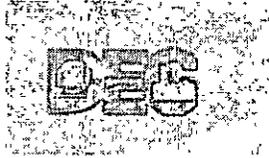


**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**



**Centro de Investigación y Desarrollo
de Educación en Línea**



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO DE EDUCACIÓN EN LÍNEA
(CIDEL)**



27 de Octubre 2 y 3 de Noviembre del 2007

Instructor:

Ing. Gabriel Gutiérrez Rocha

**LIBRO: CAL. CONTROL Y ASEGURAMIENTO
DE CALIDAD**

PARTE: 1. CONTROL DE CALIDAD

**TÍTULO: 01. Ejecución del Control de Calidad Durante la
Construcción o Conservación**

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los criterios para la ejecución del control de calidad que realice el Contratista de Obra durante la construcción o la conservación cuando los trabajos se ejecuten por contrato, así como para la verificación por parte de la Secretaría de dicho control de calidad.

B. DEFINICIONES

**B.1. CONTROL DE CALIDAD DURANTE LA CONSTRUCCIÓN O LA
CONSERVACIÓN DE LAS OBRAS**

Conjunto de actividades orientadas al cumplimiento de los requisitos de la calidad establecidos en el proyecto. Dichas actividades comprenden principalmente el examen de los resultados obtenidos de un proceso de producción, mediante mediciones, muestreo y pruebas, tanto de campo como de laboratorio, que permiten evaluar las propiedades inherentes a un concepto de obra, de sus acabados, de los materiales y de los equipos de instalación permanente que se utilicen en su ejecución, comparándolas con las especificadas en el proyecto, así como los análisis estadísticos de esos resultados, para decidir la aceptación, rechazo o corrección del concepto y determinar oportunamente si el proceso de producción se está ejecutando correctamente, conforme al procedimiento de construcción o éste debe ser corregido. Si la construcción o conservación se ejecuta por contrato, el control de calidad es responsabilidad exclusiva del

CAL. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

N-CAL-1-01/05

Contratista de Obra, como se establece en el Inciso D.4.5. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, con plena independencia jerárquica y administrativa respecto al Superintendente.

B.2. CONTROL INTERNO

Conjunto de actividades que realiza el área responsable de la calidad de las obras, directamente dependiente de la alta dirección del Contratista de Obra, orientadas a corroborar que su control de calidad se haya ejecutado correctamente, así como el cumplimiento de los requisitos de calidad establecidos en el proyecto, mediante mediciones, pruebas de campo o laboratorio y análisis estadísticos de los resultados, para confirmar la aceptación, rechazo o corrección de los diversos conceptos de obra.

B.3. VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DURANTE LA CONSTRUCCIÓN O LA CONSERVACIÓN

Conjunto de actividades que permiten comprobar que los conceptos de obra han cumplido con las especificaciones del proyecto, ratificar la aceptación, rechazo o corrección de cada uno, y comprobar el cumplimiento del programa detallado de control de calidad. Dichas actividades comprenden principalmente el muestreo, las pruebas y los análisis estadísticos de sus resultados junto con los del control de calidad, conforme a lo indicado en el Inciso D.2.26. de la Norma N-LEG-4, *Ejecución de Supervisión de Obras*. Invariablemente la verificación de la calidad la realizará la Unidad General de Servicios Técnicos del Centro SCT que corresponda, ya sea con recursos propios o mediante un Contratista de Servicios que se contrate para tal propósito, quien estará obligado a instalar, equipar y mantener en el campo, bajo su responsabilidad y costo, los laboratorios que se requieran, con el adecuado y suficiente personal profesional y técnico, conforme a lo que se establezca en el contrato respectivo.

B.4. CONTROL EXTERNO

Conjunto de actividades que realiza la Dirección General del Centro SCT, orientadas a constatar, mediante la información que le suministren su Unidad General de Servicios Técnicos y su Subdirección de Obras, a través de un sistema que se establezca

con tal propósito, que los diversos conceptos de obra han sido ejecutados de acuerdo con el proyecto y sus especificaciones, dentro del programa de ejecución de los trabajos y del presupuesto aprobado, en apego con la normatividad vigente.

B.5. CONTROL EXTERIOR

Conjunto de actividades que realiza la Dirección General Normativa que corresponda, orientadas a confirmar, que la obra ha sido ejecutada de acuerdo con el proyecto y sus especificaciones, dentro del programa de ejecución de los trabajos y del presupuesto aprobado, en apego con la normatividad vigente.

B.6. AUDITORÍA

Proceso, sistemático, independiente y documentado del Órgano Interno de Control de la Auditoría Superior de Hacienda o de la Secretaría de la Función Pública, para obtener registros, declaraciones de hechos o cualquier otra información pertinente y evaluarla de manera objetiva, con el fin de determinar la extensión en que se cumplió el conjunto de políticas, procedimientos o requisitos utilizados como referencia para la ejecución de la obra.

C. REFERENCIAS

Son referencia de esta Norma los Manuales aplicables del Libro MMP. *Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales*, que forma parte de la Normativa SCT.

Además, esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras.....	N-LEG-3
Ejecución de Supervisión de Obras.....	N-LEG-4
Aprobación de Laboratorios.....	N-CAL-2-05
Criterios Estadísticos de Muestreo.....	M-CAL-1-02
Análisis Estadísticos de Control de Calidad.....	M-CAL-1-03

D. REQUISITOS

D.1. REQUISITOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD

El Contratista de Obra no podrá iniciar los trabajos de construcción o conservación si no cuenta en el campo con:

D.1.1. El programa detallado de control de calidad, que sea técnicamente factible y aceptable desde el punto de vista de su realización física, así como comprobable en todas y cada una de las actividades programadas; que incluya la forma y los medios a utilizar para evaluar la calidad de los materiales correspondientes a todos los conceptos de obra terminada y de sus acabados, así como de los equipos de instalación permanente que vayan a formar parte integral de la obra. Este programa ha de ser congruente con el programa de ejecución de los trabajos a que se refiere la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, detallado por concepto y ubicación en la obra.

D.1.2. El personal profesional, técnico y de apoyo; las instalaciones, equipo y materiales de laboratorio, así como el equipo de transporte, que sean adecuados y suficientes de acuerdo con el programa detallado de control de calidad a que se refiere el inciso anterior y que cumplan con lo indicado en las Fracciones E.1 a E.3 de esta Norma.

D.2. REQUISITOS PARA EL CONTROL INTERNO

El área responsable de la calidad de las obras, directamente dependiente de la alta dirección del Contratista de Obra, contará con:

D.2.1. Un programa de visitas periódicas a la obra, que sea técnicamente factible y aceptable desde el punto de vista de su realización física, así como comprobable en todas y cada una de las actividades programadas; que incluya la forma y los medios a utilizar para corroborar que el control de calidad se haya ejecutado correctamente, así como el cumplimiento de los requisitos de calidad establecidos en el proyecto. Este programa ha de ser congruente con el programa de control de calidad a que se refiere el inciso D 1.1. de esta Norma. Las visitas a la obra para el control interno, se realizarán por lo menos una vez al mes.

D.2.2. El personal profesional, técnico y de apoyo, así como las instalaciones, equipo y materiales de los laboratorio centrales, que sean previamente aprobados por la Secretaría, como se indica en la Norma N-CAL-2-05, *Aprobación de Laboratorios*.

D.3. REQUISITOS PARA LA VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD

La Unidad General de Servicios Técnicos del Centro SCT, previamente a la iniciación de los trabajos de construcción o conservación, contará con:

D.3.1. El programa detallado de verificación de la calidad, que sea técnicamente factible y aceptable desde el punto de vista de su realización física, así como comprobable en todas y cada una de las actividades programadas; que incluya la forma y los medios por utilizar para la verificación de la calidad, y que sea congruente con el programa de control de calidad a que se refiere el Inciso D.1.1. de esta Norma. Si la verificación de la calidad se ejecuta por contrato, el Contratista de Servicios será el responsable de elaborar el programa detallado de verificación de la calidad y lo someterá a la aprobación de la Unidad General de Servicios Técnicos.

D.3.2. Si la verificación de la calidad se ejecuta por contrato, el personal profesional, técnico y de apoyo, las instalaciones, equipo y materiales de laboratorio, así como el equipo de transporte del Contratista de Servicios, serán los adecuados y suficientes de acuerdo con el programa detallado de verificación de la calidad a que se refiere el Inciso anterior y cumplirán con lo indicado en las Fracciones E.1. a E.3. de esta Norma.

D.4. REQUISITOS PARA EL CONTROL EXTERNO

El Director General del Centro SCT, contará con un sistema de información y análisis, mediante el que reciba mensualmente, de su Unidad General de Servicios Técnicos y su Subdirección de Obras, los datos que le permitan constatar que los diversos conceptos de obra han sido ejecutados de acuerdo con el proyecto y sus especificaciones, dentro del programa de ejecución de los trabajos y del presupuesto aprobado, en apego con la normatividad vigente y, en caso de observar anomalías en la ejecución y control de la obra, instruir a los responsables de las áreas mencionadas, la ejecución de las medidas correctivas pertinentes.

E. EJECUCIÓN

Para la ejecución del control de calidad o de la verificación de la calidad, se tomará en cuenta lo siguiente:

E.1. PERSONAL

Que el personal que ejecute el control de calidad o la verificación de la calidad, tenga la capacitación y experiencia suficientes, así como que esté integrado como mínimo por:

E.1.1. Jefe de Control de Calidad

El Contratista de Obra contará durante todo el tiempo que duren los trabajos contratados, con un Jefe de Control de Calidad que dependa directamente del responsable del control interno, con plena independencia jerárquica y administrativa respecto al Superintendente; que sea ingeniero civil con cédula profesional y certificación como Perito Profesional en Vías Terrestres, Grupo de Estudios y Proyectos, con experiencia en trabajos de control de calidad, que conozca ampliamente todos los aspectos relacionados con el tipo de obra de que se trate, así como con el proyecto de la misma y que previamente sea aceptado por la Secretaría. El Jefe de Control de Calidad coordinará todos los trabajos para la correcta ejecución del control de calidad, analizar estadísticamente los resultados que se obtengan y elaborar los informes descritos en la Fracción E.7. de esta Norma. No puede ser sustituido sin la autorización escrita de la Secretaría y siempre por otra persona con igual o mayor preparación y experiencia.

E.1.2. Jefe de Verificación de Calidad

Cuando la verificación de la calidad se ejecute por contrato, el Contratista de Servicios contará durante todo el tiempo que dure la obra con un Jefe de Verificación de Calidad, que sea ingeniero civil con cédula profesional y certificación como Perito Profesional en Vías Terrestres, Grupo de Estudios y Proyectos, con experiencia en trabajos de control de calidad, que conozca ampliamente todos los aspectos relacionados con el tipo de obra de que se trate, así como con el proyecto

de la misma y que previamente sea aceptado por la Secretaría. El Jefe de Verificación de Calidad coordinará todos los trabajos necesarios para la correcta ejecución de la verificación de la calidad, analizar conjuntamente y en forma estadística los resultados que se obtengan del control de calidad y de la propia verificación, e integrarlos en los informes a que se refiere la Fracción E.8 de esta Norma. No puede ser sustituido sin la autorización escrita de la Secretaría y siempre por otra persona con igual o mayor preparación y experiencia.

E.1.3. Personal de laboratorio

Los responsables del control de calidad y de la verificación de la calidad cuando ésta se ejecute por contrato, que se indican en los Incisos E.1.1. y E.1.2. de esta Norma, respectivamente, contarán con los laboratoristas y ayudantes de laboratorio, suficientes para atender todos los frentes de la obra en los aspectos de muestreo, manejo, transporte, almacenamiento y preparación de las muestras, ejecución de las pruebas de campo y laboratorio, mantenimiento y calibración del equipo de laboratorio, entre otros. El personal de laboratorio estará capacitado y acreditará, mediante evaluaciones ante el Jefe de Verificación de Calidad o, si el personal, corresponde al grupo de verificación de la calidad, ante el Jefe de la Unidad de Laboratorios del Centro SCT, el conocimiento de las pruebas y procedimientos correspondientes a las actividades que desempeñe. La Secretaría podrá, en cualquier momento, evaluar como se indica en la Norma N-CAL-2-05, *Aprobación de Laboratorios*, la capacidad del personal, teniendo la facultad de ordenar que sea reemplazado si a su juicio no cumple con lo establecido en este Inciso.

E.2. LABORATORIOS

Los laboratorios para el control de calidad o para la verificación de la calidad si ésta se ejecuta por contrato, tendrán en sus instalaciones: áreas para almacenamiento, preparación y prueba de las muestras, así como para la calibración del equipo; fuentes de energía y de iluminación; y cuando sea necesario, sistemas de comunicación, de control de temperatura y de ventilación, que permitan la correcta ejecución de las pruebas y de las calibraciones. La Secretaría podrá, en cualquier momento, evaluar los laboratorios como se indica en la Norma N-CAL-2-05,

CAL. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

N-CAL-1-01/05

Aprobación de Laboratorios, teniendo la facultad de ordenar su adecuación o complementación si a su juicio no cumplen con lo establecido en esta Fracción.

E.3. EQUIPO Y MATERIALES

E.3.1. Equipo y materiales para el control de calidad o para la verificación de la calidad

El equipo que se utilice para el control de calidad o para la verificación de la calidad si ésta se ejecuta por contrato, estará en condiciones óptimas para su uso, calibrado, limpio, completo en todas sus partes y que no tenga un desgaste excesivo que pueda alterar significativamente los resultados de las pruebas. Todos los materiales por emplear serán de calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad. La Secretaría podrá, en cualquier momento, evaluar como se indica en la Norma N-CAL-2:05, *Aprobación de Laboratorios*, el estado del equipo y la calidad de los materiales, teniendo la facultad de ordenar su calibración, reemplazo o complementación si a su juicio no cumplen con lo establecido en este Inciso.

E.3.2. Vehículos de transporte

Los vehículos de transporte serán los adecuados para trasladar, en forma eficiente y segura, al personal, al equipo y a los materiales para el control de calidad o para la verificación de la calidad si ésta se ejecuta por contrato, así como las muestras que se obtengan. Su número ha de ser suficiente para atender todos los frentes de la obra, ser utilizados exclusivamente en las funciones mencionadas, así como estar y ser mantenidos en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra. La Secretaría podrá, en cualquier momento, evaluar el estado y cantidad de vehículos, teniendo la facultad de ordenar su reparación, reemplazo o complementación si a su juicio no cumplen con lo establecido en este Inciso.

E.4. MUESTREO

Salvo que el proyecto indique lo contrario, las muestras serán del tipo que se establece en los Manuales del Libro MMP. *Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales*, y se obtendrán con la frecuencia indicada en las especificaciones del proyecto o en los Manuales

mencionados, cuando sean para el control de calidad, o al diez (10) por ciento de esa frecuencia cuando sean para la verificación de la calidad. En todos los casos las muestras se seleccionarán al azar, mediante un procedimiento objetivo basado en tablas de números aleatorios, conforme lo indicado en el Manual M-CAL-1-02, *Criterios Estadísticos de Muestreo*.

Las muestras se transportarán del sitio de su obtención al laboratorio y se almacenarán de tal modo que no se alteren, golpeen o dañen. Al recibirlas en el laboratorio, se registrarán asentando el nombre de la obra, el número de identificación que se les asigne, el tipo de muestra, el material y concepto de obra a que pertenece, el sitio de donde se obtuvo, la fecha del muestreo y las observaciones pertinentes. Todos los registros de muestras estarán en el laboratorio a disposición de la Secretaría.

E.5. PRUEBAS DE CAMPO Y LABORATORIO

Salvo que el proyecto indique lo contrario, las pruebas de campo y laboratorio que se realicen a los materiales y a los conceptos de obra, se ejecutarán conforme a lo establecido en los Manuales del Libro MMP, *Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales*. Sin embargo, si se requiere del uso de un método de muestreo o de prueba que no esté contemplado en dicho Libro o indicado en el proyecto, su aprobación se solicitará por escrito a la Secretaría.

E.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TRANSPORTES

Tanto para el control de Calidad como para la verificación de la calidad, se analizarán estadísticamente, como se indica en el Manual M-CAL-1-03, *Análisis Estadístico de Control de Calidad*, los resultados de las mediciones, así como de las pruebas de campo y laboratorio que se ejecuten, mediante cartas de control para cada material, frente y concepto de obra, de tal manera que se puedan comparar los valores obtenidos con los límites de aceptación que se establezcan en las especificaciones del proyecto y con los límites estadísticos que determinan si el proceso de producción o el procedimiento de construcción se desarrolla normalmente o presenta desviaciones que requieran ser corregidas inmediatamente, asociando claramente dichos valores con el concepto de trabajo, su ubicación en la obra y su volumen. Las cartas de control se actualizarán diariamente con el propósito

CAL. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

N CAL 1 01/05

de corregir oportunamente las desviaciones que pudieran presentarse, tanto en los procesos de producción o los procedimientos de construcción, como en la calidad de los materiales de todos los conceptos de obra. En el caso de la verificación de la calidad, esta actualización se hará por lo menos cada quince (15) días, dependiendo de los volúmenes de obra.

De existir incertidumbre sobre la validez de una medición, prueba o muestra, o duda respecto a la aceptación o rechazo de un material o concepto de obra, la decisión se puede basar en otro procedimiento estadístico aprobado por la Secretaría.

