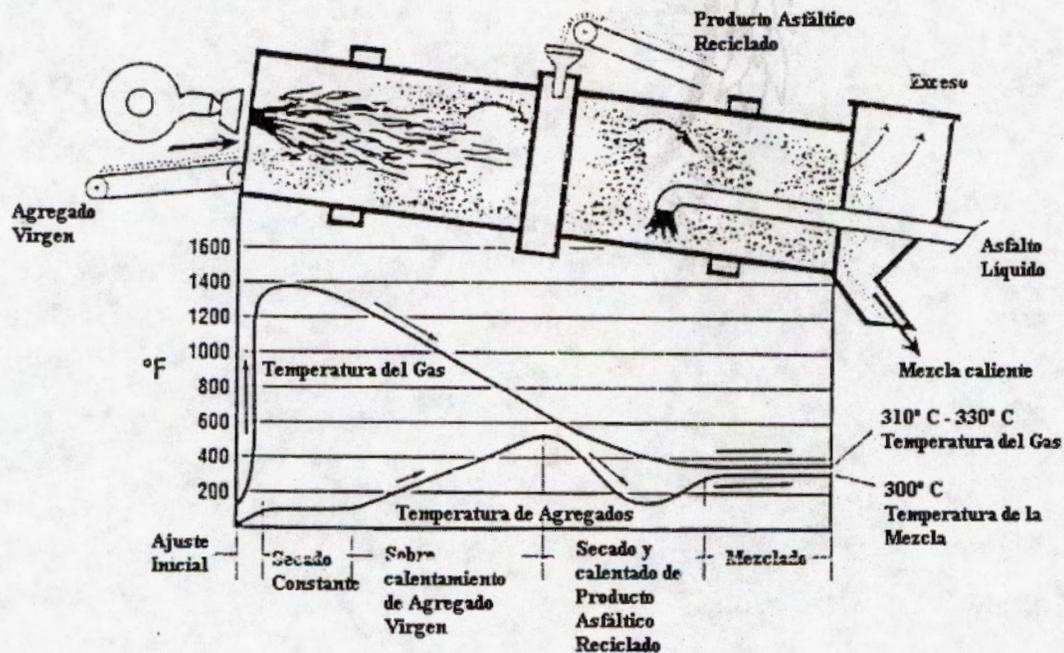
Figura 6.5: Diagrama de temperaturas en quemador



El perfil de temperatura de la columna de aire aumenta rápidamente desde cerca de los 760 °C y entonces decrece hasta la temperatura en la cual se transfiere el calor en el tambor. En la zona de mezclado, las temperaturas del agregado y de la columna de gases difiere entre 6 a 17 °C. Una eficiente operación de la mezcla asfáltica en caliente debe generar una diferencia máxima entre la temperatura de descarga de la mezcla y la de la columna de gases menor o igual a los 25 °C.

Si la planta tiene sistema de reciclado, el perfil de temperatura es bastante diferente con la zona de secado constante, mucho más pequeña. El agregado virgen es mantenido en la zona caliente del tambor y es supercalentado a una temperatura de cerca de 260 °C. Paletas de mezclado son ubicadas en la parte central para incrementar el tiempo de mezclado del agregado en la primera mitad del tambor. El agregado supercalentado es utilizado para calentar el 50% del RAP y desarrolla un perfil de temperatura como el que se indica a continuación.

Figura 6.6: Diagrama de temperaturas en quemador en sistema RAP



La transferencia del calor dentro del tambor ocurre mediante tres procesos distintos:

- Convección
- Conducción
- Radiación

#### **6.4. Inyección del cemento asfáltico**

El ligante asfáltico es introducido en la parte de atrás del tambor. El diámetro de la tubería de la bomba ronda entre los 5 y los 10 cm. El asfalto es bombeado dentro del tambor en su parte inferior y no mediante un spray de boquilla.

#### **6.5 Sistema alimentador de finos**

El filler mineral es manejado por la planta de mezcla asfáltica en caliente por un silo vertical. El filler fluye hacia fuera del silo por gravedad dentro de un alimentador en la parte inferior del mismo.

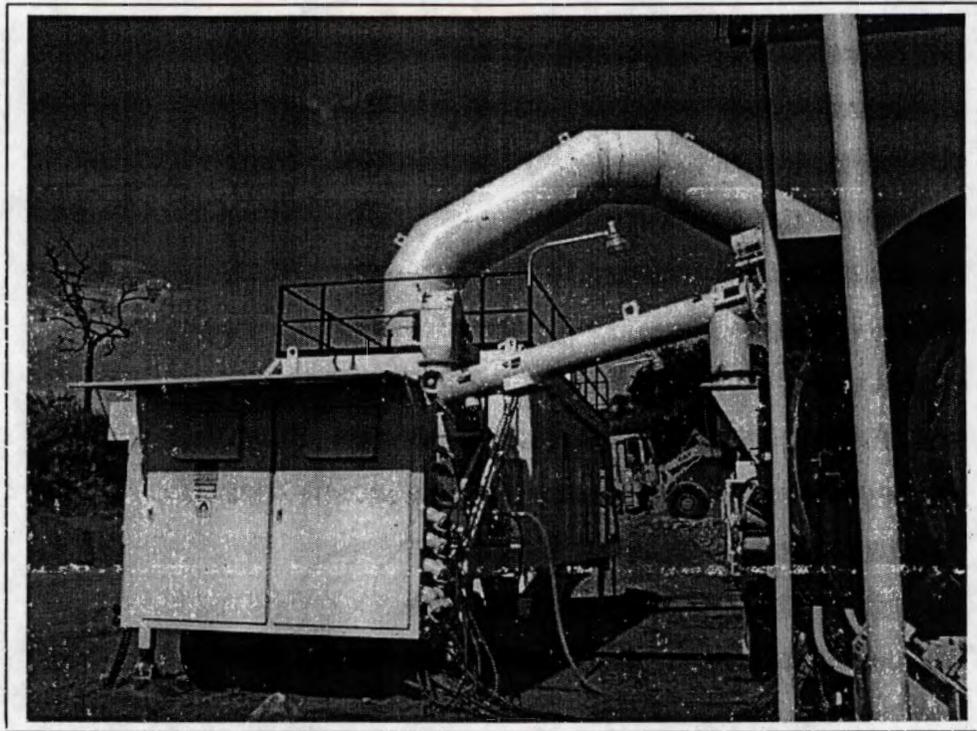
Existen los siguientes tipos de filler:

- natural
- de aportación (procedente de trituración de agregados)
- cemento
- cal

El filler mineral puede ser descargado en la parte superior o inferior del punto de descarga del cemento asfáltico.

En adición a los fillers comerciales, los finos del sistema de retorno pueden ser re-alimentados con sistemas de control de polución. El sistema de retorno se llena con filtros a través de los cuales se da el flujo de los materiales. El material recolectado por la cámara de finos es aceptable para el retorno al tambor de mezclado.

Fotografía 6.1: Sistema de retorno de finos



Fuente: Planta de constructora de carreteras costarricense

yyyyy

## 7. Plantas de bache

En la figura 7.1, se muestran los componentes de una planta asfáltica tipo bache.

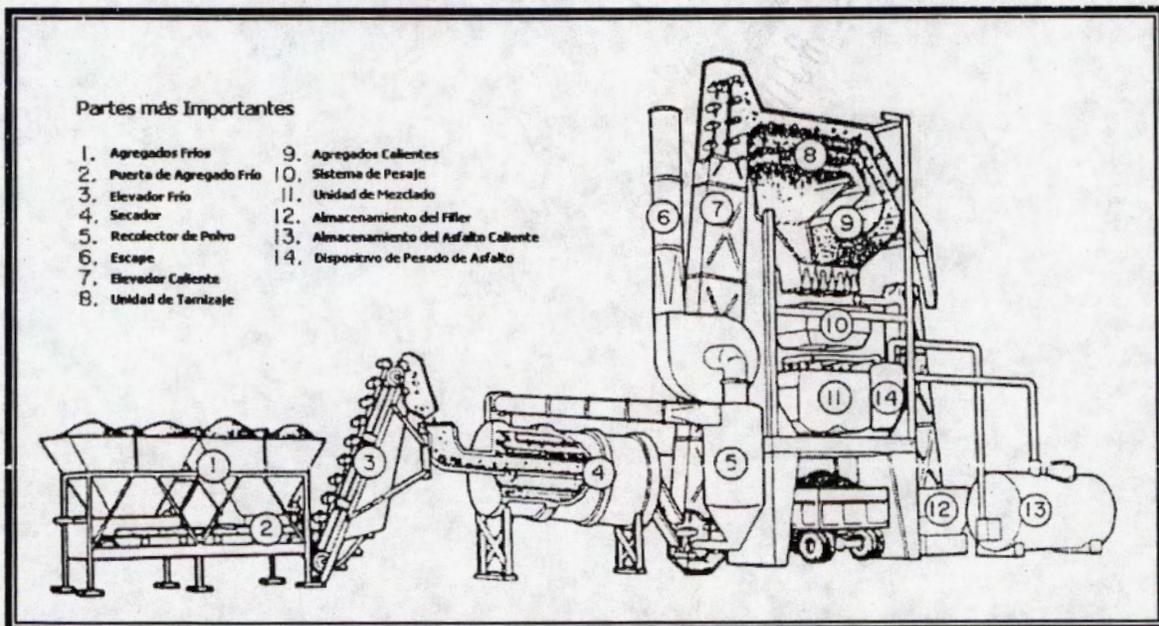
En este tipo de plantas, las tolvas de agregados fríos, con su sistema de compuertas de abertura ajustable, así como el sistema de transporte de los agregados (bandas y elevadores), son similares a los de las plantas asfálticas continuas.yyy

La primera diferencia se presenta en que las plantas continuas tienen un sistema automático de pesado, ubicado en el transportador de agregados fríos provenientes de las tolvas. El material es alimentado por el transportador dentro del secador.

El diseño del secador de una planta asfáltica de bache es de **tipo contraflujo**, es decir, los agregados se mueven dentro del tambor secador en sentido contrario al de los gases de escape (se mueven hacia la llama). El secador tiene un quemador que provee la energía calórica necesaria para evaporar la humedad en los agregados y elevarles la temperatura hasta la temperatura de descarga, la cual oscila entre 140 y 150 °C. Los agregados calientes salen del secador y se llevan hasta la parte alta de la torre de la planta mediante un elevador de cangilones cerrado. Los gases calientes que salen del secador, que también llevan polvo, son conducidos a través de un sistema recolector de polvo, para así poder cumplir con los requerimientos en materia de control de emisiones al ambiente. El polvo recolectado es retornado hacia el elevador de cangilones o un silo de filler y así es reintroducido dentro de la mezcla asfáltica caliente en la forma que se requiera.

La torre de la planta asfáltica contiene una serie de componentes que tamizan, almacenan, dosifican por peso, mezclan y descargan la mezcla asfáltica en las vagonetas o en un silo de almacenamiento.

**Figura 7.1: Esquema de funcionamiento de una planta de bache**



El gráfico anterior muestra las principales partes de una planta de bache.

Los agregados calientes que vienen en el elevador de cangilones son descargados en unas mallas vibratorias, que están diseñadas para separar los agregados en un número de tamaños determinados, que luego se ubican en tolvas de material caliente. Estos agregados se mezclan en determinadas cantidades para producir la mezcla asfáltica. El material se separa utilizando las mallas vibratorias, en las cuales, el de mayor tamaño que no cumple, se saca de la torre. Los demás tamaños de agregados son almacenados en las tolvas de la torre (tolvas para material caliente).

El sistema de control que dosifica los agregados calientes provenientes de las tolvas, utiliza una caja de pesado que está montada sobre un juego de romanas. Estos agregados calientes se introducen al tambor y se les agrega el cemento asfáltico caliente en forma de spray. Este cemento asfáltico previamente ha sido pesado mediante un mecanismo similar al que se utiliza para los agregados calientes.

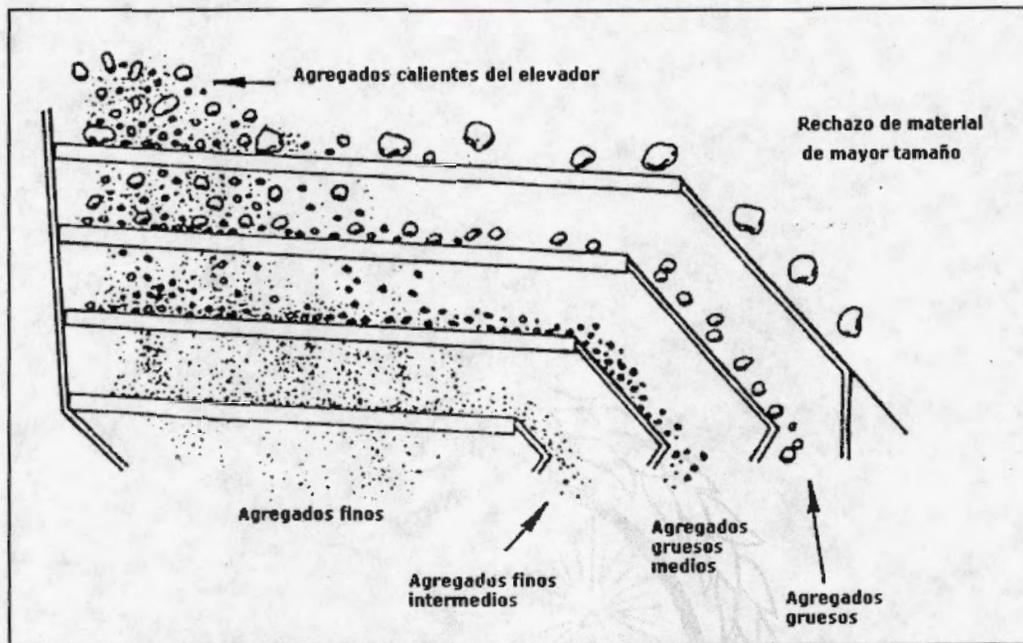
El tambor secador se diseña de tal forma en que se cubran los agregados con el cemento asfáltico de la forma más rápida y eficiente.