E.7. INFORMES DE CONTROL DE CALIDAD

El Jefe de Control de Calidad elaborará los informes que se indican a continuación en los que se presenten, mediante tablas, gráficas, croquis y fotografías, los resultados de las mediciones y pruebas ejecutadas, incluyendo la información necesaria para su interpretación, las cartas de control y los análisis estadísticos realizados, en su caso, las acciones y los tratamientos de los elementos rechazados de cada concepto de trabajo analizado; y el dictamen de calidad.

E.7.1. Informes diarios de control de calidad

Elaborados para cada material, frente y concepto de obra al término de cada día, que presenten los resultados de las mediciones y pruebas ejecutadas durante el día, señalando aquellos que, en su caso, no cumplan con las especificaciones del proyecto o que muestren desviaciones en el proceso de producción o en el procedimiento de construcción, que deban corregirse inmediatamente para no afectar la calidad, así como las posibles causas de falla y las recomendaciones para corregirlas. Para cada uno de los resultados se indicarán los números de muestra y de prueba correspondientes, así como el sitio, material, frente, concepto de obra, volumen representado y fecha en que se obtuvo la muestra o se ejecutó la prueba de campo y, en su caso, la fecha en que se realizó la prueba de laboratorio. En cada informe diario se incluirán además el nombre de la obra, el número y la fecha del informe, y el nombre del laboratorista que haya realizado las pruebas, así como el nombre y la firma del Jefe de Control de Calidad, quien lo entregará al

NORMAS

N-CAL-1-01/05

Superintendente, a más tardar el día siguiente de su elaboración. El Superintendente asentará en el informe la fecha y hora en que lo reciba, así como su firma.

E.7.2. Informes mensuales de control de calidad

Elaborados al término de cada mes, que contengan como mínimo la descripción sucinta de los trabajos de control de calidad ejecutados en el periodo del que se informe, incluyendo los realizados para el control interno; las cartas de control de las mediciones y pruebas realizadas, y los resultados de otros análisis estadísticos efectuados, para cada material, frente y concepto de obra; en su caso, la indicación de los materiales y conceptos de obra que fueron rechazados por no cumplir con las especificaciones del proyecto, o que mostraron desviaciones en el proceso de producción o en el procedimiento de construcción, señalando las causas de falla y las acciones emprendidas para corregirlas así como los resultados de su corrección, mismos que anularán los resultados no satisfactorios que provocaron la corrección; el dictamen que certifique que la obra ha sido ejecutada de acuerdo con las características de los materiales, de los equipos de instalación permanente, de los conceptos de obra, de los acabados y las tolerancias geométricas, especificadas en el proyecto. Como apéndices se incluirán el informe del control interno a que se refiere el inciso E.7.4. de esta Norma, un informe fotográfico que muestre los aspectos más relevantes del control de calidad y las copias de todos los informes diarios a que se refiere el inciso anterior, elaborados en ese periodo. Los informes mensuales serán firmados por el Jefe de Control de Calidad y por el Superintendente, quien los entregará al Residente o, en su caso, al Supervisor, junto con sus estimaciones, como se establece en la Fracción G.3. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*; así mismo, entregará una copia al responsable de la verificación de la calidad.

E.7.3. Informe final de control de calidad

Elaborado al cierre de la obra. Contendrá como mínimo los objetivos, alcances y descripción sucinta de los trabajos para el control de calidad ejecutados desde el inicio de la obra, incluyendo los realizados para el control interno; las cartas de control de las mediciones y pruebas realizadas, y los

CAL. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

N-CAL-1-01/05

resultados de otros análisis estadísticos efectuados en toda la obra, para cada material, frente y concepto de obra, el dictamen que certifique que la obra se ejecutó de acuerdo con las características de los materiales, de los equipos de instalación permanente, de los conceptos de obra, de los acabados y las tolerancias geométricas especificadas en el proyecto. Como apéndice se incluirán el último informe del control interno a que se refiere el Inciso E.7.4. de esta Norma y un informe fotográfico que muestre los aspectos más relevantes de la obra terminada. El informe final será firmado por el Jefe de Control de Calidad y por el Superintendente, quien lo entregará al Residente o, en su caso, al Supervisor junto con su estimación de cierre, como se establece en la Fracción G.3. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*; así mismo, entregará una copia al responsable de la verificación de la calidad.

E.7.4. Informes del control interno

Elaborados al término de cada mes, que contengan como mínimo la descripción sucinta de los trabajos para el control interno realizados en el periodo del que se informe; las pruebas realizadas, sus resultados y los análisis estadísticos efectuados para cada material, frente y concepto de obra, en su caso, la indicación de los materiales y conceptos de obra que fueron rechazados por no cumplir con las especificaciones del proyecto, señalando las causas de falla y las acciones recomendadas para corregirlas; el dictamen que confirme que la obra ha sido ejecutada de acuerdo con las características de los materiales, de los equipos de instalación permanente, de los conceptos de obra, de los acabados y las tolerancias geométricas, especificadas en el proyecto. Los informes del control interno serán firmados por el responsable de esta actividad y por la alta dirección del Contratista de Obra, y se entregarán al Jefe de Control de Calidad para su inclusión en los informes mensuales y final, a que se refieren los Incisos E.7.2. y E.7.3. de esta Norma, respectivamente.

E.8. INFORMES DE VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD

La Unidad General de Servicios Técnicos del Centro SCT o, si la verificación de la calidad se ejecuta por contrato, el Jefe de Verificación de Calidad, elaborará los informes que se indican a

continuación, en los que se presenten, mediante tablas, gráficas, croquis y fotografías, los resultados de las mediciones y pruebas ejecutadas para la verificación, incluyendo la información necesaria para su interpretación; las cartas de control y los análisis estadísticos realizados; en su caso, las acciones y los tratamientos recomendables de los elementos rechazados de cada concepto de trabajo analizado, y el dictamen de verificación de la calidad.

E.8.1. Informes mensuales de verificación de la calidad



Elaborados al término de cada mes, que contengan como mínimo la descripción sucinta de los trabajos de verificación de la calidad ejecutados en el periodo del que se informe; las cartas de control de las mediciones y pruebas realizadas, y los resultados de otros análisis estadísticos efectuados, que incluyan los resultados del control de calidad ejecutado por el Contratista de Obra, así como los de la verificación de las líneas y niveles, para cada material, frente y concepto de obra, de manera tal que se distingan cuáles son los datos de la comprobación; en su caso, la indicación de los materiales y conceptos de obra que fueron rechazados por no cumplir con las especificaciones del proyecto o que mostraron desviaciones en el proceso de producción o en el procedimiento de construcción, señalando las causas de falla y las acciones emprendidas por el Contratista de Obra para corregirlas, así como los resultados de su corrección, mismos que anularán los resultados no satisfactorios que provocaron la corrección; el dictamen que certifique que el control de calidad fue ejecutado correctamente por el Contratista de Obra y que sus resultados garantizan que la obra ha sido ejecutada de acuerdo con las características de los materiales, de los equipos de instalación permanente, de los conceptos de obra, de los acabados y las tolerancias geométricas, especificadas en el proyecto. Como apéndices se incluirán un informe fotográfico que muestre los aspectos más relevantes de la verificación de la calidad y las copias de todos los informes extraordinarios a que se refiere el Inciso siguiente, elaborados en ese periodo. Los informes mensuales serán firmados por el Jefe de Verificación de Calidad, quien lo entregará al Jefe de la Unidad General de Servicios Técnicos, para su revisión, aprobación y entrega al Residente, como se establece en el Inciso D.2.26. de la Norma N-LEG-4, *Ejecución de Supervisión de Obras*.

E.8.2. Informes extraordinarios de verificación de la calidad

Elaborados tan pronto como se detecten desviaciones en la calidad de un material, frente o concepto de obra, o inmediatamente después de que se concluya una verificación extraordinaria del control de calidad, que haya solicitado el Residente, conforme a lo indicado en el Inciso D.2.24. de la Norma N-LEG-4, *Ejecución de Supervisión de Obras*. En los informes extraordinarios se presentarán los resultados de las mediciones y pruebas que hayan hecho evidente las desviaciones, realizadas tanto para el control de calidad, contenidas en el informe diario correspondiente elaborado por Jefe de Control de Calidad, como para la propia verificación, señalando las posibles causas de falla y las recomendaciones para corregirlas. Para cada uno de los resultados se indicarán los números de muestra y de prueba correspondientes, así como el sitio, material, frente, concepto de obra, volumen representado y fecha en que se obtuvo la muestra o se ejecutó la prueba de campo y, en su caso, la fecha en que se realizó la prueba de laboratorio. En cada informe extraordinario se incluirán además el nombre de la obra, el número y la fecha del informe, y el nombre del laboratorista que haya realizado las pruebas, así como el nombre y la firma del Jefe de Verificación de Calidad, quien lo entregará a más tardar el día siguiente de su elaboración, al Jefe de la Unidad General de Servicios Técnicos, para su revisión, aprobación y entrega al Residente, como se establece en el Inciso D.2.26. de la Norma N-LEG-4, *Ejecución de Supervisión de Obras*. El Residente asentará en el informe la fecha y hora en que lo reciba, así como su firma.

E.8.3. Informe final de verificación de la calidad

Elaborado al cierre de la obra. Contendrá como mínimo los objetivos, alcances y descripción sucinta de los trabajos para la verificación de la calidad ejecutados desde el inicio de la obra; las cartas de control de las mediciones y pruebas realizadas, y los resultados de otros análisis estadísticos efectuados en toda la obra, para cada material, frente y concepto de obra; el dictamen que certifique que el control de calidad fue ejecutado correctamente por el Contratista de Obra y que sus resultados garantizan que la obra fue ejecutada de acuerdo con las características de los

NORMAS

N CAL-1-01/05

materiales, de los equipos de instalación permanente, de los conceptos de obra, de los acabados y las tolerancias geométricas, especificadas en el proyecto. Como apéndice se incluirá un informe fotográfico que muestre los aspectos más relevantes de la verificación de la calidad. El informe final será firmado por el Jefe de Verificación de Calidad, quien lo entregará al Jefe de la Unidad General de Servicios Técnicos, para su revisión, aprobación y entrega al Residente.



LIBRO: CAL. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

PARTE: 1. CONTROL DE CALIDAD

TÍTULO: 02. Criterios Estadísticos de Muestreo

A. CONTENIDO

Este Manual contiene los procedimientos para seleccionar al azar, las muestras o los elementos que las compongan, que serán sometidas a mediciones, pruebas de campo o pruebas de laboratorio, para determinar sus propiedades y verificar el cumplimiento de la calidad especificada en el proyecto o establecida en la Normativa SCT.

B. CONSIDERACIONES

Los resultados de las pruebas que se realicen a materiales y conceptos de obra, siempre tendrán variaciones debidas a la heterogeneidad del material, desviaciones durante el proceso constructivo, así como problemas derivados de los procedimientos de muestreo y prueba. Estos factores son variables aleatorias y por lo tanto los resultados lo son también, de forma que, para que indiquen la verdadera calidad de lo probado, es necesario que el muestreo siga un proceso estadístico que garantice la selección de las muestras realmente al azar, de acuerdo con las reglas que la estadística ha desarrollado para el caso.

Se tendrá siempre en cuenta que las muestras "buenas", "malas" o "indicativas de la situación promedio", según el criterio personal del inspector, no pueden ser consideradas como muestras al azar, y los resultados que se obtengan a partir de ellas, no corresponderán a la calidad real del lote o volumen de obra que representa.

Por ello, el plan de muestreo estadístico ha de poseer un procedimiento objetivo para la selección de la muestra, basado principalmente en el uso de tablas de números aleatorios, que garantice que todos y cada uno de los elementos de la población por muestrear, tengan la misma probabilidad de ser seleccionados.

C. REFERENCIAS

Son referencias de este Manual, las Normas aplicables contenidas en los Libros CTR. *Construcción*, CSV. *Conservación* y CMT. *Características de los Materiales*, así como los Manuales del Libro MMP. *Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales*, que forman parte de la Normativa SCT, particularmente las siguientes:

NORMAS Y MANUAL	DESIGNACIÓN
Subbases y Bases	N-CTR-CAR-1-04-002
Poliductos para Fibra Óptica en el Acotamiento de Carreteras	N-CTR-CAR-1-08-001
Registros para Fibra Óptica en el Acotamiento de Carreteras	N-CTR-CAR-1-08-002
Calidad de Materiales Asfálticos	N-CMT-4-05-001
Muestreo de Materiales Asfálticos	M-MMP-4-05-001

D. TABLAS DE NÚMEROS ALEATORIOS

Una tabla de números aleatorios es una disposición de números con una cierta cantidad prefijada de dígitos obtenidos estrictamente al azar, que se utiliza para definir el lugar en donde se obtendrá la o las muestras de un lote de material o de un volumen de obra, para lo que se puede introducir en una urna los 10 dígitos (del 0 al 9), se saca uno al azar, se anota la cifra, se reintegra inmediatamente a la urna y se repite el procedimiento hasta completar todos los números.

D.1. TABLA DE NÚMEROS ALEATORIOS SIMPLE

La Tabla 1 de este Manual, que principalmente se utiliza para la selección de muestras que se obtengan de lotes o conjuntos de objetos que sean similares entre sí y que se denomina *Tabla de números aleatorios simple*, contiene números de dos cifras, dispuestos al azar en 25 columnas y 50 renglones.

D.2. TABLA DE NÚMEROS ALEATORIOS COMPUESTA

La Tabla 2 de este Manual, que principalmente se utiliza para la selección de muestras que se obtengan de superficies regulares y que se denomina *Tabla de números aleatorios compuesta*, está formada por 28 columnas, cada una se divide en 3 subcolumnas y 30 renglones. La primera subcolumna (N°) contiene el número del renglón y en las dos siguientes ("A" y "B") están dispuestos los números aleatorios, que en este caso son de 3 dígitos precedidos por el signo decimal. Cuando se formó la tabla los números de los renglones estaban dispuestos en forma ordenada, pero una vez anotados los números aleatorios y con el propósito de facilitar la utilización de la tabla, los renglones se acomodaron de manera que los números aleatorios de la subcolumna "A" quedarán ordenados en forma creciente, por lo que los números de los renglones están dispuestos aleatoriamente.

D.3. UTILIZACIÓN DE LAS TABLAS DE NÚMEROS ALEATORIOS

En todos los casos, para la selección al azar de las muestras o de los elementos que las componen, puede usarse cualquier tabla de números aleatorios, pero estableciendo una secuencia de utilización que garantice que todos y cada uno de los elementos de la población por muestrear, tengan exactamente la misma probabilidad de ser seleccionados.

Una vez establecida la secuencia de utilización de la tabla para el muestreo de una población específica o de un proceso de producción determinado, dicha secuencia debe ser documentada detalladamente y aplicada siempre que se seleccionen muestras de esa población o proceso.

En las Cláusulas E. y F. se describen las secuencias de utilización de las tablas a que se refieren las Fracciones D.1. y D.2. de este Manual, que se recomiendan para la selección de muestras o de los elementos que las componen, que se obtengan de lotes o de superficies regulares, respectivamente

E. SELECCIÓN DE MUESTRAS QUE SE OBTENGAN DE LOTES

Para la selección de muestras o de los elementos que las compongan, que se obtengan de lotes o conjuntos de objetos que sean similares entre sí, se recomienda la utilización de la *Tabla de números aleatorios simple*, que se muestra en la Tabla 1 de este Manual, utilizando la siguiente secuencia:

E.1. SECUENCIA PARA LA UTILIZACIÓN DE LA TABLA DE NÚMEROS ALEATORIOS SIMPLE

E.1.1. Se determina el tamaño de la muestra o número de elementos por seleccionar (n), conforme a los criterios establecidos en las Normas aplicables contenidas en los Libros CTR. *Construcción*, CSV. *Conservación* y CMT. *Características de los Materiales*, así como en los Manuales del Libro MMP. *Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales*.

E.1.2. Se numeran todos los elementos del lote por muestrear, desde 1 hasta el número total de elementos (Lo).

TABLA 1.- Tabla de números aleatorios simple

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

Ejemplo 2

Ejemplo 1

- E.1.3.** En dos urnas, una que se denomine *columnas* y la otra *renglones*, se introducen fichas numeradas, del 1 al 25 en la primera y del 1 al 50 en la segunda. De cada urna se saca al azar una ficha para determinar la columna y el renglón donde debe iniciarse la utilización de la tabla.
- E.1.4.** En la Tabla 1 de este Manual, a partir de la columna y renglón que se hayan determinado como se indica en el Inciso anterior y verticalmente hacia abajo, se buscan los números aleatorios que sean menores o iguales que el número total de elementos del lote (L_o), hasta obtener los números de los n elementos que han de muestrearse.
- E.1.4.1.** Si el número total de elementos del lote (L_o) es menor o igual que 100, el 00 de la tabla se considera como 100. Si L_o es mayor de 100 pero menor de 10 000, se utilizan simultáneamente 2 columnas contiguas, la determinada como se indica en el Inciso E.1.3. de este Manual y la inmediata siguiente, con el propósito de tener el número de dígitos necesarios para seleccionar los elementos por muestrear.
- E.1.4.2.** Si durante la búsqueda se repite un número, el segundo se elimina y se prosigue la búsqueda.
- E.1.4.3.** Si antes de haber determinado los n números de los elementos por muestrear, se termina(n) la(s) columna(s) en la(s) que se inició la búsqueda, ésta se continúa en la(s) siguiente(s) columna(s) desde el renglón 1 y así sucesivamente hasta concluir el proceso. Si es la columna 25ª la que se termina, la búsqueda se continúa en el renglón 1 de la columna 1.