Una vez terminado este proceso, la mezcla asfáltica caliente se descarga directamente en las vagonetas o sino es transferido a un silo de almacenamiento.

### **7.1 Secador de agregado**

Típicamente los secadores de agregado en las plantas de bache son de **contador de flujo**, por ejemplo, el agregado entra frío en el secador en el lado opuesto del quemador y fluye en oposición a la columna de gas.

Figura 7.2 : Cámara de tamizaje de planta continua



Fuente: Hot Mix Asphalt Materials, Design and Construction, NAPA, pág 329

#### 7.4 Mezclador

El mezclador está diseñado para mezclar el material lo suficiente para cubrir completamente el agregado con cemento asfáltico. El tiempo de mezcla tiene que ser el mas pequeño posible, de modo que se cumpla la función anterior. El tiempo del período de mezclado lo indica la norma AASHTO T195 o ASTM D2489.

Consiste en dos cámaras de mezclado, mangas de conteo-rotacional con paletas al final, para hacer la función de mezclado. Las palas están configuradas para proveer la máxima eficiencia en el mezclado. El tamaño del lote debe ser consistente con la tasa de cubrimiento del agregado con el ligante.

### 7.3 Cámara de tamizaje vibratorio

Los agregados calientes son descargados en la zona de pantallas calientes vibradoras. En la primer pantalla ocurre el tamizado de los materiales, y en cada pantalla se presenta un proceso similar. También en esta área se pueden agregar dos tipos de material más: Filler y productos asfálticos para reciclado.

El área superficial de las pantallas calientes debe ser balanceada con la salida del secador, las proporciones del alimentador de agregado frío y la capacidad del mezclador. Si los materiales del alimentador de agregados están fuera de proporción con la cantidad de material requerida de cada uno de los tamaños, entonces algunos cajones pueden estar sobrecargados y otros infra-cargados. Los problemas que genera la mala proporción de agregados pueden producir el rechazos grandes de alguno de los diferentes tamaños de agregados. Debe procurarse un buen balance de la curva granulométrica con los agregados de apilamientos para evitar que el rechazo de alguno de los tamaños sea mu alto y por tanto el proceso pierda eficiencia.

Los cajones calientes deben ser largos para almacenar suficiente material que permita al mezclador operar en toda su capacidad. Tubos de sobreflujo deben ser ubicados en cada uno de los cajones para ayudar a eliminar el exceso de material en sus correspondientes tamaño máximo.

## **7.5 Sistema de control de calidad del aire**

Las unidades de secado e implementos del tambor contienen una pequeña cantidad de polvo en la columna de gas. La cantidad de polvo es función de la cantidad de material y peso que está siendo secado, la velocidad del aire de secado, y en el caso de algunas mezcladoras de tambor, la presencia de cemento asfáltico que cubre las partículas pequeñas y las mantenga en el tambor y fuera de la columna de gas.

## **7.6 Colectores secos primarios**

Hay dos sistemas de colectores primarios actualmente en uso, la *caja eliminadora* y el *colector centrífugo*.

La caja eliminadora es simplemente una extensión de la cámara de secado en donde el incremento del área implica una disminución de la velocidad de los gases. Con la reducción de la velocidad, las partículas de mayor tamaño y acumuladas en la parte inferior del quemador lo cual se puede utilizar para las partículas de polvo para ser concentradas en un punto central. Este material puede ser eliminado o reinsertado en el mezcla asfáltica.

El colector centrífugo tiene una entrada tangencial la cual fuerza el polvo más pesado hacia afuera de la pared donde se viene hacia abajo, y se ubica en el fondo del secador y puede ser desechado o reinsertado en la mezcla asfáltica en caliente.

Lo que queda de la columna de gases se dirige hacia el equipo de control remanente de polución.

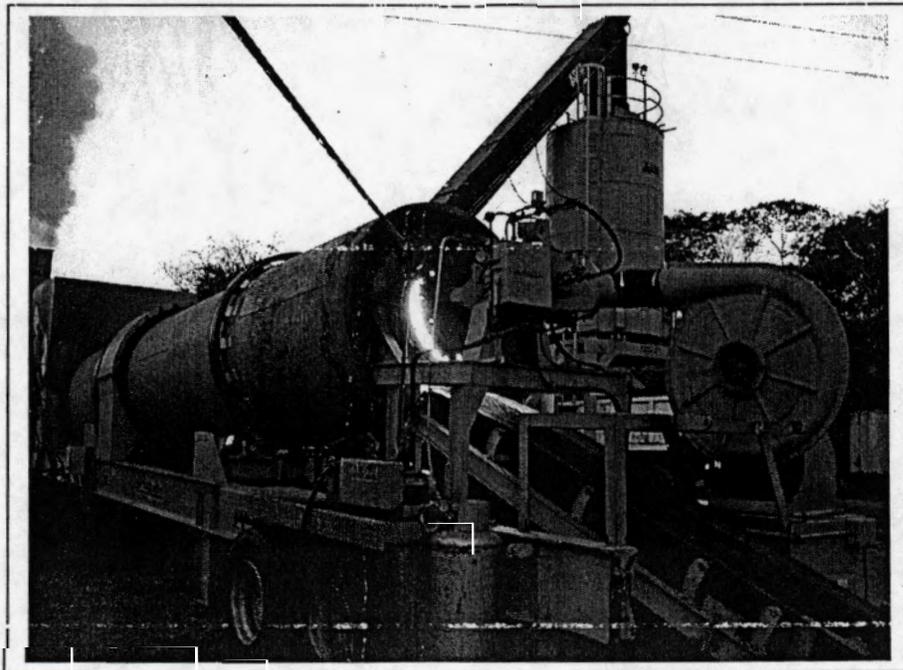
La temperatura de la columna debe ser mayor que el punto de rocío si el sistema de control de polución incluye un sistema de retorno de finos.

El secador también está equipado con paletas longitudinales de mezclado las cuales levantan el material y lo tiran en cascada a través de la columna de gases caliente. La temperatura de los agregados en el secador es el primer factor que determina la temperatura de la mezcla.

## 7.2 Quemador

Los quemadores de plantas de bache tienen características similares a los de las plantas de flujo continuo.

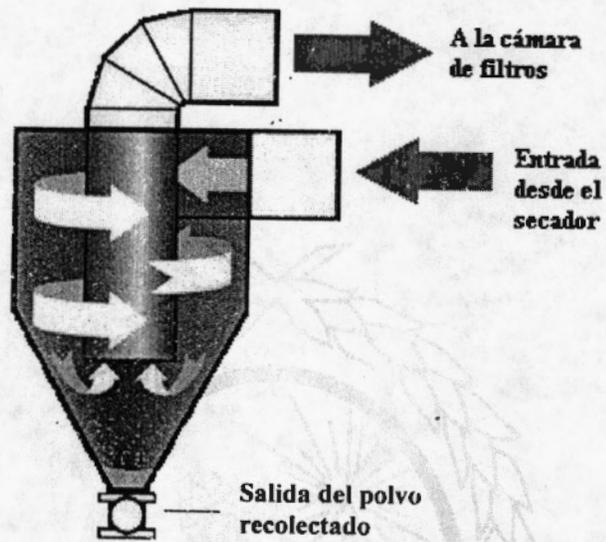
**Fotografía 7.1 Quemador de planta asfáltica**



Fuente: Planta de Constructora Sánchez - Carvajal

Figura 7.3

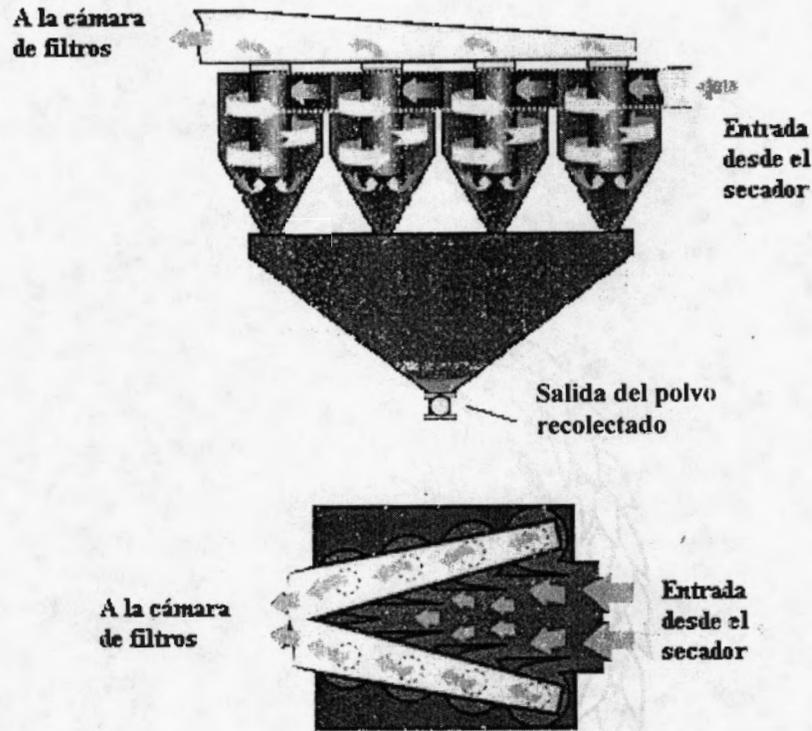
### Colector de Polvo de Ciclón Único



Fuente: Folleto Control de finos, ASTEC

Figura 7.4:

### Colector de Conos Múltiples



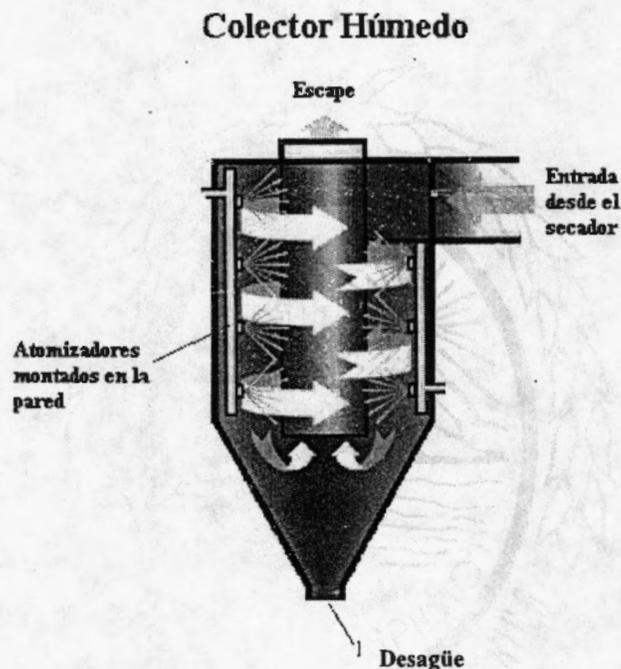
Fuente: Folleto Control de finos, ASTEC

#### 7.7 Colectores húmedos

Los colectores húmedos operan según el principio de que la columna de polvo puede ser forzada a caer del aire por el incremento del peso de las partículas de polvo, mediante la adición de pequeñas gotas de agua. Para minimizar la cantidad de agua que se va a utilizar y aumentar la concentración de partículas de polvo se reduce el área del ducto de trabajo.

Existen también estanques separadores, que separan el polvo del agua y reducen el volumen total del agua a emplear por re-circulación. Típicamente los colectores tienen varios estanques en los que el agua se va limpiando del polvo conforme pasa de un lado a otro.

**Figura 7.5: Colector húmedo**



Fuente: Folleto Control de finos, ASTEC

### **7.8 Cámara de filtros (Retorno de finos)**

Los sistemas de retorno de finos son muy eficientes y pueden remover cerca del 99% del polvo contenido en la columna de gases. Los principios operacionales del sistema de retorno de finos son muy simples. La carcasa externa del tambor no gira.

La nube de gases y polvo son separados por un filtro que atrapa el polvo en un lado pero que permite pasar el aire limpio. El tamaño del sistema de retorno de finos depende del volumen de aire que va a filtrar. Típicamente un sistema de retorno de finos consta de 300 a 800 bolsas separadoras.