E.2. EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN DE LA TABLA DE NÚMEROS ALEATORIOS SIMPLE

E.2.1. Ejemplo 1

Supóngase que se desea tomar una muestra integral de un lote de $L_o = 70$ recipientes que contienen emulsión asfáltica, con el propósito de ejecutar las pruebas que permitan verificar que ese material cumple con las características establecidas en la Norma N-CMT-4-05-001: *Calidad de Materiales Asfálticos*.

- E.2.1.1.** El número de recipientes por muestrear para obtener la muestra integral, conforme a lo señalado en la Tabla 3 del Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*, es $n = 5$. De cada uno se tomará una porción de 4 L, como se indica en ese Manual.
- E.2.1.2.** Se numera cada uno de los 70 (L_o) recipientes del lote.
- E.2.1.3.** De las urnas denominadas *columnas* y *renglones*, se extrae al azar una ficha de cada una, que determinan, la primera el número de la columna y la segunda, el del renglón de la tabla donde se iniciará la búsqueda. Supóngase que para este ejemplo se obtuvieron la columna 20 y el renglón 47.
- E.2.1.4.** A partir de la columna 20 y el renglón 47 de la *Tabla de números aleatorios simple*, se inicia la búsqueda de los primeros 5 (n) números menores o iguales que 70 (L_o), que resultan ser 23, 65 y, continuando la búsqueda a partir del renglón 1 de la columna 21, 68, 09 y 56, como se muestra en la Tabla 1 de este Manual, donde puede observarse que los números 23 y 68, ubicados en los renglones 47 de la columna 20 y 2 de la columna 21, se repitieron en los renglones 49 de la columna 20 y 4 de la columna 21, respectivamente, por lo que éstos dos últimos fueron eliminados.

En conclusión, los recipientes de los que se tomarán las porciones para obtener la muestra integral, son los números 9, 23, 56, 65 y 68.

TABLA 2.- Tabla de números aleatorios compuesta
(Columnas 01 a 14 de 28)

COLUMNA 01			COLUMNA 02			COLUMNA 03			COLUMNA 04			COLUMNA 05			COLUMNA 06			COLUMNA 07		
Nº	A	B																		
15	.045	.075	17	.014	.363	21	.051	.071	18	.029	.521	17	.030	.879	30	.027	.987	20	.032	.686
21	.080	.571	05	.042	.032	10	.064	.893	24	.062	.552	26	.059	.420	21	.086	.396	12	.061	.039
30	.121	.381	18	.043	.113	30	.089	.939	14	.074	.309	24	.075	.300	10	.131	.876	22	.128	.300
23	.134	.990	28	.107	.079	25	.153	.689	10	.096	.256	07	.128	.157	29	.139	.945	18	.141	.403
24	.138	.122	06	.145	.163	29	.187	.358	28	.127	.075	28	.147	.614	20	.168	.455	03	.143	.812
08	.139	.262	26	.169	.851	18	.200	.470	19	.187	.628	03	.165	.658	01	.175	.097	13	.209	.158
19	.214	.295	02	.211	.386	24	.224	.184	01	.204	.571	29	.221	.677	24	.178	.016	29	.215	.311
11	.219	.421	04	.214	.572	14	.275	.023	13	.261	.288	06	.240	.323	06	.245	.925	16	.244	.056
29	.233	.873	03	.264	.074	01	.316	.941	30	.266	.681	11	.259	.182	02	.260	.898	28	.248	.674
16	.326	.953	07	.277	.536	06	.361	.043	22	.269	.838	15	.261	.827	14	.334	.475	11	.287	.372
17	.348	.308	30	.310	.155	26	.381	.157	05	.278	.789	22	.271	.526	05	.362	.655	02	.296	.104
06	.378	.989	21	.318	.787	23	.390	.475	08	.283	.305	14	.379	.051	09	.379	.118	24	.316	.693
07	.385	.831	11	.409	.075	11	.417	.088	02	.337	.182	13	.421	.478	13	.409	.205	14	.376	.640
02	.397	.001	15	.410	.710	07	.436	.316	06	.346	.715	21	.460	.736	26	.422	.088	15	.438	.363
13	.411	.557	29	.461	.302	13	.461	.406	15	.401	.484	12	.467	.780	25	.444	.535	19	.487	.064
25	.426	.783	14	.483	.678	20	.471	.745	25	.440	.139	30	.499	.321	17	.471	.811	09	.507	.768
01	.473	.738	19	.560	.953	03	.494	.648	27	.585	.090	01	.510	.357	04	.475	.603	06	.507	.104
18	.531	.993	27	.603	.530	27	.499	.271	09	.603	.634	18	.518	.397	23	.564	.993	27	.575	.741
20	.560	.406	09	.620	.583	12	.562	.095	21	.607	.859	05	.540	.893	15	.678	.821	10	.619	.306
27	.674	.054	13	.623	.892	08	.652	.329	17	.697	.867	23	.587	.298	28	.697	.394	23	.623	.508
22	.737	.928	08	.640	.508	17	.661	.747	23	.698	.770	08	.610	.290	11	.793	.904	30	.637	.851
12	.744	.014	10	.641	.929	16	.691	.081	11	.710	.171	02	.797	.890	03	.816	.872	21	.644	.810
04	.745	.967	20	.641	.611	02	.731	.294	20	.745	.012	10	.809	.534	27	.819	.599	26	.665	.836
09	.802	.491	23	.836	.814	19	.813	.298	26	.747	.511	25	.826	.366	07	.835	.925	04	.672	.603
10	.815	.874	12	.845	.726	04	.841	.470	03	.834	.346	16	.863	.812	16	.846	.504	07	.854	.627
05	.846	.823	24	.855	.491	22	.842	.142	20	.848	.757	19	.863	.140	18	.859	.560	05	.855	.344
14	.851	.546	16	.930	.264	15	.848	.601	12	.902	.873	27	.871	.742	19	.861	.552	17	.861	.166
28	.870	.220	01	.960	.204	09	.911	.504	04	.914	.367	04	.880	.327	08	.872	.932	01	.954	.376
26	.900	.999	22	.961	.215	28	.929	.365	29	.915	.190	09	.919	.002	12	.914	.582	25	.969	.947
03	.983	.753	25	.984	.082	05	.973	.252	16	.992	.398	20	.958	.884	22	.264	.359	08	.978	.799

COLUMNA 08			COLUMNA 09			COLUMNA 10			COLUMNA 11			COLUMNA 12			COLUMNA 13			COLUMNA 14		
Nº	A	B																		
15	.033	.102	25	.036	.994	13	.042	.220	25	.013	.901	12	.048	.175	20	.051	.091	01	.035	.290
01	.090	.465	19	.089	.055	12	.073	.612	06	.074	.032	30	.101	.391	28	.066	.568	10	.047	.878
11	.105	.599	09	.102	.159	18	.085	.156	07	.126	.954	02	.114	.741	12	.068	.056	09	.096	.295
16	.123	.709	28	.138	.616	26	.088	.916	26	.129	.925	28	.115	.076	22	.149	.524	06	.133	.230
06	.123	.187	18	.158	.371	05	.114	.576	22	.136	.271	26	.126	.469	29	.225	.615	15	.180	.640
07	.141	.400	14	.166	.988	30	.153	.841	23	.161	.533	18	.138	.400	04	.227	.034	16	.193	.564
09	.179	.901	12	.197	.101	21	.166	.189	18	.164	.447	27	.154	.919	03	.254	.430	20	.268	.073
20	.190	.366	05	.205	.767	25	.202	.115	08	.194	.610	20	.187	.633	19	.259	.277	02	.304	.938
25	.247	.063	11	.230	.715	23	.285	.030	20	.205	.117	22	.192	.557	01	.297	.689	18	.348	.080
14	.340	.291	15	.234	.120	01	.380	.270	15	.237	.520	16	.253	.576	18	.328	.066	26	.352	.315
22	.411	.696	13	.283	.645	15	.389	.787	14	.320	.292	15	.353	.156	07	.374	.773	07	.369	.284
18	.423	.754	10	.328	.457	24	.395	.651	04	.359	.734	21	.432	.958	17	.403	.490	30	.369	.641
30	.425	.276	01	.387	.216	10	.416	.543	09	.476	.991	04	.447	.014	23	.411	.925	13	.372	.706
13	.432	.242	24	.481	.712	04	.485	.321	16	.478	.352	13	.487	.992	24	.439	.484	19	.399	.961
17	.511	.880	20	.508	.266	29	.515	.511	11	.503	.990	01	.489	.291	06	.450	.653	24	.410	.761
10	.532	.885	30	.518	.484	27	.542	.930	01	.552	.077	10	.517	.841	10	.486	.495	21	.445	.360
28	.550	.834	23	.561	.798	08	.546	.468	12	.556	.179	25	.557	.073	13	.511	.253	11	.492	.190
26	.563	.502	08	.564	.089	22	.566	.620	10	.559	.197	19	.593	.474	26	.519	.222	12	.531	.959
03	.576	.396	03	.629	.112	19	.597	.298	28	.621	.917	11	.604	.980	09	.543	.339	03	.561	.999
19	.675	.770	04	.650	.519	14	.635	.198	30	.692	.459	29	.665	.740	15	.601	.894	22	.629	.428
21	.679	.140	02	.705	.049	06	.650	.038	19	.714	.762	14	.680	.281	30	.668	.138	05	.651	.748
24	.681	.502	29	.719	.073	16	.661	.853	02	.739	.273	07	.712	.392	11	.692	.386	23	.727	.674
05	.711	.934	21	.749	.253	20	.753	.382	13	.780	.739	08	.739	.298	25	.708	.597	29	.790	.444
27	.765	.695	06	.806	.299	25	.758	.508	24	.792	.183	06	.778	.371	14	.807	.093	17	.803	.130
08	.806	.199	22	.829	.730	17	.781	.187	27	.804	.608	23	.780	.602	16	.843	.548	04	.810	.307
12	.830	.837	16	.837	.464	11	.838	.675	05	.818	.906	24	.843	.888	05	.862	.891	14	.823	.319
23	.858	.330	17	.861	.173	09	.843	.497	17	.884	.133	17	.878	.692	08	.870	.662	26	.874	.935
29	.904	.384	26	.926	.264	02	.912	.582	03	.912	.635	03	.903	.223	21	.892	.206	08	.924	.490
04	.920	.142	27	.935	.367	03	.939	.162	29	.939	.327	09	.945	.099	02	.937	.752	27	.959	.463
02	.978	.990	07	.977	.962	07	.976	.046	21	.974	.114	05	.969	.135	27	.946	.797	25	.970	.483

TABLA 2.- Tabla de números aleatorios compuesta (continuación)
(Columnas 15 a 28 de 28)

COLUMNA 15			COLUMNA 16			COLUMNA 17			COLUMNA 18			COLUMNA 19			COLUMNA 20			COLUMNA 21					
Nº	A	B	Nº	A	B																		
09	.024	.863	02	.033	.198	26	.010	.881	27	.062	.946	16	.023	.779	03	.036	.004	26	.033	.187			
02	.052	.746	14	.050	.386	30	.034	.493	20	.105	.481	06	.087	.867	07	.065	.218	17	.078	.980			
17	.102	.330	03	.068	.639	09	.105	.661	24	.114	.341	17	.100	.228	12	.093	.656	28	.095	.360			
05	.105	.257	18	.110	.507	27	.120	.026	06	.118	.291	23	.112	.371	28	.143	.172	10	.098	.681			
03	.177	.397	25	.121	.844	05	.146	.864	10	.133	.176	10	.132	.012	26	.150	.062	13	.158	.834			
28	.210	.054	16	.124	.840	12	.158	.520	15	.194	.337	04	.167	.899	02	.156	.037	08	.227	.327			
08	.215	.363	10	.144	.799	13	.185	.311	01	.208	.356	12	.188	.317	25	.224	.402	29	.252	.799			
01	.216	.565	24	.264	.012	21	.235	.217	04	.211	.195	25	.208	.157	01	.249	.070	14	.277	.589			
14	.243	.001	09	.320	.477	16	.255	.087	17	.285	.365	02	.301	.488	06	.270	.159	24	.291	.767			
20	.248	.171	11	.337	.844	17	.275	.994	26	.333	.212	01	.305	.407	30	.272	.166	18	.304	.223			
23	.274	.107	20	.350	.357	02	.302	.180	22	.363	.883	28	.352	.893	24	.311	.710	02	.311	.289			
18	.286	.318	01	.364	.928	08	.302	.916	29	.372	.405	15	.382	.824	13	.324	.237	06	.323	.392			
04	.338	.412	20	.446	.280	23	.394	.282	11	.377	.643	13	.405	.577	23	.336	.111	20	.331	.607			
15	.392	.694	22	.479	.792	20	.451	.981	14	.387	.841	19	.423	.676	16	.430	.776	27	.388	.921			
16	.524	.998	13	.487	.440	10	.461	.903	28	.421	.374	29	.441	.141	10	.453	.583	30	.409	.779			
12	.562	.403	29	.491	.462	22	.494	.238	05	.469	.672	03	.461	.275	27	.497	.792	03	.466	.882			
22	.572	.306	19	.503	.085	01	.512	.943	09	.481	.225	18	.632	.622	21	.509	.486	25	.474	.271			
07	.574	.599	04	.548	.862	11	.539	.651	21	.527	.329	07	.650	.804	17	.575	.769	22	.525	.536			
11	.601	.417	27	.632	.524	07	.539	.595	18	.664	.620	08	.688	.809	08	.623	.401	16	.620	.675			
13	.634	.908	08	.634	.758	03	.587	.207	02	.707	.927	05	.695	.318	05	.625	.428	21	.631	.689			
21	.672	.320	06	.636	.078	24	.604	.487	25	.728	.972	11	.701	.076	18	.668	.679	05	.689	.387			
19	.709	.717	05	.728	.205	29	.617	.827	19	.733	.041	24	.715	.107	20	.674	.385	15	.711	.520			
26	.735	.040	17	.748	.647	14	.801	.584	16	.749	.832	21	.726	.232	19	.680	.948	12	.759	.089			
30	.756	.919	15	.753	.687	15	.835	.529	30	.770	.294	27	.780	.790	15	.714	.161	11	.777	.732			
29	.834	.647	07	.816	.866	25	.838	.568	03	.845	.145	26	.837	.920	11	.756	.366	19	.780	.435			
10	.841	.414	28	.828	.783	06	.878	.828	13	.849	.215	20	.850	.881	09	.867	.443	04	.782	.983			
24	.854	.818	23	.895	.420	18	.931	.809	07	.859	.555	14	.867	.832	14	.874	.109	07	.872	.009			
25	.865	.377	21	.931	.538	04	.952	.539	08	.863	.659	22	.925	.020	22	.884	.186	01	.921	.714			
27	.951	.601	26	.948	.020	19	.961	.147	23	.977	.980	09	.951	.722	29	.963	.612	09	.932	.817			
06	.970	.582	12	.993	.399	28	.971	.177	12	.981	.369	30	.958	.056	04	.982	.624	23	.947	.065			

COLUMNA 22			COLUMNA 23			COLUMNA 24			COLUMNA 25			COLUMNA 26			COLUMNA 27			COLUMNA 28		
Nº	A	B																		
12	.039	.952	26	.030	.935	16	.066	.465	02	.073	.716	16	.052	.023	21	.026	.979	29	.015	.576
11	.068	.886	03	.060	.411	08	.074	.588	26	.073	.191	01	.057	.097	17	.061	.284	07	.053	.293
30	.087	.744	13	.061	.073	11	.094	.848	16	.084	.853	04	.126	.221	06	.100	.271	10	.076	.649
01	.091	.565	29	.111	.346	18	.151	.776	11	.122	.434	22	.136	.180	05	.102	.512	25	.089	.624
17	.100	.054	24	.179	.957	17	.154	.899	14	.158	.228	13	.145	.937	10	.118	.161	20	.233	.131
10	.244	.316	18	.202	.827	21	.162	.388	05	.185	.013	07	.196	.890	16	.127	.482	23	.236	.208
23	.245	.068	09	.222	.757	01	.171	.577	28	.220	.077	20	.209	.818	07	.262	.867	09	.238	.602
21	.283	.212	06	.233	.348	03	.227	.223	10	.273	.248	05	.232	.440	25	.297	.273	13	.264	.529
22	.290	.911	11	.234	.433	10	.252	.633	15	.280	.688	30	.248	.992	13	.317	.603	03	.284	.159
02	.305	.651	22	.255	.199	12	.274	.798	07	.285	.144	06	.262	.144	08	.319	.418	26	.352	.556
19	.371	.760	08	.267	.539	26	.299	.849	06	.290	.480	10	.282	.849	02	.363	.012	02	.358	.074
16	.412	.546	20	.317	.497	25	.351	.025	18	.306	.040	02	.405	.846	27	.429	.830	30	.404	.864
27	.415	.342	21	.331	.700	20	.351	.648	22	.370	.717	19	.420	.814	14	.437	.979	17	.417	.540
03	.467	.080	07	.356	.936	05	.393	.807	21	.371	.993	12	.453	.635	20	.448	.336	27	.432	.112
15	.472	.598	27	.408	.653	06	.438	.003	24	.437	.365	09	.465	.333	26	.478	.089	05	.455	.025
28	.488	.366	28	.542	.693	27	.472	.786	17	.467	.216	18	.473	.585	28	.496	.811	14	.472	.038
06	.498	.203	17	.566	.354	24	.503	.865	27	.488	.357	08	.511	.396	12	.508	.117	21	.515	.091
09	.523	.191	16	.594	.375	09	.583	.838	30	.587	.837	15	.515	.748	29	.516	.111	12	.520	.313
13	.567	.206	30	.613	.374	07	.591	.838	19	.594	.774	03	.557	.654	23	.573	.572	04	.591	.563
29	.604	.413	04	.687	.895	13	.624	.101	09	.610	.154	26	.571	.777	18	.618	.927	28	.612	.659
14	.673	.683	02	.696	.291	04	.651	.107	03	.670	.759	14	.725	.884	19	.654	.978	06	.625	.841
26	.699	.425	05	.709	.106	22	.703	.498	12	.715	.441	25	.767	.364	04	.702	.179	16	.709	.114
18	.714	.148	19	.741	.156	19	.717	.097	08	.739	.445	29	.802	.856	01	.720	.585	22	.736	.629
04	.763	.614	14	.798	.892	02	.730	.916	20	.771	.106	24	.840	.712	22	.738	.605	08	.779	.508
20	.787	.802	15	.820	.982	23	.752	.333	25	.774	.162	11	.863	.004	11	.804	.285	15	.833	.849
25	.858	.631	12	.867	.827	29	.760	.128	23	.776	.324	28	.870	.625	03	.818	.633	19	.844	.384
05	.896	.523	10	.882	.524	28	.881	.976	01	.847	.353	27	.874	.928	30	.916	.047	01	.891	.134
08	.917	.263	23	.909	.462	14	.886	.964	29	.929	.952	23	.885	.718	09	.929	.856	18	.906	.116
07	.945	.989	01	.918	.194	30	.929	.356	04	.935	.700	21	.906	.887	24	.956	.482	11	.943	.163
24	.948	.610	25	.975	.811	15	.988	.172	13	.937	.494	17	.950	.183	15	.958	.584	24	.974	.633

E.2.2. Ejemplo 2

Supóngase que se desea determinar la compactación del relleno de un conjunto de $L_o = 24$ registros para fibra óptica en el acotamiento de una carretera en construcción, como se establece en la Fracción H.2. de la Norma N-CTR-CAR-1-08-002, *Registros para Fibra Óptica en el Acotamiento de Carreteras*.