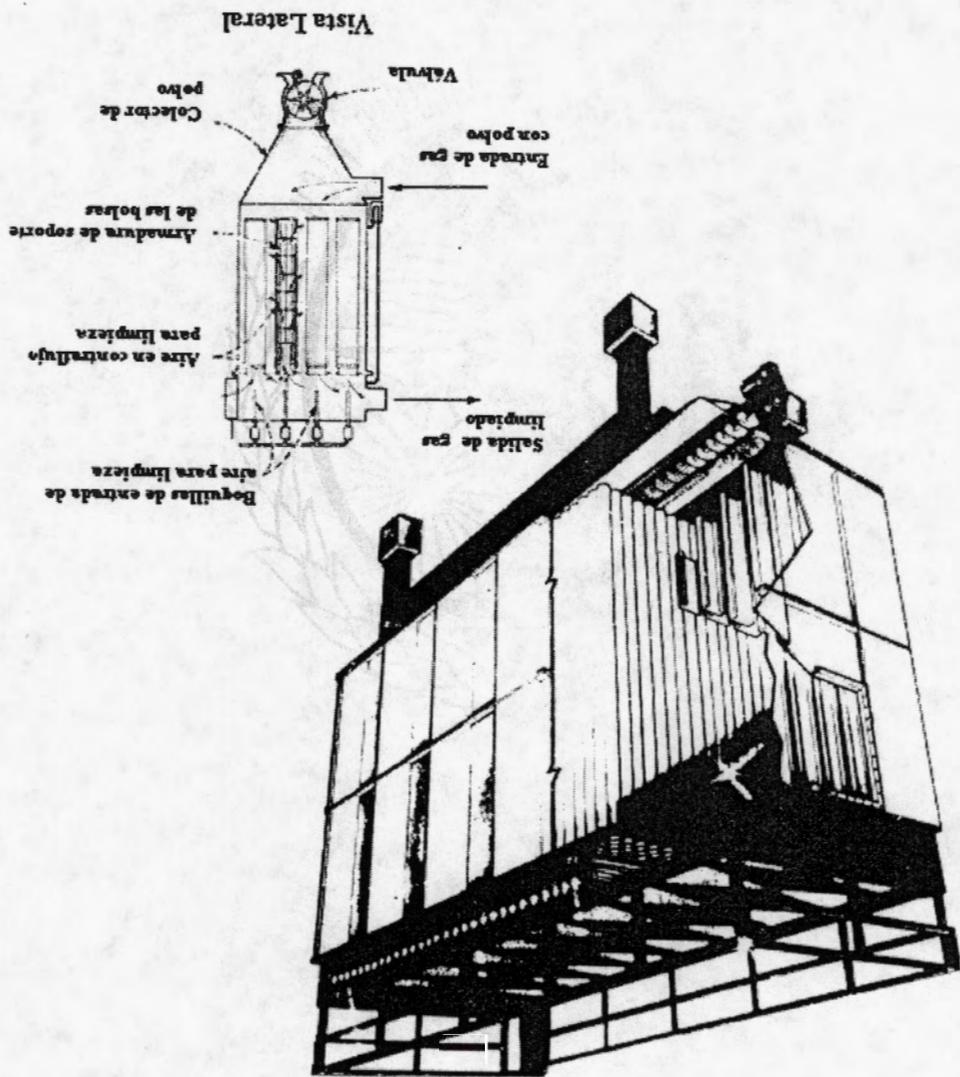
La columna de gases es quebrada a través del ducto de trabajo del colector primario al frente del primer set de bolsas de filtro. Conforme pasa a través del proceso, las partículas de polvo son atrapadas en la parte de afuera, y el aire limpio continua hasta que es eliminado hacia la parte exterior.

Las partículas de polvo en la parte exterior de las bolsas van construyendo un conglomerado de partículas. Como este conglomerado está acumulándose en la parte exterior de las bolsas, impide que pase el aire y detiene el proceso de clarificación del aire, por lo tanto, periódicamente debe eliminarse este conglomerado.

El proceso anterior es acompañado habitualmente por el agitado de las bolsas, lo cual se hace generalmente con un compresor de aire. El proceso mencionado se puede ajustar dependiendo de dos mecanismos accionadores: indicadores de tiempo y sensores de presión. Los indicadores de tiempo ajustan el tiempo y los sensores de presión agitan cuando la presión sobre la bolsa lleva a cierto valor.

La eficiencia del colector de finos es afectada por distintos factores. Si ha sido ajustado correctamente y se le ha dado un mantenimiento apropiado, el parámetro operativo más importante es la presión en las bolsas. La presión es una medida de la resistencia al flujo a través de las bolsas.

Figura 7.6: Cámara de filtros



## 8. Propuesta de control de calidad y requerimientos del laboratorio de planta

### 8.1 Personal de control de calidad del contratista

La cantidad de personal requerido para efectuar el control de calidad de una planta asfáltica varía de empresa a empresa, según la forma como se diseñan los procesos y la variabilidad de éstos, todo en función de la producción. El personal de control de calidad se convierte en el brazo técnico que debe asegurar a la compañía el cumplimiento permanente de los estándares de la calidad.

**Tabla 8.1: Número de personas asignadas al control de calidad de acuerdo con la producción de la empresa (\*)**

Producción	hasta 1500 ton/día	Producción entre 1500 y 3000 ton/día	Producción sobre 3000 ton/día
Tipo de Trabajador	<ul style="list-style-type: none"><li>• Técnico de Control de Calidad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Asistente de Control de Calidad</li><li>• Técnico de Control de Calidad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Asistente de Control de Calidad</li><li>• Técnico de Control de Calidad</li><li>• Supervisor de Control de Calidad</li></ul>
Número	1 a 2	3 a 4	5 o mas

(\*) Estos son números que sirven de referencia, pues finalmente hay que adecuarlo a cada empresa y proceso constructivo.

Los técnicos deben ser capaces de desarrollar todos los ensayos de laboratorio que son requeridos para el control de calidad. Además, debe saber realizar las pruebas rutinarias del control de calidad de la mezcla asfáltica en caliente.

También el técnico debe ser capaz de realizar diseños de mezcla asfáltica y evaluar nuevas fuentes de material.

Algunas ventajas de un programa de control de calidad son las siguientes:

1. Asegura la calidad de la materia prima con que se va a iniciar el proceso de producción.
2. Asegura la calidad de cada una de las etapas del proceso de producción.
3. Asegura el cumplimiento de las especificaciones contractuales.
4. Permite el cobro oportuno del 100% de la producción , sin reducción de precio.
5. Evita demoras en la ejecución de los proyectos.
6. Implica un uso eficiente de los recursos destinados a la producción.

### **8.1.1 Descripción de las funciones del personal**

#### **8.1.1.1 Superintendente de la planta**

El superintendente de planta es el responsable por tomar las medidas que sean necesarias para corregir los procedimientos operativos que afectan la calidad. Es el responsable por lo siguiente:

1. Asegurarse que se cumple con los requerimientos de calidad de la materia prima (agregados, asfaltos aditivos)
2. Llevar un manejo, técnicamente correcto, de los apilamientos (carga, descarga y control de humedad)
3. Apoyarse en el laboratorio de planta y mantener bajo control todas las etapas del proceso.
4. Supervisar que todo el sistema de mezclado funcione y esté bajo control permanente: temperaturas, alimentación de tolvas, dosificación en panel de control, dosificación de bandas de alimentación, control de humedad)

5. Constatar visualmente y por medio de resultados de laboratorio, la calidad de la mezcla que se está produciendo.
6. mantener bajo control el sistema de pesaje y despacho de la mezcla.
7. Brindar toda la información requerida por el ingeniero Supervisor de la planta y por el funcionario responsable del aseguramiento de la calidad.

#### **3.1.1.2 Supervisor de control de calidad**

El supervisor de control de calidad deberá ser capaz de desarrollar todas las pruebas y cálculos requeridos para producir la información de la fórmula de trabajo, estar familiarizado con los procedimientos estándar y las especificaciones de la mezcla asfáltica en caliente, y debe ser capaz de establecer los procedimientos de prueba, interpretarlos y presentar los resultados, y debe supervisar el trabajo de laboratorio y del personal de control de calidad de campo. También debe verificar el cumplimiento de las especificaciones, y hacer los ajustes necesarios para mantener la mezcla dentro de las tolerancias, y es el responsable por el entrenamiento de los técnicos de campo.

Debe asegurarse de que se realicen todos los ensayos que el plan de calidad de la empresa para cada una de las etapas del proceso.

#### **Requisitos del supervisor de control de calidad**

La persona aceptada para esta posición debe ser elegible por haber adquirido entrenamiento respectivo de control de calidad de plantas asfálticas, incluyendo la construcción y actualización de los gráficos de control.

Debe tenerse en cuenta que este funcionario asumen responsabilidades muy relevantes y es pieza clave en el esquema de aseguramiento de la calidad de la

empresa. Por tanto,. Su capacitación y nivel académico debe estar en concordancia con estas exigencias.

### **8.1.2 Técnico de control de calidad**

El técnico de control de calidad debe desarrollar todas las pruebas de control de calidad requeridos por el control de calidad. Deberá muestrear y evaluar los materiales que provienen de la fuente de agregados, monitorear el almacenamiento de los agregados en los apilamientos, ajustar los alimentadores de agregado para ajustarlos a lo que requiere el proceso de producción y realizar todos los ensayos que requiere el control de calidad del proceso, tanto para los agregados como para la mezcla.

#### **Requisitos del técnico de control de calidad:**

Este funcionario es un técnico de laboratorio que debe tener la capacitación suficiente que le permite la ejecución correcta de las siguientes actividades en un laboratorio:

1. Revisar que todo el equipo se encuentre en perfectas condiciones para realizar los ensayos.
2. Mantener en orden y con la limpieza que se requiere en un laboratorio.
3. mantener ordenadamente toda la papelería e información manejada.
4. Realizar correctamente los muestreos.
5. Realizar correctamente los ensayos de caracterización de agregados para mezclas asfálticas.
6. Llevar a cabo los ensayos que se requieren para un diseño de mezcla.
7. Realizar todos los ensayos de control de calidad de la mezcla asfáltica.

### **8.1.3 Operador de planta**

El operador de planta debe tener conocimiento de los siguientes aspectos:

1. Funcionamiento general del proceso de producción.
2. Conocimiento de las partes que conforman la planta y las características de cada unidad como parte de todo el proceso de producción.
3. Del diseño de mezcla, la fórmula de trabajo y de cómo afectan las diferentes partes del proceso y la dosificación de los componentes, la calidad de la mezcla.
4. La sensibilidad de las principales parámetros respecto a la calidad de la mezcla: temperatura, humedad, contenido de asfalto, granulometría, etc.
5. Los parámetros con los que se determina la uniformidad y se controla la calidad de la mezcla.
6. Los detalles operativos de la central de control para la operación de la planta.
7. Del sistema de mantenimiento de la planta.

### **8.1.4 Inspector del comprador**

El inspector del comprador debe conocer y verificar la ejecución del control de calidad de la empresa expendedora de la mezcla asfáltica. Las funciones específicas de este inspector están en función del esquema de control de calidad y pago de obra con que se ejecute el proyecto.

## **8.2 Programa de entrenamiento para el control de calidad**

Hay varias formas en las cuales una persona puede recibir entrenamiento en el control de calidad de la mezcla asfáltica. Ninguna de estas reemplaza la experiencia en el trabajo, la cual es la experiencia de entrenamiento más

frecuente. Sin embargo, el entrenamiento en el trabajo puede ser limitante, pues no siempre abarca todos los temas que debe confrontar un técnico.

El entrenamiento mediante clases formales y el estudio hacen capaz al técnico promedio de acelerar su experiencia y su capacidad para abordar un mayor rango de problemas.

### **8.2.1 Elementos de un programa de entrenamiento**

Los siguientes son los ensayos que debe dominar un técnico de laboratorio de pavimentos:

- Conceptos básicos de muestreo aleatorio
- Humedad del agregado
- Equivalente de arena
- Límites de Atterberg
- Gravedad específica y absorción
- Durabilidad
- Muestreo del agregado
- Ensayos de granulometría
- Temperatura de la mezcla asfáltica en caliente
- Pruebas para determinar el contenido de asfalto
- Compactación de especímenes de laboratorio
- Gravedad específica bruta
- Gravedad específica máxima teórica
- Desarrollo de la fórmula de trabajo de la mezcla y diseño de mezcla
- Control de los alimentadores de agregado
- Operaciones de planta y manejo del panel de control
- Ensayos Marshall (estabilidad y flujo)
- Ensayos de durabilidad de la mezcla (resistencia retenida y Tensión diametral retenida)

- Reportes y registros de resultados

### **8.3 Ensayos de Rutina para el Control de Calidad en los laboratorios de campo**

Los laboratorios de campo deben ser equipados para desarrollar pruebas a diario y semanalmente, o cuando se requieren resultados casi inmediatamente en el control de calidad del proceso.

Las pruebas mínimas que se deben realizar en el laboratorio de campo son las siguientes:

1. Muestreo aleatorio de los materiales de construcción (ASTM D3005)
2. Muestreo de materiales bituminosos (AASHTO T40, ASTM D140)
3. Muestreo de muestras bituminosas (AASHTO 168, ASTM D979)
4. Muestreo de agregados (AASHTO T2, ASTM D75)
5. Contenido de humedad de los agregados por secado (AASHTO T 255, ASTM C566)
6. Análisis granulométrico de agregado fino y grueso (AASHTO T27, ASTM C136)
7. Material más fino que la malla No. 200 por lavado (ASTM T11, ASTM C117)
8. Gravedad específica y absorción de agregado grueso (ASTM T85, ASTM C 127)
9. Gravedad específica y absorción del agregado fino (AASHTO T84, ASTM C128)
10. Gravedad específica máxima del material bituminoso (AASHTO T209, ASTM D2041)
11. Preparación de las mezclas compactadas.
  - a. Resistencia al flujo plástico utilizando el aparato Marshall (AASHTO T245, ASTM D1559)
  - b. Preparación de especímenes de mezclas bituminosas por el compactador giratorio de cortante (ASTM D4013), si se diseña por Superpave.