- E.2.2.1.** El Inciso H.2.1. de la Norma N-CTR-CAR-1-08-002, *Registros para Fibra Óptica en el Acotamiento de Carreteras*, establece que se deben realizar las verificaciones en una cala por cada 6 registros instalados, por lo que se ejecutarán $n = 4$ verificaciones:

$$n = \frac{L_o}{6} = \frac{24}{6} = 4$$

Donde:

n = Número de elementos por muestrear

L_o = Número total de elementos que componen el lote

- E.2.2.2.** Se numera cada uno de los 24 (L_o) registros en el sentido del cadenamamiento.

- E.2.2.3.** De las urnas denominadas *columnas* y *renglones*, se extrae al azar una ficha de cada una, que determinan, la primera el número de la columna y la segunda el del renglón de la tabla donde se iniciará la búsqueda. Supóngase que para este ejemplo se obtuvieron la columna 17 y el renglón 25.

- E.2.2.4.** A partir de la columna 17 y el renglón 25 de la *Tabla de números aleatorios simple*, se inicia la búsqueda de los primeros 4 (n) números menores o iguales que 24 (L_o), que resultan ser 18, 01, 10 y 03 como se muestra en la Tabla 1 de este Manual.

En conclusión, los registros donde se ejecutarán las calas, son los números 1, 3, 10 y 18.

F. SELECCIÓN DE MUESTRAS QUE SE OBTENGAN DE SUPERFICIES REGULARES

Para la selección de muestras o de los elementos que las compongan, que se obtengan de superficies regulares, se recomienda la utilización de la *Tabla de números aleatorios compuesta*, que se muestra en la Tabla 2 de este Manual, utilizando la siguiente secuencia:

F.1. SECUENCIA PARA LA UTILIZACIÓN DE LA TABLA DE NÚMEROS ALEATORIOS COMPUESTA

- F.1.1.** Se determina el tamaño de la muestra o número de elementos por seleccionar (n), conforme a los criterios establecidos en las Normas aplicables contenidas en los Libros CTR. *Construcción*, CSV. *Conservación* y CMT. *Características de los Materiales*, así como en los Manuales del Libro MMP. *Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales*.
- F.1.2.** En una urna que se denomine *columnas*, se introducen fichas numeradas, del 1 al 28 y se saca al azar una ficha para determinar la columna que se utilizará de la Tabla 2 de este Manual.
- F.1.3.** En la subcolumna "Nº" de la columna determinada como se indica en el Inciso anterior y verticalmente hacia abajo, se buscan los números que sean menores o iguales que el número de elementos por seleccionar (n).
- F.1.4.** Se anotan los números buscados de la subcolumna "Nº", en el orden en que se vayan encontrando, junto con los números aleatorios de las subcolumnas "A" y "B" de la misma columna y del renglón correspondiente. Para ello, se puede usar una tabla como las mostradas en las Tablas 3 y 4 de este Manual.
- F.1.5.** En cada renglón de la tabla a que se refiere el Inciso anterior, se multiplica el número que se obtuvo de la subcolumna "A" por la longitud (L) de la superficie, para obtener la distancia

longitudinal (d_L) donde se ubique el elemento seleccionado, medida desde uno de los extremos de la superficie entre los que se midió su longitud. Todos los elementos que se seleccionen se ubicarán longitudinalmente a partir del mismo extremo de la superficie.

Si la superficie está cadeneada, la distancia determinada (d_L) será al cadenamiento en el que se inicia la superficie (C_o) y si se suman ambos ($C_o + d_L$), se obtiene el cadenamiento del elemento seleccionado, como se ejemplifica en la Tabla 3 de este Manual.

- F.1.6.** En cada renglón de la tabla a que se refiere el Inciso F.1 4., se multiplica el número que se obtuvo de la subcolumna "B" por el ancho (A) de la superficie, para obtener la distancia transversal (d_A) donde se ubique el elemento seleccionado, medida desde uno de los extremos de la superficie entre los que se midió su ancho. Todos los elementos que se seleccionen se ubicarán transversalmente a partir del mismo extremo de la superficie.

Si se desea referir la posición transversal del elemento seleccionado al eje longitudinal de la superficie, la distancia transversal a dicho eje (d_A') será:

$$d_A' = d_A - \frac{A}{2}$$

Donde:

d_A' = Distancia transversal al eje longitudinal de la superficie, donde se ubicará el elemento seleccionado, (m). Si d_A' resulta positiva, la distancia se mide hacia la izquierda del eje y si resulta negativa, hacia la derecha.

d_A = Distancia transversal a un extremo de la superficie, que se obtiene multiplicando el número aleatorio de la subcolumna "B" de la columna seleccionada de la Tabla 2 de este Manual por el ancho de la superficie, (m)

A = Ancho de la superficie, (m)

F.2. EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN DE LA TABLA DE NÚMEROS ALEATORIOS COMPUESTA

F.2.1. Ejemplo 3

Supóngase que se desea determinar la compactación de la base hidráulica de una carretera en construcción, como se establece en la Fracción H.3 de la Norma N-CTR-CAR-1-04-002, *Subbases y Bases*, en un tramo con una longitud de $L = 250$ m, que se inicia en el km 73+200 y termina en el km 73+450, con un ancho de $A = 11$ m.

- F.2.1.1.** El número de calas en las que se determinará la compactación, conforme a lo señalado en la Fracción H.3. de la Norma N-CTR CAR-1-04-002, *Subbases y Bases*, es de una por cada 50 metros de longitud del tramo, por lo que:

$$n = \frac{250}{50} = 5$$

- F.2.1.2.** De la urna denominada *columnas*, se extrae al azar una ficha que determina la columna de la Tabla 2 de este Manual que se utilizará para seleccionar los sitios donde han de ejecutarse las calas. Supóngase que para este ejemplo se obtuvo la columna 3.

- F.2.1.3.** En la subcolumna "Nº" de la columna 3 de la *Tabla de números aleatorios compuesta*, se buscan los números menores o iguales que 5 (n), que se anotan en el orden en que se encontraron, en una tabla como la mostrada en la Tabla 3, junto con los correspondientes números aleatorios de las subcolumnas "A" y "B", y se calculan el cadenamiento de cada punto seleccionado y su distancia transversal al eje del tramo, como se indica en la misma Tabla 3, de forma que las calas quedan ubicadas como se muestra en la Figura 1 de este Manual.

TABLA 3.- Selección de los elementos por muestrear, mediante la Tabla de números aleatorios compuesta (Ejemplo 3)

Columna seleccionada de la Tabla de números aleatorios compuesta: 3							Fecha: _____	
Cadenamiento al origen del tramo: Km ₁ = 73+200		Cadenamiento al término del tramo: Km ₁ = 73+450		Longitud del tramo: L= 250 m		Ancho del tramo: A= 11 m		
N°	A	B	Distancia longitudinal (m) <i>d_L</i>	Distancia Transversal (m) <i>d_A</i>	Cadenamiento del sitio seleccionado (km)	Distancia transversal al eje, (m) <i>d_A'</i>	Lado	
	(a)	(b)	(a × L)	(b × A)	(km ₁ + <i>d_L</i>)	(<i>d_A</i> - A/2)		
01	0,316	0,914	79,00	10,05	73 + 279,00	4,55	Izquierdo	
03	0,494	0,648	123,50	7,12	73 + 323,50	1,63	Izquierdo	
02	0,731	0,294	182,75	3,23	73 + 382,75	-2,27	Derecho	
04	0,841	0,470	210,25	5,17	73 + 410,25	-0,33	Derecho	
05	0,973	0,252	243,25	2,77	73 + 443,25	-2,73	Derecho	

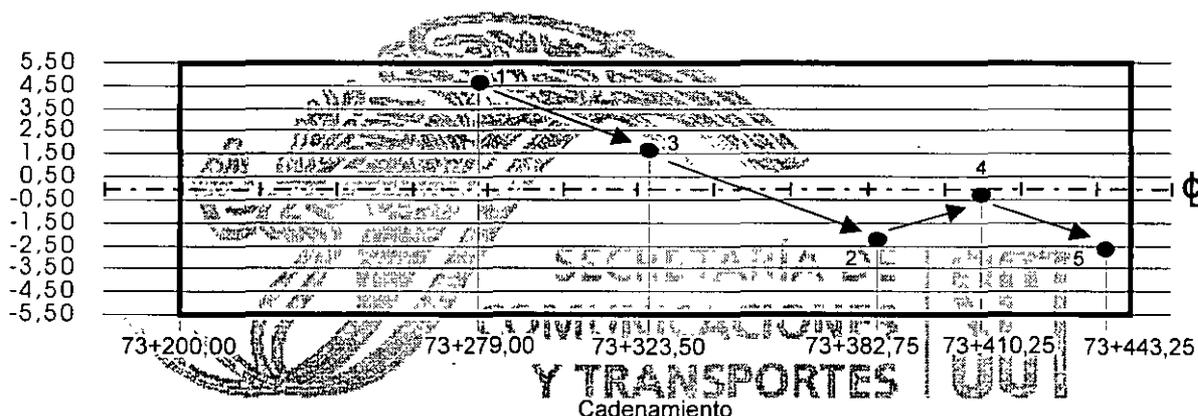


FIGURA 1.- Ubicación de los sitios donde se ejecutarán las calas a que se refiere el ejemplo 3 de este Manual

F.2.2. Ejemplo 4

Supóngase que se desea verificar la compactación del relleno para restablecer el pavimento en una zanja donde se instaló un poliducto para fibra óptica, en el acotamiento de una carretera en construcción, como se establece en la Fracción H.3. de la Norma N-CTR-CAR-1-08-001, *Poliductos para Fibra Óptica en el Acotamiento de Carreteras*, en un tramo con una longitud de $L = 800$ m, que se inicia en el km 105+100 y termina en el km 105+900.

F.2.2.1. El número de calas en las que se determinará la compactación, conforme a lo señalado en la Fracción H.3. de la Norma N-CTR-CAR-1-08-001, *Poliductos para Fibra Óptica en el Acotamiento de Carreteras*, es de una por cada 200 metros de longitud del tramo, por lo que:

$$n = \frac{800}{200} = 4$$

F.2.2.2. De la urna denominada *columnas*, se extrae al azar una ficha que determina la columna de la Tabla 2 de este Manual que se utilizará para seleccionar los sitios donde han de ejecutarse las calas. Supóngase que para este ejemplo se obtuvo la columna 18.

F.2.2.3. En la subcolumna "N°" de la columna 18 de la *Tabla de números aleatorios compuesta*, se buscan los números menores o iguales que 4 (*n*), que se anotan en el orden en que se encontraron, en una tabla como la mostrada en la Tabla 4, junto con el correspondiente número aleatorio de la subcolumna "A", y se calcula el cadenamiento de cada punto seleccionado como se indica en la misma Tabla 4. En este caso y debido a que el ancho de la zanja es de tan sólo 15 cm, no es necesario determinar las distancias transversales al eje de la zanja, por lo que no se utilizan los números de la subcolumna "B". De esta manera los sitios seleccionados quedan en los cadenamientos 105+266,40, 105+268,80, 105+665.60 y 105+776,00.

TABLA 4.- Selección de los elementos por muestrear, mediante la *Tabla de números aleatorios compuesta* (Ejemplo 4)

Columna seleccionada de la <i>Tabla de números aleatorios compuesta</i> : 18		Fecha:					
Cadenamiento al origen del tramo:	Cadenamiento al término del tramo:	Longitud del tramo:	Ancho del tramo:				
Km ₁ = 105+100	Km ₁ = 105+900	L= 800 m	A= 0,15 m				
N°	A	B	Distancia longitudinal (m)	Distancia Transversal (m)	Cadenamiento del sitio seleccionado (km)	Distancia transversal al eje, (m)	Lado
	(a)	(b)	(a × L)	(b × A)	(km ₁ + d _i)	(d _i - A/2)	
01	0,208		166,40		105 + 266,40		
04	0,211		168,80		105 + 268,80		
02	0,707		565,60		105 + 665,60		
03	0,845		676,00		105 + 776,00		

G. REFLEXIONES FINALES

Como puede observarse en los ejemplos contenidos en las Cláusulas E. y F. de este Manual, la distribución de las muestras o de los elementos que las componen, que se hayan seleccionado al azar mediante la utilización de tablas de números aleatorios, no resultan equidistantes ni su ubicación sigue las leyes que son usuales en otros tipos de muestreo, ya que todos los miembros de la población por muestrear tuvieron la misma probabilidad de ser seleccionados.

La selección al azar de las muestras o de sus elementos se hace una vez que esté disponible la población por muestrear e inmediatamente antes de proceder al muestreo, pues si la selección se realiza con anticipación, antes de que la población esté disponible, se corre el riesgo de influenciar el proceso de producción, que tenderá a lograr mejor calidad en los elementos que se hayan seleccionado.

Una vez seleccionadas las muestras o sus elementos, se tomarán en la forma que establezcan las Normas aplicables contenidas en los Libros CTR. *Construcción*, CSV. *Conservación* y CMT. *Características de los Materiales*, así como los Manuales del Libro MMP *Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales*.

LIBRO: CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

PARTE: 1. MATERIALES PARA TERRACERÍAS

TÍTULO: 01. Materiales para Terraplén

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los requisitos de calidad de los materiales que se utilicen en la construcción de terraplenes.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Los materiales para terraplén son suelos y fragmentos de roca, producto de los cortes o de la extracción en bancos, que se utilizan para formar el cuerpo de un terraplén hasta el nivel de desplante de la capa subyacente.

La clasificación de los suelos y fragmentos a que se refiere esta Norma, se describe en el Manual M-MMP-1-02, *Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos*.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con los siguientes:

MANUALES	DESIGNACIÓN
Muestreo de Materiales para Terracerías	M-MMP-1-01
Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos	M-MMP-1-02
Contenido de Agua	M-MMP-1-04
Límites de Consistencia	M-MMP-1-07
Compactación AASHTO	M-MMP-1-09
Grado de Compactación	M-MMP-1-10
Valor Soporte de California (CBR) y Expansión en Laboratorio	M-MMP-1-11

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N CMT-1-01/02

D. REQUISITOS DE CALIDAD

Los materiales que se utilicen para la formación de terraplenes cumplirán con los requisitos de calidad que se establecen en la Tabla 1 de esta Norma, a menos que exista un estudio previamente aprobado por la Secretaría, que justifique el empleo de materiales con características distintas. En ningún caso se utilizarán materiales altamente orgánicos como turba (Pt), ni materiales producto de despalmes.

TABLA 1.- Requisitos de calidad de materiales para terraplén

Característica	Valor
Límite líquido; %, máximo	50
Valor Soporte de California (CBR) ^[1] ; %, mínimo	5
Expansión; %, máxima	5
Grado de compactación ^[2] ; %, mínimo	90 ± 2

[1] En especímenes compactados dinámicamente al porcentaje de compactación indicado en esta Tabla, con un contenido de agua igual al del material en el banco a 1,5 m de profundidad.

[2] Respecto a la masa volumétrica seca máxima, obtenida mediante la prueba AASHTO Estándar del material compactado con el contenido de agua óptimo de la prueba, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa. Cuando el material sea no compactable, de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-1-02, *Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos*, se colocará en capas del espesor mínimo que permita el tamaño máximo del material y se bandeará previa aplicación de un riego de agua a razón de 150 L/m² dando como mínimo tres pasadas en toda la superficie en cada capa, con un tractor de 36,7 t con orugas.

E. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

La aceptación de los materiales para terraplén por parte de la Secretaría, se hará considerando lo siguiente:

- E.1. El encargado de elaborar el estudio geotécnico o del banco, es el responsable de determinar, a nivel estudio, que el material cumpla con los requisitos de calidad indicados en esta Norma, según el tipo de material establecido en el proyecto, en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías*, mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.
- E.2. En el caso de que el Contratista de Obra seleccione el material o el banco, él será el responsable de asegurar que el material cumpla con los requisitos de calidad señalados en esta Norma, considerando lo indicado en la Fracción anterior. El Contratista de

NORMAS

N CMT-1-01/02

Obra entregará a la Secretaría un certificado de calidad que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta Norma, expedido por su propio laboratorio o por un laboratorio externo aprobado por la Secretaría.

- E.3.** Durante el proceso de producción, con objeto de controlar la calidad del material en la ejecución de la obra, el Contratista de Obra, por cada trescientos (300) metros cúbicos o fracción del material de un mismo tipo, extraído de un corte o un banco, realizará las pruebas necesarias que aseguren que cumple con el límite líquido indicado en esta Norma, entregando a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías* y mediante el procedimiento de prueba contenido en el Manual M-MMP-1-07, *Límites de Consistencia*. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría el incumplimiento de ese requisito.
- E.4.** Además de lo señalado en la Fracción anterior, el Contratista de Obra, por cada mil (1,000) metros cúbicos o fracción del material de un mismo tipo, extraído de un corte o un banco, realizará las pruebas necesarias que aseguren que cumple con todos los valores establecidos en esta Norma, entregando a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-1-01 *Muestreo de Materiales para Terracerías*, y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de cualquiera de los requisitos establecidos.
- E.5.** Una vez tendidas y compactadas las capas de terraplén, el Contratista de Obra realizará las pruebas necesarias que aseguren el cumplimiento del grado de compactación establecido en esta Norma, en el proyecto o señalado por la Secretaría, en el número y con la periodicidad indicada por los mismos, mediante el procedimiento contenido en el Manual M-MMP-1-10, *Grado de Compactación*, entregando a la Secretaría los resultados de dichas pruebas.
- E.6.** En cualquier momento, la Secretaría puede verificar que el material suministrado cumpla con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

**LIBRO: CMT. CARACTERÍSTICAS DE
LOS MATERIALES**

PARTE: 1. MATERIALES PARA TERRACERÍAS

TÍTULO: 02. Materiales para Subyacente

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los requisitos de calidad de los materiales que se utilicen en la construcción de la capa subyacente de las terracerías.

B. DEFINICIÓN

Los materiales para la capa subyacente son suelos y fragmentos de roca, producto de los cortes o de la extracción en bancos, que se utilizan para formar dicha capa inmediatamente encima del cuerpo de un terraplén.

La clasificación de los suelos y fragmentos a que se refiere esta Norma, se describe en el Manual M-MMP-1-02: *Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos*.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con los siguientes:

MANUALES	DESIGNACIÓN
Muestreo de Materiales para Terracerías	M-MMP-1-01
Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos	M-MMP-1-02
Contenido de Agua	M-MMP-1-04
Límites de Consistencia	M-MMP-1-07
Compactación AASHTO	M-MMP-1-09
Grado de Compactación	M-MMP-1-10

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N CMT-1-02/02

Valor Soporte de California (CBR) y Expansión en Laboratorio M-MMP-1-11

D. REQUISITOS DE CALIDAD

Los materiales que se utilicen para la formación de la capa subyacente, en función de sus características y de la intensidad del tránsito esperada en términos del número de ejes equivalentes de ocho comados (8,2) toneladas, acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL), cumplirán con lo que se indica a continuación, a menos que exista un estudio previamente aprobado por la Secretaría, que justifique el empleo de materiales con características distintas. En ningún caso se utilizarán materiales altamente orgánicos como turba (Pt).

D.1. Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea menor de diez mil (10 000) ejes equivalentes, no se requiere la capa subyacente.

D.2. Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea de diez mil (10 000) a un (1) millón de ejes equivalentes, el material cumplirá con los requisitos de calidad que se establecen en la Tabla 1 de esta Norma y tendrá un espesor mínimo de treinta (30) centímetros.

TABLA 1.- Requisitos de calidad de materiales para capa subyacente

Característica	Valor
Tamaño máximo y granulometría	Que sea compactable ^[1]
Límite líquido, %, máximo	50
Valor Soporte de California (CBR) ^[2] , %, mínimo	10
Expansión, %, máxima	3
Grado de compactación ^[3] , %	95 ± 2

[1] De acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP 1-02, *Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos*

[2] En especímenes compactados dinámicamente al porcentaje de compactación indicado en esta Tabla, con un contenido de agua igual al del material en el banco a 1,5 m de profundidad.

[3] Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Estándar, del material compactado con el contenido de agua óptimo de la prueba, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa.

NORMAS

N-CMT-1-02/02

- D.3.** Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea de un (1) millón a diez (10) millones de ejes equivalentes, el material cumplirá con los requisitos de calidad que se establecen en la Tabla 1 de esta Norma y tendrá un espesor mínimo de setenta (70) centímetros.
- D.4.** Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea mayor de diez (10) millones de ejes equivalentes, la capa subyacente será motivo de diseño especial.
- D.5.** Si la capa subyacente se desplanta directamente sobre el terreno de cimentación y su espesor es menor que el señalado en las Fracciones D.2. o D.3. de esta Norma, según corresponda, cuando el material del terreno de cimentación no cumpla con los requisitos establecidos en la Tabla 1, se excavará una caja hasta la profundidad necesaria para completar el espesor mínimo.

E. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES PARA SUBYACENTE

E.1. Cuando el material para subyacente sea producto de los cortes, se podrá transportar utilizando tractores o motoescrepas.

E.2. Cuando el material para subyacente sea extraído de bancos o sea necesario almacenarlo para su posterior utilización en la obra, se tendrá cuidado en su transporte y almacenamiento, con el propósito de evitar la alteración de sus características, atendiendo los siguientes aspectos:

E.2.1. El material se almacenará en un sitio específicamente destinado para tal propósito. Cuando en dicho sitio no se cuente con un firme, previamente a su utilización se deberá:

- Remover la materia vegetal y limpiar la superficie.
- Conformar, nivelar y compactar la superficie, dejando una sección transversal uniforme que permita el drenaje.

E.2.2. Los materiales constituidos por partículas de diferentes tamaños que se almacenen en los depósitos, tienden a segregarse, por lo que será necesario que al cargar el material para llevarlo al frente de trabajo, se tome desde la parte baja del depósito.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-1-02/02

- E.2.3. Los materiales se cargarán y transportarán al frente de trabajo, en vehículos con cajas cerradas o protegidas con lonas, que impidan la contaminación del entorno o que se derramen.

F. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

La aceptación de los materiales para subyacente por parte de la Secretaría, se hará considerando lo siguiente:

- F.1. El encargado de elaborar el estudio geotécnico o del banco, es el responsable de determinar, a nivel estudio, que el material cumpla con los requisitos de calidad indicados en esta Norma, según el tipo de material establecido en el proyecto, en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías*, mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

- F.2. En el caso de que el Contratista de Obra seleccione el material o el banco, él será el responsable de asegurar que el material cumpla con los requisitos de calidad señalados en esta Norma, considerando lo indicado en la Fracción anterior. El Contratista de Obra entregará a la Secretaría un certificado de calidad que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta Norma, expedido por su propio laboratorio o por un laboratorio externo aprobado por la Secretaría.

- F.3. Durante el proceso de producción, con objeto de controlar la calidad del material en la ejecución de la obra, el Contratista de Obra, por cada trescientos (300) metros cúbicos o fracción del material de un mismo tipo, extraído de un corte o un banco, realizará las pruebas necesarias que aseguren que cumple con el límite líquido indicado en esta Norma, entregando a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías* y mediante el procedimiento de prueba contenido en el Manual M-MMP-1-07, *Límites de Consistencia*. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de ese requisito.

- F.4. Además de lo señalado en la Fracción anterior, el Contratista de Obra, por cada ochocientos (800) metros cúbicos o fracción del

NORMAS

N-CMT-1-02/02

material de un mismo tipo, extraído de un corte o un banco, realizará las pruebas necesarias que aseguren que cumple con todos los valores establecidos en esta Norma, entregando a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de cualquiera de los requisitos establecidos.

F.5. Una vez tendidas y compactadas las capas subyacentes, el Contratista de Obra realizará las pruebas necesarias que aseguren el cumplimiento del grado de compactación establecido en esta Norma, en el proyecto o señalado por la Secretaría, en el número y con la periodicidad indicada por los mismos, mediante el procedimiento contenido en el Manual M-MMP-1-10, *Grado de Compactación*, entregando a la Secretaría los resultados de dichas pruebas.

F.6. En cualquier momento, la Secretaría puede verificar que el material suministrado cumpla con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

LIBRO: CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

PARTE: 1. MATERIALES PARA TERRACERÍAS

TÍTULO: 03. Materiales para Subrasante

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los requisitos de calidad de los materiales que se utilicen en la construcción de la capa subrasante de las terracerías.

B. DEFINICIÓN

Los materiales para la capa subrasante son los suelos naturales, seleccionados o cribados, producto de los cortes o de la extracción en bancos, que se utilizan para formar dicha capa inmediatamente encima de la cama de los cortes, de la capa subyacente o del cuerpo de un terrapién cuando esta última no se construya para servir de desplante a un pavimento.

La clasificación de los suelos a que se refiere esta Norma, se describe en el Manual M-MMP-1-02, *Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos*.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con los siguientes:

MANUALES	DESIGNACIÓN
Muestreo de Materiales para Terracerías	M-MMP-1-01
Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos	M-MMP-1-02
Contenido de Agua	M-MMP-1-04
Límites de Consistencia	M-MMP-1-07
Compactación AASHTO	M-MMP-1-09

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-1-03/02

Grado de Compactación	M-MMP-1-10
Valor Soporte de California (CBR) y Expansión en Laboratorio	M-MMP-1-11

D. REQUISITOS DE CALIDAD

Los materiales que se utilicen para la formación de la capa subrasante, en función de sus características y de la intensidad del tránsito esperada en términos del número de ejes equivalentes de ocho comados (8,2) toneladas, acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL), cumplirán con lo que se indica a continuación, a menos que exista un estudio previamente aprobado por la Secretaría, que justifique el empleo de materiales con características distintas. En ningún caso se utilizarán materiales altamente orgánicos como turba (Pt).

D.1. Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea igual a un (1) millón de ejes equivalentes o menor, el material cumplirá con las características granulométricas y con los requisitos de calidad que se establecen en la Tabla 1 de esta Norma y tendrá un espesor mínimo de veinte (20) centímetros.

D.2. Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea de un (1) millón a diez (10) millones de ejes equivalentes, el material cumplirá con los requisitos de calidad que se establecen en la Tabla 1 de esta Norma y tendrá un espesor mínimo de treinta (30) centímetros.

D.3. Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea mayor de diez (10) millones de ejes equivalentes, la capa subrasante será motivo de diseño especial.

D.4. Si la capa subrasante se desplanta directamente sobre el terreno de cimentación y su espesor es menor que el señalado en las Fracciones D.1. o D.2. de esta Norma, según corresponda, cuando el material del terreno de cimentación no cumpla con los requisitos establecidos en la Tabla 1, se excavará una caja hasta la profundidad necesaria para completar el espesor mínimo.

E. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES PARA SUBRASANTE

E.1. Cuando el material para subrasante sea producto de los cortes, se podrá transportar utilizando tractores o motoescrepas.

NORMAS

N-CMT 1-03/02

TABLA 1.- Requisitos de calidad de materiales para capa subrasante

Característica	Valor
Tamaño máximo; mm	76
Límite líquido; %, máximo	40
Índice plástico; %, máximo	12
Valor Soporte de California (CBR) ^[1] ; %, mínimo	20
Expansión máxima; %	2
Grado de compactación ^[2] ; %	100 ± 2

[1] En especímenes compactados dinámicamente al porcentaje de compactación indicado en esta Tabla, con un contenido de agua igual al del material en el banco a 1,5 m de profundidad.

[2] Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Estándar, del material compactado con el contenido de agua óptimo de la prueba, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa.

E.2. Cuando el material para subrasante sea extraído de bancos o sea necesario almacenarlo para su posterior utilización en la obra, se tendrá cuidado en su transporte y almacenamiento, con el propósito de evitar la alteración de sus características, atendiendo los siguientes aspectos:

E.2.1. El material se almacenará en un sitio específicamente destinado para tal propósito. Cuando en dicho sitio no se cuente con un firme, previamente a su utilización se deberá:

- Remover la materia vegetal y limpiar la superficie.
- Conformar, nivelar y compactar la superficie, dejando una sección transversal uniforme que permita el drenaje.

E.2.2. Los materiales constituidos por partículas de diferentes tamaños que se almacenen en los depósitos, tienden a segregarse, por lo que será necesario que al cargar el material para llevarlo al frente de trabajo, se tome desde la parte baja del depósito.

E.2.3. Los materiales se cargarán y transportarán al frente de trabajo, en vehículos con cajas cerradas o protegidas con

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-1-03/02

lonas, que impidan la contaminación del entorno o que se derramen.

F. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

La aceptación de los materiales para subrasante por parte de la Secretaría, se hará considerando lo siguiente:

F.1. El encargado de elaborar el estudio geotécnico o del banco, es el responsable de determinar, a nivel estudio, que el material cumpla con los requisitos de calidad indicados en esta Norma, según el tipo de material establecido en el proyecto, en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías*, mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

F.2. En el caso de que el Contratista de Obra seleccione el material o el banco, él será el responsable de asegurar que el material cumpla con los requisitos de calidad indicados en esta Norma, considerando lo indicado en la Fracción anterior. El Contratista de Obra entregará a la Secretaría un certificado de calidad que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta Norma expedido por su propio laboratorio o por un laboratorio externo aprobado por la Secretaría.

F.3. Durante el proceso de producción, con objeto de controlar la calidad del material en la ejecución de la obra, el Contratista de Obra, por cada doscientos (200) metros cúbicos o fracción del material de un mismo tipo, extraído de un corte o un banco, realizará las pruebas necesarias para que aseguren que cumple con el límite líquido y el índice plástico señalados en esta Norma, entregando a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías* y mediante el procedimiento de prueba contenido en el Manual M-MMP-1-07, *Limites de Consistencia*. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de cualquiera de los requisitos mencionados en esta Fracción.

F.4. Además de lo señalado en la Fracción anterior, el Contratista de Obra, por cada quinientos (500) metros cúbicos o fracción del

NORMAS

N-CMT-1-03/02

material de un mismo tipo, extraído de un corte o un banco, realizará las pruebas necesarias que aseguren que cumple con todos los valores establecidos en esta Norma, entregando a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-1-01, *Muestreo de Materiales para Terracerías* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de cualquiera de los requisitos establecidos.

F.5. Una vez tendidas y compactadas las capas subrasantes, el Contratista de Obra realizará las pruebas necesarias que aseguren el cumplimiento del grado de compactación establecido en esta Norma, en el proyecto o señalado por la Secretaría, en el número y con la periodicidad indicada por los mismos, mediante el procedimiento contenido en el Manual M-MMP-1-10, *Grado de Compactación*, entregando a la Secretaría los resultados de dichas pruebas.

F.6. En cualquier momento, la Secretaría puede verificar que el material suministrado cumpla con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

SCT
UN

**LIBRO: CMT. CARACTERÍSTICAS DE
LOS MATERIALES**

PARTE: 2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS

TÍTULO: 02. Materiales para Concreto Hidráulico

CAPÍTULO: 002. Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene las características de calidad de los agregados que se utilizan en la fabricación del concreto hidráulico, con excepción de los agregados ligeros que se utilizan para la elaboración de concretos a prueba de fuego, así como en rellenos y elementos de concreto cuyo diseño se basa en pruebas de carga y no en procedimientos convencionales.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Los agregados son materiales pétreos naturales, seleccionados, materiales sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, o materiales producidos por expansión, calcinación o fusión excipiente, que se mezclan con cemento Portland y agua, para formar concreto hidráulico.

Los agregados para concreto hidráulico se clasifican en:

B.1. AGREGADO FINO

Es arena natural seleccionada u obtenida mediante trituración y cribado, con partículas de tamaño comprendido entre setenta y cinco (75) micrómetros (malla N°200) y cuatro coma setenta y cinco (4,75) milímetros (malla N°4), pudiendo contener finos de menor tamaño, dentro de las proporciones establecidas en esta Norma.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-2-02-002/02

B.2. AGREGADO GRUESO

Puede ser grava natural seleccionada u obtenida mediante trituración y cribado, escorias de altos hornos enfriadas en aire o una combinación de dichos materiales, con partículas de tamaño máximo, generalmente comprendido entre diecinueve (19) milímetros ($\frac{3}{4}$ " y setenta y cinco (75) milímetros (3"), pudiendo contener fragmentos de roca y arena, dentro de las proporciones establecidas en esta Norma.

B.3. FRAGMENTOS DE ROCA

Son los agregados con tamaño mayor de setenta y cinco (75) milímetros (3") y una masa máxima de treinta (30) kilogramos, como los boleos y la piedra braza, entre otros, que se utilizan comúnmente para fabricar concreto ciclópeo.