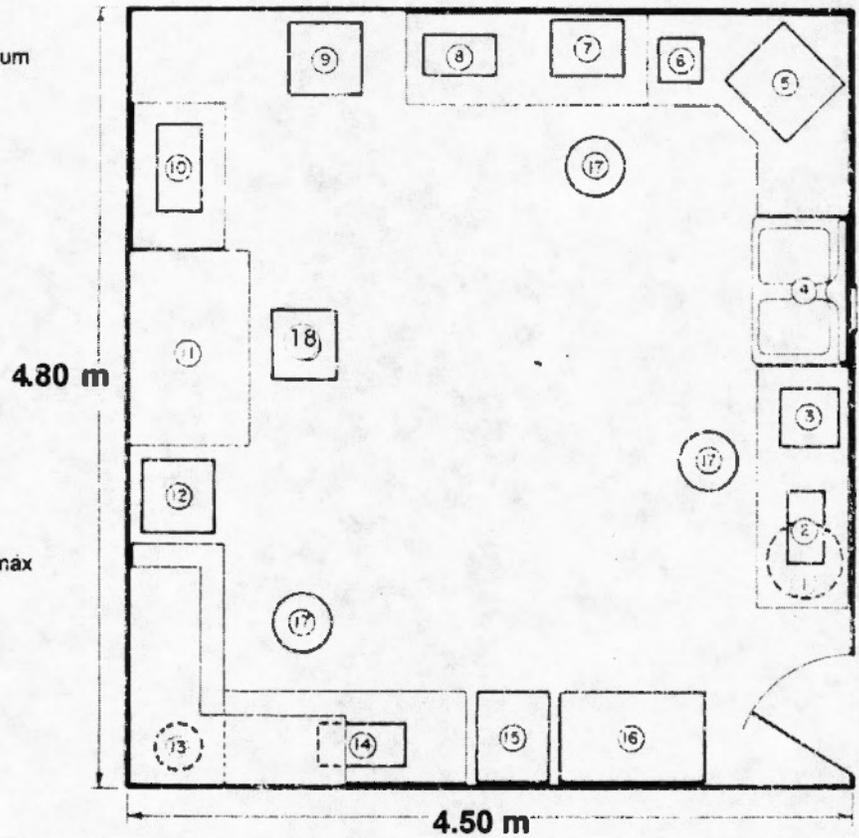
12. Espesor de especímenes bituminosos compactados. (ASTM D3549)
13. Gravedad específica de mezclas bituminosas compactados usando especímenes con superficie saturada seca. (AASHTO T166, ASTM D2726)
14. Extracción del bitumen
15. Análisis mecánico del agregado extraído (AASHTO T30)
16. Humedad o destilados volátiles en las mezclas bituminosas (AASHTO T110, ASTM 1461)

La norma que indica el proceso de certificación de un laboratorio es la ASTM D-3666.

En la siguiente figura se indica un diagrama de una posible distribución y equipamiento de un laboratorio de planta:

**Figura 8.1: Requerimientos de distribución mínimos de un laboratorio de campo**

- 1 Basurero
- 2 Balanza analítica para medir peso sum
- 3 Aparatos de extracción de Asfalto
- 4 Fregadero
- 3 Horno
- 6 Horno de ignición
- 7 Baño de agua caliente
- 3 Máquina de estabilidad
- 0 Compactador giratorio
- 10 Moldeador de pastillas Marshall
- 11 Escritorio
- 12 Agitador para ensayo de densidad max
- 13 Raño de gravedad específica
- 14 Balanza analítica
- 15 Agitador de muestras
- 16 Separador de muestras
- 17 Banco para sentarse
- 18 Silla



#### **8.4 Algunas disposiciones respecto al control de calidad en plantas asfálticas**

- Inspección de plantas de mezclado bituminoso (ASTM D290, AASHTO T172)
- Especificación de plantas de mezclado en caliente (ASTM D995, AASHTO M156)
- Práctica para el sistema de control de calidad para la inspección y ensayos para mezclas bituminosas (ASTM D4561)
- Práctica para agencias evaluación y calificación de ensayos e inspección de mezclas bituminosas. (ASTM D3666)

#### **9. Diseño de la fórmula de trabajo en planta**

Es responsabilidad del vendedor de mezcla asfáltica proponer y suministrar a la Administración la fórmula de trabajo en planta para su aprobación.

##### **9.1 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.

El método de diseño Marshall es el procedimiento más utilizado. Este procedimiento requiere como mínimo:

- a) Preparación de la mezcla en un rango de contenidos de asfalto
- b) Compactar los especímenes mediante procedimientos estándar
- c) Evaluar los especímenes por densidad, contenido de vacíos, estabilidad, flujo, en el caso del método Marshall.
- d) Determinar el contenido de asfalto óptimo.

e) Comparación de las características de la mezcla con los requerimientos de la especificación.

La siguiente es la lista de parámetros que se determinan en el ensayo Marshall:

- Estabilidad
- Flujo
- Vacíos
- Gravedad específica bruta de la mezcla

Si se tiene el valor de la densidad máxima teórica, la gravedad específica de los agregados, se pueden obtener adicionalmente:

- Vacíos en el agregado mineral (VMA)
- Vacíos llenos de asfalto

Si además se conoce el contenido de asfalto de la mezcla, también se puede obtener:

- Relación polvo/asfalto efectivo

## **10. Operaciones de transporte**

Dos de las más críticas operaciones en el sitio de trabajo son el transporte de la mezcla asfáltica al sitio y las operaciones de colocación. El transporte es crítico porque incide directamente en el costo del proyecto y la calidad de la mezcla asfáltica en caliente.

El transporte incluye la porción del proyecto en la cual se relaciona el número de camiones que van a enviarse al sitio y la capacidad colocadora de las pavimentadoras y las condiciones climáticas.

Este factor debe relacionarse también con la longitud del proyecto, tiempos de espera en la planta, el tiempo de pesado, el tiempo en que se cubre la mezcla asfáltica en caliente con un cobertor en la góndola, el promedio de velocidad de la vagoneta, etc.

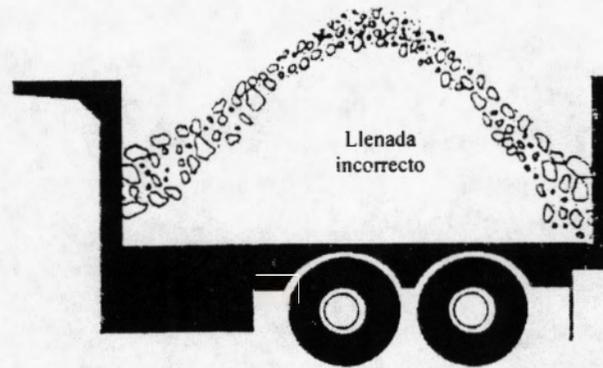
### **10.1 Procedimientos de carga de las vagonetas**

La góndola de la vagoneta debe ser limpiada minuciosamente antes de uso, para evitar que quede impregnada de algún material contaminante, además, debe convertirse en una práctica obligada el recubrimiento de la parte inferior de la góndola con un lubricante para evitar adherencias de la mezcla. La parte superior debe cubrirse con un maneado. Debe mantenerse especial cuidado de que la góndola no contenga diesel o cualquier otro tipo de similar de solvente.