B.4. AGREGADO LIGERO

Son los agregados finos o gruesos que, por su baja densidad, se utilizan en la fabricación de concreto estructural ligero, de baja masa volumétrica y resistencia limitada a la compresión, constituidos predominantemente por materiales inorgánicos de estructura celular, preparados por expansión, calcinación o fusión incipiente de productos tales como escorias de altos hornos, arcillas comunes, diatomitas, cenizas volantes, lutitas y pizarras, o bien mediante otros tratamientos de materiales naturales tales como piedra pómez, perlitas, tezontles, escorias y tobas.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con los siguientes:

MANUALES	DESIGNACIÓN
Resistencia a la Compresión del Cemento	M-MMP-2-02-004
Muestreo de Agregados Pétreos	M-MMP-2-02-019
Granulometría de Agregados Pétreos	M-MMP-2-02-020
Masa Específica de los Agregados	M-MMP-2-02-023
Impurezas Orgánicas en Agregados Finos	M-MMP-2-02-026
Sanidad de los Agregados mediante Sulfato de Sodio o de Magnesio	M-MMP-2-02-028

NORMAS

N-CMT-2-02 002/02

Partículas más Finas que la Malla N°200 (0,075 mm) en los Agregados	M-MMP-2-02-030
Terrones y Partículas Deleznales en los Agregados	M-MMP-2-02-031
Resistencia a la Degradación del Agregado Grueso mediante la Máquina de Los Ángeles	M-MMP-2-02-032
Reactividad Potencial de los Agregados mediante Barras de Mortero	M-MMP-2-02-034
Reactividad Potencial de los Agregados mediante el Método Químico	M-MMP-2-02-035
Reactividad Potencial de los Agregados mediante el Método del Cilindro de Roca	M-MMP-2-02-036
Examen Petrográfico de los Agregados	M-MMP-2-02-037
Efectividad de Aditivos Minerales para Evitar una Expansión Excesiva del Concreto	M-MMP-2-02-038
Resistencia a la Compresión Simple de Cilindros de Concreto	M-MMP-2-02-058
Resistencia del Concreto a Congelación y Deshielo ...	M-MMP-2-02-060

D. REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS FINOS

D.1. GRANULOMETRÍA

SECRETARÍA DE | CNT

La granulometría del agregado fino, determinada mediante el procedimiento de prueba indicado en el Manual M-MMP-2-02-020, *Granulometría de Agregados Pétreos*, estará comprendida entre los límites que se indican en la Tabla 1 de esta Norma.

D.2. MÓDULO DE FINURA

El módulo de finura que corresponda a la granulometría a que se refiere la Fracción anterior, es decir, la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en cada una de las mallas que se indican en la Tabla 1 de esta Norma, no será menor de dos coma tres (2,3), ni mayor de tres coma uno (3,1), con una tolerancia de variación de dos décimas (0,2) en más o en menos con respecto al valor de módulo de finura empleado en el diseño del proporcionamiento del concreto hidráulico. En caso de que el módulo de finura sobrepase dicha tolerancia, se harán los ajustes necesarios en las proporciones, para compensar las variaciones de composición granulométrica.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-2-02-002/02

TABLA 1.- Límites granulométricos para el agregado fino

Malla		Porcentaje retenido acumulado ^[1]
Abertura mm	Designación	
9,5	3/8"	0
4,75	N°4	0 - 5
2,36	N°8	0 - 20
1,18	N°16	15 - 50
0,6	N°30	40 - 75
0,3	N°50 ^[2]	70 - 90
0,15	N°100 ^[2]	90 - 98

[1] El retenido parcial de la masa total en cualquier malla, no será mayor de 45%

[2] Si los agregados van a ser empleados en concretos con aire incluido y con un contenido de cemento mayor de 250 kg/m³, o en concretos sin aire incluido y con un contenido de cemento mayor de trescientos 300 kg/m³, los porcentajes máximos especificados en esta Tabla para el material retenido acumulado en las mallas N°50 y N°100 se podrán aumentar a 95% y a 100%, respectivamente, así como en el caso en que se use un aditivo mineral que supla las deficiencias en las cantidades de material que pase dichas mallas. Se considera un concreto con aire incluido, el obtenido mediante el empleo de un agente inclusor de aire y con un contenido de aire mayor del 3%

D.3. MATERIAL QUE PASA LA MALLA N°200 (0,075 mm)

El porcentaje del material que pasa la malla N°200 (0,075 mm de abertura) en el agregado fino, determinado mediante el procedimiento de prueba indicado en el Manual M-MMP-2-02-030, *Partículas más Finas que la Malla N°200 (0,075 mm) en los Agregados*, no será mayor que los límites indicados en la Tabla 2. En casos especiales, cuando así lo apruebe la Secretaría, esos límites podrán ser hasta los indicados en la Tabla 3 de esta Norma, según los límites de consistencia del material que pasa la malla N°200.

D.4. CONTENIDO DE SUBSTANCIAS PERJUDICIALES

El contenido en el agregado fino, de terrones de arcilla y partículas deleznable, determinado mediante el procedimiento de prueba indicado en el Manual M-MMP-2-02-031, *Terrones y Partículas Deleznales en los Agregados*, así como el de carbón y lignito, no excederán los límites indicados en la Tabla 2 de esta Norma.

NORMAS

N-CMT-2-02-002/02

TABLA 2.- Contenido de sustancias perjudiciales en el agregado fino

Sustancias perjudiciales	Contenido máximo respecto a la masa total de la muestra %
Terrones de arcilla y partículas deleznales	1
Carbón y lignito: <ul style="list-style-type: none"> • En concreto aparente • En concreto de cualquier otra índole 	0,5 1
Materiales finos que pasan la malla N°200 ^[1] : <ul style="list-style-type: none"> • Para concreto sujeto a desgaste • Para concreto de cualquier otra índole 	3 5

[1] En el caso de arenas obtenidas por trituración, si el material que pasa la malla N°200 está formado por el polvo producto de la trituración, exento de arcillas o pizarras, estos límites se podrán aumentar hasta el 5% y 7%, respectivamente

TABLA 3.- Material que pasa la malla N°200 (0,075mm) en el agregado fino para casos especiales

Límite líquido %	Índice plástico %	Contenido máximo respecto a la masa total de la muestra %
hasta 25	Hasta 5	18
	de 5 a 10	14
	de 10 a 15	9
de 26 a 35	Hasta 5	15
	de 5 a 10	11
	de 10 a 15	7
de 36 a 45	Hasta 5	12
	de 5 a 10	9
	de 10 a 15	6
de 46 a 55	Hasta 5	9
	de 5 a 10	7
	de 10 a 15	5

D.5. CONTENIDO DE IMPUREZAS ORGÁNICAS

El agregado fino no tendrá impurezas orgánicas en cantidad tal que produzcan una coloración más oscura que la de la solución normalizada N° 3, determinada con el método de prueba indicado

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT 2-02 002/02

en el Manual M-MMP-2-02-026, *Impurezas Orgánicas en Agregados Finos*. Si el agregado fino no cumple con este requisito, se podrá emplear siempre y cuando se demuestre, a juicio de la Secretaría, que la coloración es causada principalmente por la presencia de pequeñas cantidades de carbón mineral, lignito o partículas similares, o que al probarse para determinar el efecto de las impurezas orgánicas en la resistencia del mortero, mediante el procedimiento de prueba indicado en el Manual M-MMP-2-02-004, *Resistencia a la Compresión del Cemento*, la resistencia relativa a la compresión del mortero a siete (7) y veintiocho (28) días, sea mayor de noventa y cinco (95) por ciento.

D.6. REACTIVIDAD CON LOS ÁLCALIS DEL CEMENTO

Si en el examen petrográfico se detectan partículas de sílice reactivo o de carbonato reactivo y el agregado fino se utilizará para la elaboración de concretos que estarán sujetos a la exposición prolongada en atmósfera húmeda o en contacto con suelos húmedos, dicho agregado cumplirá con lo indicado en la Cláusula F de esta Norma.

D.7. INTEMPERISMO ACELERADO

D.7.1. El agregado fino tendrá una pérdida en la prueba de intemperismo acelerado, en masa, igual a diez (10) por ciento o menor cuando se emplee sulfato de sodio, lo de quince (15) por ciento o menor cuando se emplee sulfato de magnesio, realizando la prueba con una muestra que cumpla los requisitos de granulometría indicados en la Fracción D.1. de esta Norma y mediante el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-2-02-028, *Sanidad de los Agregados mediante Sulfato de Sodio o de Magnesio*.

D.7.2. De no cumplir con los requisitos establecidos en el Inciso anterior, el agregado fino sólo podrá ser aceptado cuando un concreto de propiedades comparables, hecho con agregados similares del mismo origen, haya dado servicio satisfactorio a juicio de la Secretaría en condiciones similares de intemperismo o, tratándose de agregados finos de los que no se tengan antecedentes, cuando se obtengan con ellos resultados satisfactorios en concretos sujetos a pruebas de congelación y deshielo, conforme al método descrito en el

NORMAS

N-CMT-2 02-002/02

Manual M-MMP-2-02-060, *Resistencia del Concreto a Congelación y Deshielo*, verificando que los concretos obtenidos tengan una resistencia superior a la de proyecto.

E. REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS GRUESOS

E.1. GRANULOMETRÍA

E.1.1. La granulometría de los agregados gruesos, determinada mediante el procedimiento de prueba indicado en el Manual M-MMP-2-02-020, *Granulometría de Agregados Pétreos*, estará comprendida entre los límites que se indican en la Tabla 4 de esta Norma, según su tamaño nominal. Para controlar la calidad de producción, puede desarrollarse una granulometría promedio y mantenerse dentro de las tolerancias indicadas en dicha Tabla.

TABLA 4. Límites granulométricos para agregados gruesos

Malla mm (designación)	Tamaño nominal mm												
	90 a 40	64 a 40	50 a 25	50 a 5	40 a 20	40 a 5	25 a 13	25 a 10	25 a 5	20 a 10	20 a 5	13 a 5	10 a 2,5
	Porcentaje retenido acumulado												
101 (4")	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
89 (3½")	0-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75 (3")	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63 (2½")	75-100	10-100	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50 (2")	-	30-65	0-10	0-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37,5 (1½")	85-100	85-100	30-65	-	0-10	0-5	0	0	0	-	-	-	-
25 (1")	-	-	85-100	30-65	45-80	-	0-10	0-10	0-5	0	0	-	-
19 (¾")	95-100	95-100	-	-	85-100	30-65	45-60	15-60	-	0-10	0-10	0	-
12,5 (½")	-	-	95-100	70-90	-	-	90-100	60-90	40-75	45-60	-	0-10	0
9,5 (¾")	-	-	-	-	95-100	70-90	95-100	85-100	-	85-100	45-80	30-60	0-15
4,75 (N°4)	-	-	-	95-100	-	95-100	-	95-100	90-100	95-100	90-100	85-100	70-90
2,36 (N°8)	-	-	-	-	-	-	-	-	95-100	-	95-100	95-100	90-100
1,18 (N°16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95-100

E.1.2. Cuando se tengan agregados gruesos fuera de los límites establecidos en el Inciso anterior, se les dará algún tratamiento para que cumplan con dichos límites. En el caso de que se acepte que los agregados gruesos no cumplan con

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-2-02-002/02

los límites indicados, se ajustará el proporcionamiento del concreto hidráulico para compensar las deficiencias granulométricas, debiéndose demostrar, a juicio de la Secretaría que el concreto fabricado con el nuevo proporcionamiento tiene un comportamiento adecuado.

E.2. MATERIAL QUE PASA LA MALLA N°200 (0,075 mm)

El porcentaje del material que pasa la malla N°200 (0,075 mm de abertura) en el agregado grueso, determinado mediante el procedimiento de prueba indicado en el Manual M-MMP-2-02-030, *Partículas más Finas que la Malla N°200 (0,075 mm) en los Agregados*, será del dos (2) por ciento. Sin embargo, en el caso de agregados triturados, si el material que pasa la malla N°200, está constituido por el polvo producto de la trituración, exento de arcilla o pizarras, el contenido máximo podrá ser hasta de tres (3) por ciento.

E.3. CONTENIDO DE SUBSTANCIAS PERJUDICIALES

El contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso no será mayor que los límites indicados en la Tabla 5 de esta Norma. De no cumplir con los requisitos establecidos en esa Tabla, el agregado grueso solo podrá ser aceptado cuando un concreto de propiedades comparables, hecho con agregados similares del mismo origen, haya dado servicio satisfactorio a juicio de la Secretaría en condiciones similares de intemperismo, o tratándose de agregados gruesos de los que no se tengan antecedentes, cuando se obtengan con ellos resultados satisfactorios en concretos sujetos a pruebas de sanidad, desgaste, congelación y deshielo, de acuerdo con los métodos descritos en los Manuales M-MMP-2-02-028, *Sanidad de los Agregados mediante Sulfato de Sodio o de Magnesio*, M-MMP-2-02-032, *Resistencia a la Degradación del Agregado Grueso mediante la Máquina de Los Ángeles*, M-MMP-2-02-060, *Resistencia del Concreto a Congelación y Deshielo*.

E.4. REACTIVIDAD CON LOS ÁLCALIS DEL CEMENTO

Si en el examen petrográfico se detectan partículas de sílice reactivo o de carbonato reactivo y el agregado grueso se utilizará para la elaboración de concretos que estarán sujetos a la exposición prolongada en atmósfera húmeda o en contacto con

NORMAS

N-CMT-2-02-002/02

suelos húmedos, dicho agregado cumplirá con lo indicado en la Cláusula F. de esta Norma.

TABLA 5.- Contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso

Sustancias perjudiciales	Contenido máximo respecto a la masa total de la muestra %
Terrones de arcilla y partículas deleznablees <ul style="list-style-type: none"> • En concreto no expuesto a la intemperie • En concreto expuesto a la intemperie • En concreto sujeto a exposición frecuente de humedad o a tráfico abrasivo^[1] • En concreto arquitectónico 	10 5 4 2
Partículas de roca de sílice alterada con masa específica menor de 2,4 ^[2] <ul style="list-style-type: none"> • En concreto expuesto a la intemperie^[1] • En concreto sujeto a exposición frecuente de humedad • En concreto arquitectónico 	6 5
Suma de los contenidos de terrones de arcilla, partículas deleznablees de roca de sílice alterada <ul style="list-style-type: none"> • En concreto expuesto a la intemperie^[1] • En concreto sujeto a exposición frecuente de humedad • En concreto arquitectónico^[1] 	8 6 4
Carbón y lignito: <ul style="list-style-type: none"> • En concreto no expuesto a la intemperie • En concreto expuesto a la intemperie 	1 0,5

[1] Para concreto hidráulico en regiones cuya altitud sea mayor de 3 000 m sobre el nivel del mar, este requisito debe reducirse en 1%.

[2] Este requisito es aplicable a materiales que contengan roca de sílice alterada como impureza. La limitación del uso de agregados gruesos que sean predominantemente de roca de sílice, debe basarse en antecedentes de servicio en la región donde se empleen.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-2-02-002/02

E.5. MASA VOLUMÉTRICA

E.5.1. Los agregados gruesos de escoria de altos hornos, que cumplan con los requisitos de granulometría para ser utilizados en la elaboración de concreto, tendrán una masa volumétrica varillada no menor de mil ciento veinte (1 120) kilogramos por metro cúbico.

E.5.2. Los agregados gruesos de escoria tendrán un coeficiente volumétrico no menor de cero coma quince (0,15), conforme al método de prueba indicado en el Manual M-MMP-2-02-023, *Masa Específica de los Agregados*.

E.6. INTEMPERISMO ACELERADO

E.6.1. El agregado grueso, que se emplee en un concreto expuesto a la intemperie, tendrá una pérdida máxima en la prueba de intemperismo acelerado en masa, del doce (12) por ciento, realizando la prueba con sulfato de sodio, en una muestra que cumpla con los requisitos de granulometría indicados en la Fracción E.1 de esta Norma y mediante el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-2-02-028, *Sanidad de los Agregados mediante Sulfato de Sodio o de Magnesio*.

E.6.2. De no cumplir con los requisitos establecidos en el inciso anterior, el agregado grueso sólo podrá ser aceptado cuando un concreto de propiedades comparables, hecho con agregados similares del mismo origen, haya dado servicio satisfactorio a juicio de la Secretaría en condiciones similares de intemperismo, o tratándose de agregados gruesos de los que no se tengan antecedentes, cuando se obtengan con ellos resultados satisfactorios en concretos sujetos a pruebas de congelación y deshielo, de acuerdo con el método descrito en el Manual M-MMP-2-02-060, *Resistencia del Concreto a Congelación y Deshielo*, verificando que los concretos obtenidos tengan una resistencia superior a la de proyecto.

E.7. RESISTENCIA AL DESGASTE

E.7.1. Los agregados gruesos probados al desgaste tendrán una pérdida, en masa, del cincuenta (50) por ciento como máximo. Dicha pérdida se determinará en una muestra de agregados cuyo tamaño o tamaños nominales sean lo más semejantes posible a los que se van a utilizar en la

NORMAS

N-CMT-2-02-002/02

elaboración del concreto, mediante el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-2-02-032, *Resistencia a la Degradación del Agregado Grueso mediante la Máquina de Los Ángeles*. Cuando se empleen varias granulometrías, el límite de pérdida por desgaste se aplicará a cada una.

- E.7.2.** Como excepción, y a juicio de la Secretaría, cuando el concreto se utilice para elementos estructurales que no estén sujetos a la abrasión, los agregados gruesos que tengan una pérdida al desgaste mayor que la indicada en el Inciso anterior, podrán usarse siempre y cuando con dichos agregados se obtenga, como mínimo la resistencia indicada en el proyecto.

F. REACTIVIDAD DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

- F.1.** Si en el examen petrográfico de los agregados finos o gruesos se detectan partículas de sílice reactivo, se considerará lo indicado en la Tabla 6 de esta Norma como criterio para la utilización o no de los agregados, para lo que se obtendrá la reactividad potencial de los mismos mediante el método indicado en el Manual M-MMP-2-02-035, *Reactividad Potencial de los Agregados mediante el Método Químico*, verificando experimentalmente la expansión conforme al método de prueba de las barras de mortero indicado en el Manual M-MMP-2-02-034, *Reactividad Potencial de los Agregados mediante Barras de Mortero*. Si dichas pruebas demuestran que los agregados son inocuos, se podrán utilizar en el concreto sin limitaciones, pero si resultan deletéreos, se les someterá a una prueba de expansión mediante mortero hecho con un cemento de alto contenido de álcalis, de acuerdo con el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-2-02-034, *Reactividad Potencial de los Agregados mediante Barras de Mortero*. Si la expansión del concreto a seis (6) meses resulta igual a cero coma cero cinco (0,05) por ciento o menor, los agregados podrán ser utilizados sin restricción alguna; si es mayor que ese límite, pero menor de cero coma uno (0,1) por ciento, la utilización de los agregados se restringirá a concretos en condición de servicio seco o usando cemento con bajo contenido de álcalis, según se indica en la Fracción F.3. Si la expansión es igual a cero coma uno (0,1) por ciento o mayor, los agregados sólo podrán ser utilizados en concretos con cemento de muy bajo contenido de álcalis, según se indica en la Fracción antes mencionada. En los dos últimos casos, los agregados también podrán ser utilizados si

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-2-02-002/02

al cemento se le agrega una puzolana que inhiba la reacción álcali-sílice, según se indica en la Fracción F.4. de esta Norma.

- F.2.** Si en el examen petrográfico de los agregados finos o gruesos se detectan partículas de carbonato reactivo, se considerará lo indicado en la Tabla 7 de esta Norma como criterio para la utilización o no de los agregados, para lo que se obtendrá la reactividad potencial de los mismos mediante el método indicado en el Manual M-MMP-2-02-036, *Reactividad Potencial de los Agregados mediante el Método del Cilindro de Roca*. Si la expansión de la roca a tres (3) meses resulta menor de cero coma uno (0,1) por ciento, los agregados podrán ser utilizados sin restricción alguna, pero si es igual a dicho límite o mayor, se les someterá a una prueba de expansión en concreto hecho con un cemento de alto contenido de álcalis, de acuerdo con el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-2-02-034, *Reactividad Potencial de los Agregados mediante Barras de Mortero*. Si la expansión del concreto a seis (6) meses, resulta igual a cero coma cero quince (0,015) por ciento o menor, los agregados podrán ser utilizados sin restricción alguna; si es mayor que este límite pero menor de cero coma cero veinticinco (0,025) por ciento, la utilización de los agregados se restringirá a concretos en condición de servicio seco o usando cemento con bajo contenido de álcalis, según se indica en la Fracción F.3. Si la expansión es igual a cero coma cero veinticinco (0,025) por ciento o mayor, los agregados sólo podrán ser utilizados en concretos con cemento de muy bajo contenido de álcalis, según se indica en la Fracción antes mencionada. En los dos últimos casos, los agregados también podrán ser utilizados si al cemento se le agrega una puzolana que inhiba la reacción álcali-carbonato, según se indica en la Fracción F.5. de esta Norma.

- F.3.** Como se indica en las Tablas 6 y 7, si los agregados son ligeramente reactivos, se podrán utilizar en un concreto elaborado con cemento de bajo contenido de álcalis, que tenga menos del cero coma seis (0,6) por ciento de dicho componente, pero si son francamente reactivos, sólo se podrán utilizar si el concreto se elabora con un cemento de muy bajo contenido de álcalis, que tenga menos del cero coma cuatro (0,4) por ciento de ese componente, siempre y cuando, en ambos casos, el contenido total de álcalis en la mezcla del concreto no exceda de tres (3) kilogramos por cada metro cúbico de concreto, considerando todos sus componentes. Si esto no se logra, se adicionará un

NORMAS

N-CMT-2-02-002/02

material que neutralice la reactividad de los agregados, como la puzolana, según se indica en las Fracciones F.4. y F.5. de esta Norma.

TABLA 6.- Criterios de decisión para la utilización o no de agregados cuando presentan reactividad potencial álcali-silíce

Paso	Acción	Resultado	Conclusión
1	Propuesta de suministro (banco)		
2	Examen petrográfico de los agregados	Agregados inocuos: • No contienen sílice reactivo	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin límites por este concepto
		Agregados potencialmente deletéreos: • Contienen sílice reactivo	Dato no concluyente, seguir el paso 3
3	Prueba química a los agregados	Agregados inocuos: • No existe reacción álcali-silíce	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin limitaciones por este concepto
		Agregados deletéreos o potencialmente deletéreos	Dato no concluyente, seguir el paso 4
4	Prueba de expansión en mortero a seis meses	Expansión $\leq 0,05\%$: • Agregados no reactivos	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin limitaciones por este concepto
		$0,05\% < \text{Expansión} < 0,1\%$: • Agregados ligeramente reactivos	Dato dudoso: • Uso restringido de los agregados para concreto en condición seca o con cemento bajo en álcalis ($< 0,6\%$) o puzolana eficaz para inhibir esta reacción
		Expansión $\geq 0,1\%$: • Agregados reactivos	Dato concluyente: • Uso muy restringido de los agregados, sólo con medidas preventivas, cemento muy bajo en álcalis ($< 0,4\%$), o puzolana eficaz, o explotación selectiva del banco o cantera

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-2-02-002/02

TABLA 7.- Criterios de decisión para la utilización o no de agregados cuando presentan reactividad potencial álcali-carbonato

Paso	Acción	Resultado	Conclusión
1	Propuesta de suministro (banco)		
2	Examen petrográfico de los agregados	Agregados inocuos: • No contienen carbonato reactivo	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin límites por este concepto
		Agregados potencialmente deletéreos: • Contienen carbonato reactivo	Dato no concluyente, seguir el paso 3
3	Prueba de expansión en cilindros de roca, a tres meses	Expansión < 0,1%: • Agregados no reactivos	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin limitaciones por este concepto
		Expansión ≥ 0,1%: • Agregados potencialmente reactivos	Dato no concluyente, seguir el paso 4
4	Prueba de expansión en concreto a seis meses	Expansión ≤ 0,015% • Agregados no reactivos	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin limitaciones por este concepto
		0,015% < Expansión < 0,025%: • Agregados ligeramente reactivos	Dato dudoso: • Uso restringido de los agregados para concreto en condición seca o con cemento bajo en álcalis (< 0,6%) o puzolana eficaz para inhibir esta reacción
		Expansión ≥ 0,025%: • Agregados reactivos	Dato concluyente: • Uso muy restringido de los agregados, sólo con medidas preventivas, cemento muy bajo en álcalis (< 0,4%), o puzolana eficaz, o explotación selectiva del banco o cantera

F.4. Cuando se requiera utilizar puzolana para inhibir la reacción álcali-sílice de los agregados, se verificará su efectividad mediante pruebas de expansión en mortero hecho con un cemento de alto contenido de álcalis, la puzolana en cuestión y vidrio de borosilicato como agregado, según el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-2-02-038, *Efectividad de Aditivos Minerales*

NORMAS

N-CMT-2-02-002/02

para Evitar una Expansión Excesiva del Concreto. Sólo se podrá utilizar la puzolana si la expansión del mortero a seis (6) meses resulta menor de cero coma uno (0,1) por ciento.

F.5. Cuando se requiera utilizar puzolana para inhibir la reacción álcali-carbonato de los agregados, se verificará su efectividad mediante pruebas de expansión en concreto hecho con los agregados reactivos en cuestión y un cementante compuesto por el cemento de uso con la puzolana propuesta, según el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-2-02-038, *Efectividad de Aditivos Minerales para Evitar una Expansión Excesiva del Concreto.* Sólo se podrá utilizar la puzolana si la expansión del concreto a seis (6) meses resulta menor de cero coma cero veinticinco (0,025) por ciento.

F.6. Si después de hacer las pruebas a que se refieren las Fracciones F.4 y F.5 de esta Norma, adicionando puzolana con capacidad inhibitoria para evitar el riesgo de una reacción deletérea álcali-agregado, la expansión resulta excesiva, se evaluarán las siguientes opciones:

F.6.1. Cambiar la fuente de suministro.

F.6.2. Efectuar una explotación selectiva del banco para desechar el material reactivo.

F.6.3. Utilizar no más del quince (15) por ciento del total de los agregados de material reactivo, mezclándolo perfectamente con otro material con la finalidad de reducir su proporción.

F.6.4. Seleccionar un cemento cuyo contenido de álcalis sea menor que los límites antes indicados, con la intención de producir una expansión tolerable del concreto conforme al método de prueba correspondiente.

G. REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS FRAGMENTOS DE ROCA

Los fragmentos que se utilicen para la elaboración de concreto ciclópeo, estarán limpios, exentos de costras y tendrán una masa máxima de treinta (30) kilogramos.

H. REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS LIGEROS

Los agregados ligeros que se utilicen para elaborar concreto estructural ligero, de baja masa volumétrica y resistencia a la compresión limitada, cumplirán con los siguientes requisitos:

H.1. GRANULOMETRÍA

La granulometría de los agregados ligeros, finos o gruesos, determinada mediante el procedimiento de prueba indicado en el Manual M-MMP-2-02-020, *Granulometría de Agregados Pétreos*, estará comprendida entre los límites que se indican en la Tabla 8 de esta Norma.

H.2. MÓDULO DE FINURA

El módulo de finura que corresponda a la granulometría a que se refiere la fracción anterior, no será menor de dos coma tres (2,3) ni mayor de tres coma dos (3,2), con una tolerancia de variación de dos décimas (0,2) en más o en menos con respecto al valor del módulo de finura empleado en el diseño del proporcionamiento del concreto. En el caso de que el módulo de finura sobrepase dicha tolerancia, se harán los ajustes necesarios en las proporciones para compensar las variaciones de composición granulométrica.

TABLA 8: Límites granulométricos para agregados ligeros finos y gruesos

Malla		Fino	Grueso				
		Tamaño nominal mm					
Abertura mm	Designación	5 a 0,15	25 a 13	25 a 5	20 a 5	13 a 5	10 a 2,5
Porcentaje retenido							
37,5	1½"	—	0	0	—	—	—
25	1"	—	0 - 5	0 - 5	0	—	—
19	¾"	—	—	—	0 - 10	0	—
12,5	½"	—	90 - 100	40 - 75	—	0 - 10	0
9,5	¾"	0	—	—	40 - 80	20 - 60	0 - 20
4,75	N°4	0 - 15	—	90 - 100	90 - 100	80 - 100	60 - 95
2,36	N°8	—	—	—	—	90 - 100	80 - 100
1,18	N°16	20 - 60	—	—	—	—	—
0,3	N°50	65 - 90	—	—	—	—	—
0,15	N°100	75 - 95	—	—	—	—	—

H.3. CONTENIDO DE SUBSTANCIAS PERJUDICIALES

Los agregados ligeros finos no tendrán más de dos (2) por ciento de partículas deleznable, respecto a la masa seca de los agregados.

H.4. CONTENIDO DE IMPUREZAS ORGÁNICAS

H.4.1. El agregado ligero fino no tendrá impurezas orgánicas en cantidad tal, que produzcan una coloración más oscura que la de la solución normalizada N° 3, determinada con el método de prueba indicado en el Manual M-MMP-2-02-026, *Impurezas Orgánicas en Agregados Finos*. Si el agregado ligero fino no cumple con este requisito, se podrá emplear, siempre y cuando se demuestre, a juicio de la Secretaría, que la coloración es causada principalmente por la presencia de pequeñas cantidades de materiales que no perjudican al concreto.

H.4.2. En la prueba de manchado, si los resultados quedan en la clasificación de mancha intensa o con grado mayor mediante la prueba visual, los agregados se probarán por el procedimiento químico, debiendo ser el resultado no mayor de uno coma cinco (1,5) miligramos de óxido férrico (Fe_2O_3). Este requisito se establece para definir el grado de manchado que se puede esperar con el uso de agregados ligeros que contengan compuestos de hierro que puedan ocasionar manchas en la superficie del concreto.

H.5. MASA VOLUMÉTRICA

La masa volumétrica seca y suelta de los agregados ligeros, finos, gruesos o mezclados, no será mayor que la indicada en la Tabla 9 de esta Norma. La variación de la masa volumétrica de los diferentes lotes de agregados ligeros, no diferirá en más del diez (10) por ciento del valor fijado en el proyecto.

H.6. PÉRDIDA POR CALCINACIÓN

Los agregados ligeros tendrán una pérdida por calcinación no mayor de cinco (5) por ciento en masa, sin embargo, ciertos agregados procesados pueden ser de carácter hidráulico e

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-2-02-002/02

hidratarse parcialmente durante su producción, lo que implica que la calidad del producto no se reduce; otros agregados pueden contener carbonatos inocuos o agua de cristalización que puede contribuir a la pérdida por calcinación, por lo que se tomará en consideración el tipo de material cuando se evalúe en términos de la pérdida por calcinación.

TABLA 9.- Masas volumétricas máximas de los agregados ligeros

Tipo de agregado	Masa volumétrica seca y suelta (máxima) kg/m ³
Fino	1 120
Grueso	880
Fino y grueso combinados	1 040

I. ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS

Con el propósito de evitar la alteración de las características de los agregados antes de su utilización en la obra, ha de tenerse cuidado en su almacenamiento atendiendo los siguientes aspectos:

I.1. El agregado se almacenará en tolvas o silos metálicos sin orificios, con superficie interior lisa y limpia, o bien en un sitio específicamente destinado para tal uso. Cuando en dicho sitio no se cuente con un firme, previamente a su utilización se deberá:

- Remover la materia vegetal y limpiar la superficie.
- Conformar, nivelar y compactar la superficie dejando una sección transversal uniforme que permita el drenaje.
- Colocar, compactar y mantener sobre el terreno, una capa de quince (15) centímetros de espesor como mínimo, utilizando el mismo agregado por almacenar, para evitar la contaminación del resto del material que se coloque encima.

I.2. Durante el almacenamiento se evitará la circulación de vehículos sobre los montículos de materiales, pero en caso de que esto sea estrictamente necesario, se colocará un camino de tablas para evitar la contaminación del agregado.

NORMAS

N-CMT-2 02-002/02

- I.3. Los agregados gruesos se almacenarán por separado de los finos. Para evitar que lleguen a mezclarse, los montículos de distintos agregados estarán lo suficientemente alejados uno del otro o separados entre sí por paredes colocadas con tal propósito.
- I.4. Cuando los agregados no vayan a usarse por un periodo prolongado, es conveniente que se cubran con lonas para protegerlos del clima.
- I.5. Cuando los agregados se transporten en camiones, cargadores de cucharón de almeja o bandas transportadoras, no se formarán acopios de forma cónica que tengan una altura tal que el agregado se segregue.
- I.6. Al almacenar los agregados, no se dejarán caer desde una altura tal que el material se segregue.
- I.7. Los agregados se tomarán de los acopios de almacenamiento en capas lo más horizontales posible.

J. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

La aceptación de los agregados por parte de la Secretaría, se hará considerando lo siguiente:

- J.1. El encargado de elaborar el estudio del banco, es el responsable de determinar, a nivel estudio, que el agregado cumpla con las características y los requisitos de calidad indicados en esta Norma, según el tipo de agregado establecido en el proyecto, en muestras obtenidas y preparadas como se establece en el Manual M-MMP-2-02-019, *Muestreo de Agregados Pétreos*, mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.
- J.2. En el caso de que el Contratista de Obra seleccione el banco, él será el responsable de asegurar que el agregado cumpla con las características y los requisitos de calidad indicados en esta Norma, considerando lo indicado en la Fracción anterior. El Contratista de Obra entregará a la Secretaría un certificado de calidad que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta Norma, expedido por su propio laboratorio o por un laboratorio externo aprobado por la Secretaría.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-2-02-002/02

- J.3.** Durante el proceso de producción, con objeto de controlar la calidad del agregado en la ejecución de la obra, el Contratista de Obra, por cada cien (100) metros cúbicos o fracción del material de un mismo tipo, extraído del banco, realizará las pruebas necesarias que aseguren que cumple con la granulometría establecida en esta Norma y entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas y preparadas como se establece en el M-MMP-2-02-019, *Muestreo de Agregados Pétreos* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de este requisito.
- J.4.** Además de lo señalado en la Fracción anterior, el Contratista de Obra, por cada mil (1 000) metros cúbicos de producción del banco, realizará las pruebas necesarias que aseguren que el agregado cumple con todos los valores establecidos en esta Norma, entregando a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas y preparadas como se establece en el Manual M-MMP-2-02-019, *Muestreo de Agregados Pétreos* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría el incumplimiento de cualquiera de los requisitos establecidos.
- J.5.** En cualquier momento la Secretaría puede verificar que el agregado suministrado cumpla con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

K. BIBLIOGRAFÍA

Norma Mexicana NMX C-111-1988-ONNCCE, *Agregados - Especificaciones.*

LIBRO: CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 02. Materiales para Subbases y Bases

CAPÍTULO: 001. Materiales para Subbases

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los requisitos de calidad que cumplirán los materiales que se utilicen en la construcción de la capa de subbase para pavimentos asfálticos.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Son materiales granulares, que se colocan normalmente sobre la subrasante, para formar una capa de apoyo para la base de pavimentos asfálticos.