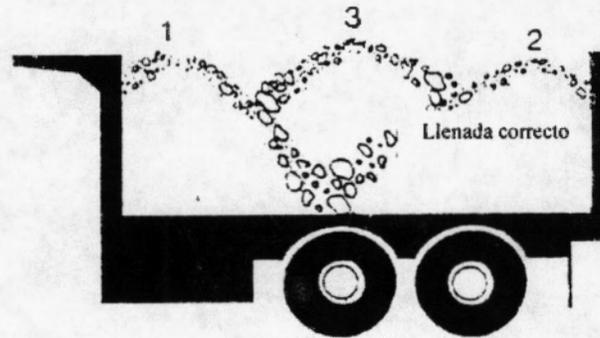
El uso de lubricantes adecuados favorece la no adherencia de la mezcla en el camión y el enfriamiento de la mezcla.

Cuando se carga la góndola de la vagoneta, deben utilizarse múltiples vertedores para minimizar la segregación causada por los agregados de mayor tamaño que ruedan hacia abajo del cono de material. Lo ocurre típicamente en la segregación de materiales se muestra en la figura 10.1. Cuando se carga la góndola con un único vertedor, se puede producir una severa segregación. En la parte b) de esta figura, se indica que al hacer dos o tres montículos en el orden indicado, se reduce considerablemente la segregación.

**Figura 10.1: Formas de cargar una vagoneta con mezcla asfáltica**



a) Cargado en mediante vertido simple, el cual produce segregación alrededor de todos los extremos de la góndola del camión.



b) Cargado mediante vertido múltiple, el cual minimiza las áreas segregadas dentro de la góndola del camión.

Fuente: Hot Mix Asphalt, Mixture Design and Construction

## **10.2 Protección durante un viaje largo**

Siempre la mezcla asfáltica en caliente debe tener una cubierta que la proteja de enfriamiento excesivo y evite la formación de una pasta en la superficie. La cubierta protectora debe estar bien amarrada en la vagoneta, para evitar que quede aire en contacto con la superficie de la mezcla asfáltica en caliente. Esto produce oxidación.

## **10.3 Factores que afectan el ciclo de la vagoneta**

El ciclo de una vagoneta consta de los diferentes segmentos de acarreo de mezcla asfáltica, desde el sitio de producción hasta el lugar de colocación, incluido el retorno.

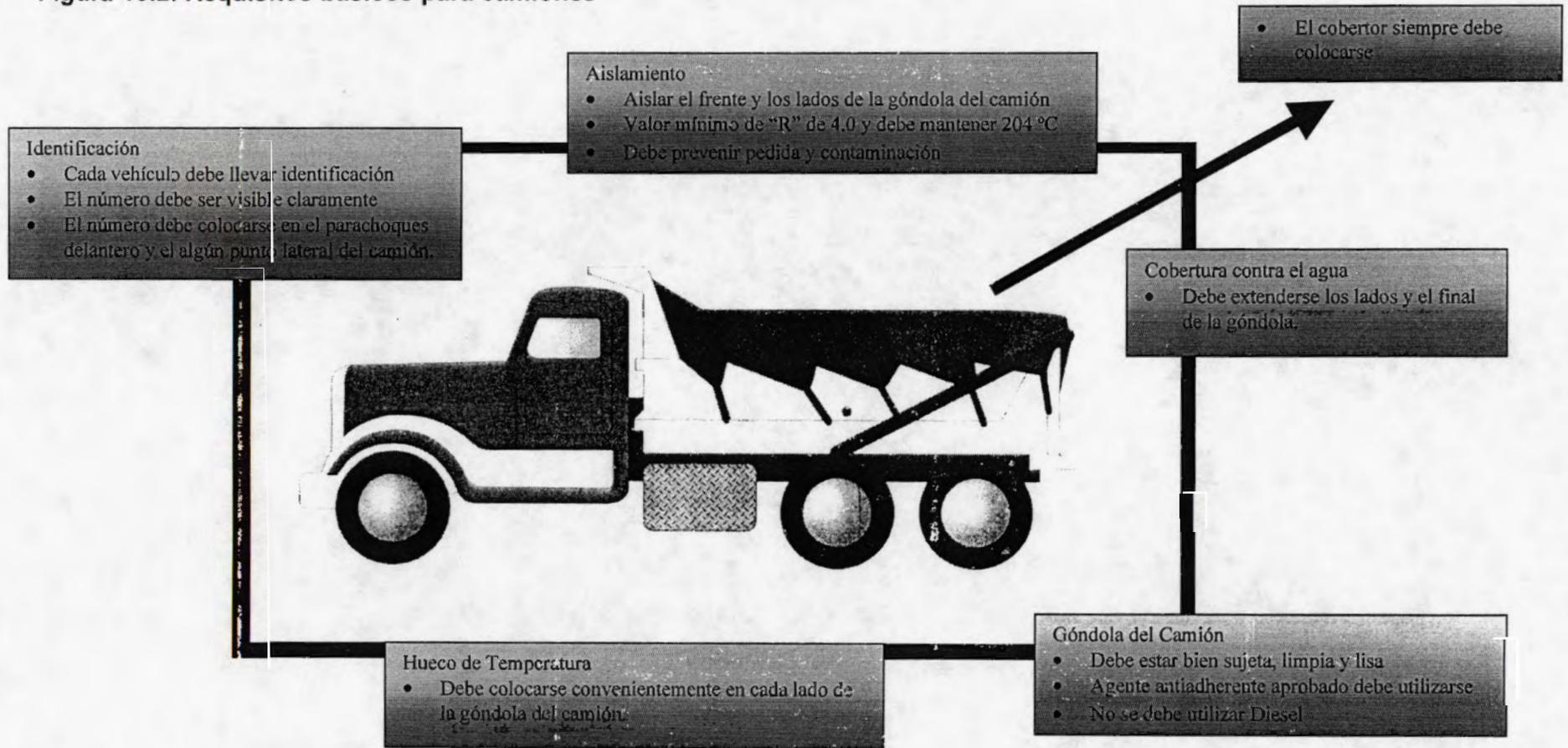
Un silo de almacenamiento se utiliza para disminuir el tiempo que tarda cargándose la vagoneta y también para reducir el tiempo que debe hacer fila para ser cargado. Hay muchos elementos de un silo que deben ser diseñados muy cuidadosamente para prevenir la segregación antes de descargar la mezcla en el silo o descargar la mezcla en el camión.

Los propósitos básicos de un silo son los siguientes:

1. Reemplazar temporalmente las góndolas de los camiones, como un sitio de almacenaje de mezcla asfáltica en caliente.
2. Permitirle a la planta de mezcla asfáltica facilidades para continuar la operación cuando los camiones no están preparados para la descarga.
3. en el caso de plantas tipo bache, permitirle a cada bache ser pesado uniformemente y al tamaño óptimo.
4. Proveer un almacenamiento temporal para la mezcla.

5. Permitir el inicio de la producción antes del arribo de las vagonetas.
6. Acomodar apropiadamente la descarga de la mezcla en el vehículo para maximizar el pago en cada viaje.
7. Almacenar de forma apropiada y eficiente, la producción de una planta continua.,

Figura 10.2: Requisitos básicos para camiones



# Requisitos Básicos para Camiones