Estos materiales según el tratamiento que recibieron, pueden ser:

B.1. MATERIALES NATURALES

Son las arenas, gravas y limos, así como rocas muy alteradas y fragmentadas, que al extraerlos quedan sueltos o pueden disgregarse mediante el uso de maquinaria. Una vez extraídos y, en su caso, disgregados, no contendrán más del cinco (5) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3"), las que serán eliminadas manualmente, ni más de veinticinco (25) por ciento de material que pase la malla con abertura de cero coma cero setenta y cinco (0,075) milímetros (N°200).

B.2. MATERIALES CRIBADOS

Son las arenas, gravas y limos, así como las rocas alteradas y fragmentadas, que al extraerlos quedan sueltos o pueden disgregarse mediante el uso de maquinaria. Una vez extraídos y, en su caso, disgregados, si contienen entre el cinco (5) y el

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-02-001/04

veinticinco (25) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3") y no más de veinticinco (25) por ciento de material que pase la malla con abertura de cero coma cero setenta y cinco (0,075) milímetros (N°200), para hacerlos utilizables requerirán de un tratamiento mecánico de cribado, con el equipo adecuado, para satisfacer la composición granulométrica.

B.3. MATERIALES PARCIALMENTE TRITURADOS

Son los poco o nada cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos o pueden ser disgregados, que contienen de veinticinco (25) a setenta y cinco (75) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3"), que para ser utilizables, requieren un tratamiento mecánico de trituración parcial y cribado, con el equipo adecuado, para satisfacer la composición granulométrica.

B.4. MATERIALES TOTALMENTE TRITURADOS

Son los materiales extraídos de un banco o pepenados, que requieren un tratamiento mecánico de trituración total y cribado, con el equipo adecuado, para satisfacer la composición granulométrica.

B.5. MATERIALES MEZCLADOS

Son los que se obtienen mediante la mezcla de dos o más de los materiales a que se refieren las Fracciones B.1. a B.3. en las proporciones necesarias para satisfacer los requisitos de calidad establecidos en esta Norma.

B.6. En cada caso la elección del tratamiento más conveniente corresponderá al Contratista de Obra, asegurándose que se cumplan los requisitos de calidad de esta Norma.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Subbases y Bases	N-CTR-CAR-1-04-002
Construcción de Subbases o Bases Hidráulicas ..	N-CSV-CAR-4-02-004
Criterios Estadísticos de Muestreo	M-CAL-1-02
Muestreo de Materiales para Revestimiento, Subbase y Base	M-MMP-4-01-001

NORMAS

N-CMT-4-02-001/04

Granulometría	M-MMP-4-01-003
Límites de Consistencia	M-MMP-4-01-006
Valor Soporte de California (CBR)	M-MMP-4-01-007
Equivalente de Arena	M-MMP-4-01-008
Desgaste Los Ángeles	M-MMP-4-01-009
Compactación AASHTO	M-MMP-4-01-010
Grado de Compactación	M-MMP-4-01-011

D. REQUISITOS DE CALIDAD PARA SUBBASES DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

El material natural, cribado, parcialmente triturado, totalmente triturado o mezclado, que se emplee en la construcción de subbases para pavimentos asfálticos, cumplirá con los requisitos de calidad que se indican a continuación:

D.1. El material tendrá las características granulométricas que se establecen en la Tabla 1 y se muestran en la Figura 1, y con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 2 de esta Norma, en función de la intensidad del tránsito en términos del número de ejes equivalentes acumulados, de ocho coma dos (8,2) toneladas, esperado durante la vida útil del pavimento (ΣL).

D.2. La curva granulométrica del material por emplear, determinada mediante el procedimiento contenido en el Manual M-MMP-4-01-003, *Granulometría*, tendrá una forma semejante a la de las curvas que se muestran en la Figura 1 de esta Norma, sin cambios bruscos de pendiente. La relación entre el porcentaje en masa que pase la malla con abertura de cero coma cero setenta y cinco (0,075) milímetros (Nº200) al que pase la malla con abertura de cero coma cuatrocientos veinticinco (0,425) milímetros (Nº40) no será mayor de cero coma sesenta y cinco (0,65).

D.3. Si la granulometría del material obtenido en un banco, una vez sujeto al tratamiento mecánico, no cumple con los requisitos establecidos en esta Norma, se podrá mezclar con materiales de otros bancos, en la proporción adecuada para que cumpla con dichos requisitos, en ningún caso es aceptable mezclar con materiales finos que agreguen plasticidad a la mezcla. Una vez establecido el proporcionamiento, el Contratista de Obra será el responsable de los procedimientos de mezclado de los materiales, para garantizar la homogeneidad de los mismos, evitando su segregación o degradación.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-02-001/04

TABLA 1.- Requisitos de granulometría de los materiales para subbases de pavimentos asfálticos

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
50	2"	100	100
37,5	1½"	72 - 100	72 - 100
25	1"	58 - 100	58 - 100
19	¾"	52 - 100	52 - 100
9,5	¾"	40 - 100	40 - 100
4,75	Nº4	30 - 100	30 - 80
2	Nº10	21 - 100	21 - 60
0,85	Nº20	13 - 92	13 - 45
0,425	Nº40	8 - 75	8 - 33
0,25	Nº60	5 - 60	5 - 26
0,15	Nº100	3 - 45	3 - 20
0,075	Nº200	0 - 25	0 - 15

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento

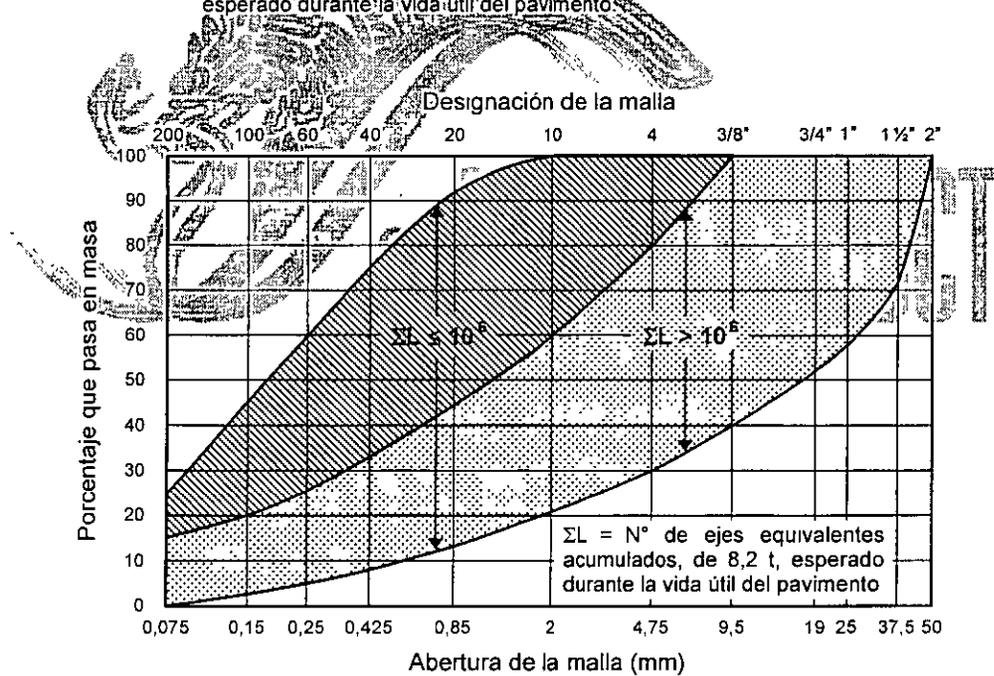


FIGURA 1.- Zonas granulométricas recomendables de los materiales para subbases

NORMAS

N-CMT-4-02-001/04

TABLA 2.- Requisitos de calidad de los materiales para subbases de pavimentos asfálticos

Característica	Valor %	
	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
Límite líquido ^[2] , máximo	30	25
Índice plástico ^[2] , máximo	10	6
Valor Soporte de California (CBR) ^[2, 3] , mínimo	50	60
Equivalente de arena ^[2] , mínimo	30	40
Desgaste Los Ángeles ^[2] , máximo	50	40
Grado de compactación ^[2, 4] , mínimo	100	100

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

[2] Determinado mediante el procedimientos de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

[3] Con el grado de compactación indicado en esta Tabla.

[4] Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Modificada, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa

E. ALMACENAMIENTO

Con el propósito de evitar la alteración de las características de los materiales antes de su utilización en la obra, debe tenerse cuidado en su almacenamiento, atendiendo los siguientes aspectos:

E.1. El material cuando sea natural o una vez tratado mecánicamente, se almacenará en un sitio específicamente destinado para tal uso. Cuando dicho sitio no cuente con un firme, previo a su utilización:

- Se removerá la materia vegetal y se limpiará la superficie;
- se conformará, nivelará y compactará la superficie dejando una sección transversal uniforme que permita el drenaje y
- se colocará, compactará y mantendrá sobre el terreno, una capa de quince (15) centímetros de espesor como mínimo, utilizando el mismo material por almacenar, para evitar la contaminación del material que se coloque encima.

E.2. Durante el almacenamiento se evitará la circulación de vehículos sobre los montículos de materiales, pero en caso de que esto sea estrictamente necesario, se colocará un camino de tablas para evitar la contaminación y degradación del material o bien se usara una banda transportadora.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT 4-02-001/04

- E.3.** Para evitar que se mezclen los diferentes materiales de distintos montículos, estos estarán lo suficientemente alejados uno del otro o separados entre sí por barreras colocadas con tal propósito.
- E.4.** Cuando el material no vaya a usarse por un periodo prolongado, será recomendable cubrirlo con lonas para protegerlo de la intemperie.

F. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

La aceptación de los materiales por parte de la Secretaría, se hará teniendo en cuenta lo siguiente:

- F.1.** El responsable del estudio geotécnico del banco, determinará a nivel de estudio, que el material cumple con las características y los requisitos de calidad indicados en esta Norma, según el tipo de material requerido en el proyecto, probando muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-01-001, *Muestreo de Materiales para Revestimiento, Subbase y Base*, mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C de esta Norma, e indicará en cada caso, el tratamiento mecánico a que deba sujetarse el material.

- F.2.** En caso de que el Contratista de Obra seleccione el banco, será responsable de demostrar que el material cumple con las características y los requisitos de calidad señalados en esta Norma, con base en lo indicado en la Fracción anterior, y de realizar, cuando proceda, el estudio para su tratamiento mecánico y obtener la aprobación por parte del Residente. El Contratista de Obra entregará a la Secretaría un certificado de calidad que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta Norma, expedido por su laboratorio o por un laboratorio externo, aprobados por la Secretaría.

- F.3.** Durante el proceso de producción, con objeto de controlar la calidad del material, el Contratista de Obra, por cada doscientos (200) metros cúbicos o fracción del material pétreo de un mismo tipo, extraído del banco y, en su caso, una vez tratado mecánicamente, realizará las pruebas necesarias que aseguren que cumple con la granulometría y el equivalente de arena, indicados en esta Norma, y entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-01-001, *Muestreo de Materiales para Revestimiento*,

NORMAS

N-CMT-4-02-001/04

Subbase y Base, mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de cualquiera de los requisitos mencionados en esta Fracción.

F.4. Además de lo señalado en la Fracción anterior, el Contratista de Obra, por cada dos mil (2 000) metros cúbicos o fracción del material pétreo de un mismo tipo, extraído del banco y, en su caso, una vez tratado mecánicamente, realizará las pruebas necesarias que aseguren que cumple con todos los valores establecidos en esta Norma, y entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-01-001, *Muestreo de Materiales para Revestimiento, Subbase y Base*, y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de cualquiera de los requisitos establecidos.

F.5. Una vez tendida y compactada la capa de la subbase, el Contratista de Obra realizará las pruebas necesarias que aseguren que el material cumple con los contenidos de grava, arena y finos propios de la granulometría que corresponda, determinados mediante el procedimiento simplificado que se indica en el Manual M-MMP-4-01-003, *Granulometría* y con el equivalente de arena, según lo señalado en esta Norma, probando muestras obtenidas al azar, en promedio cada trescientos (300) metros del tramo tendido y compactado, mediante un procedimiento basado en tablas de números aleatorios, conforme a lo indicado en el Manual M-CAL-1-02, *Criterios Estadísticos de Muestreo*, así como con el grado de compactación establecido en esta Norma, en el proyecto o señalado por la Secretaría, de acuerdo con lo indicado en la Fracción H.3. de la Norma N-CTR-CAR-1-04-002, *Subbases y Bases* o en la Fracción H.2. de la Norma N-CSV-CAR-4-02-004, *Construcción de Subbases o Bases Hidráulicas*, según sea el caso, mediante el procedimiento contenido en el Manual M-MMP-4-01-011, *Grado de Compactación* y entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas.

F.6. En cualquier momento, la Secretaría podrá verificar que el material suministrado cumpla con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de alguno de ellos.

**LIBRO: CMT. CARACTERÍSTICAS DE
LOS MATERIALES**

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 02. Materiales para Subbases y Bases

CAPÍTULO: 002. Materiales para Bases Hidráulicas

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los requisitos de calidad que cumplirán los materiales que se utilicen en la construcción de bases hidráulicas de pavimentos asfálticos y de pavimentos de concreto hidráulico.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Son materiales granulares, que se colocan normalmente sobre la subbase o la subrasante para formar una capa de apoyo para una carpeta asfáltica o para una carpeta de concreto hidráulico.

Estos materiales, según el tratamiento que recibieron, pueden ser:

B.1. MATERIALES CRIBADOS

Son las arenas, gravas y limos, así como las rocas alteradas y fragmentadas, que al extraerlos quedan sueltos o pueden disgregarse mediante el uso de maquinaria. Una vez extraídos y, en su caso, disgregados, si contienen entre el cinco (5) y el veinticinco (25) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3") y no más de veinticinco (25) por ciento de material que pase la malla con abertura de cero coma cero setenta y cinco (0,075) milímetros (N°200), para hacerlos utilizables requerirán de un tratamiento mecánico de cribado, con el equipo adecuado, para satisfacer la composición granulométrica.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-02-002/04

B.2. MATERIALES PARCIALMENTE TRITURADOS

Son los poco o nada cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos o pueden ser disgregados, que contienen de veinticinco (25) a setenta y cinco (75) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3"), que para ser utilizables, requieren un tratamiento mecánico de trituración parcial y cribado, con el equipo adecuado, para satisfacer la composición granulométrica.

B.3. MATERIALES TOTALMENTE TRITURADOS

Son los materiales extraídos de un banco o pepenados, que requieren un tratamiento mecánico de trituración total y cribado, con el equipo adecuado, para satisfacer la composición granulométrica.

B.4. MATERIALES MEZCLADOS

Son los que se obtienen mediante la mezcla de dos o más de los materiales a que se refieren las Fracciones B.1. a B.3., en las proporciones necesarias para satisfacer los requisitos de calidad establecidos en esta Norma.

B.5. En cada caso la elección del tratamiento más conveniente corresponderá al Contratista de Obra asegurándose que se cumplan los requisitos de calidad de esta Norma.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Subbases y Bases	N-CTR-CAR-1-04-002
Construcción de Subbases o Bases Hidráulicas ..	N-CSV-CAR-4-02-004
Criterios Estadísticos de Muestreo	M-CAL-1-02
Muestreo de Materiales para Revestimiento,	
Subbase y Base	M-MMP-4-01-001
Granulometría.....	M-MMP-4-01-003
Límites de Consistencia	M-MMP-4-01-006
Valor Soporte de California (CBR)	M-MMP-4-01-007
Equivalente de Arena	M-MMP-4-01-008
Desgaste Los Ángeles	M-MMP-4-01-009
Compactación AASHTO	M-MMP-4-01-010

NORMAS

N-CMT-4-02-002/04

- Grado de Compactación M-MMP-4-01-011
- Partículas Alargadas y Lajeadas M-MMP-4-01-016

D. REQUISITOS DE CALIDAD PARA BASES DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

El material cribado, parcialmente triturado, totalmente triturado o mezclado, que se emplee en la construcción de bases para pavimentos asfálticos o para pavimentos de concreto hidráulico, cumplirá con los requisitos de calidad que se indican a continuación:

D.1. El material para la base hidráulica será cien (100) por ciento producto de la trituración de roca sana, cuando el tránsito esperado durante la vida útil del pavimento (ΣL) sea mayor de diez (10) millones de ejes equivalentes acumulados de ocho coma dos (8,2) toneladas; cuando ese tránsito sea de uno (1) a diez (10) millones, el material contendrá como mínimo setenta y cinco (75) por ciento de partículas producto de la trituración de roca sana y si dicho tránsito es menor un (1) millón, el material contendrá como mínimo cincuenta (50) por ciento de esas partículas.

D.2. Cuando inmediatamente después de la construcción de la base se coloque una carpeta de concreto hidráulico, el material para la base tendrá las características granulométricas que se establecen en la Tabla 1 y se muestran en la Figura 1, con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 2 de esta Norma.

TABLA 1.- Requisitos de granulometría de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de concreto hidráulico

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación	
37,5	1½"	100
25	1"	70 - 100
19	¾"	60 - 100
9,5	¾"	40 - 100
4,75	Nº4	30 - 80
2	Nº10	21 - 60
0,85	Nº20	13 - 44
0,425	Nº40	8 - 31
0,25	Nº60	5 - 23
0,15	Nº100	3 - 17
0,075	Nº200	0 - 10

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-02-002/04

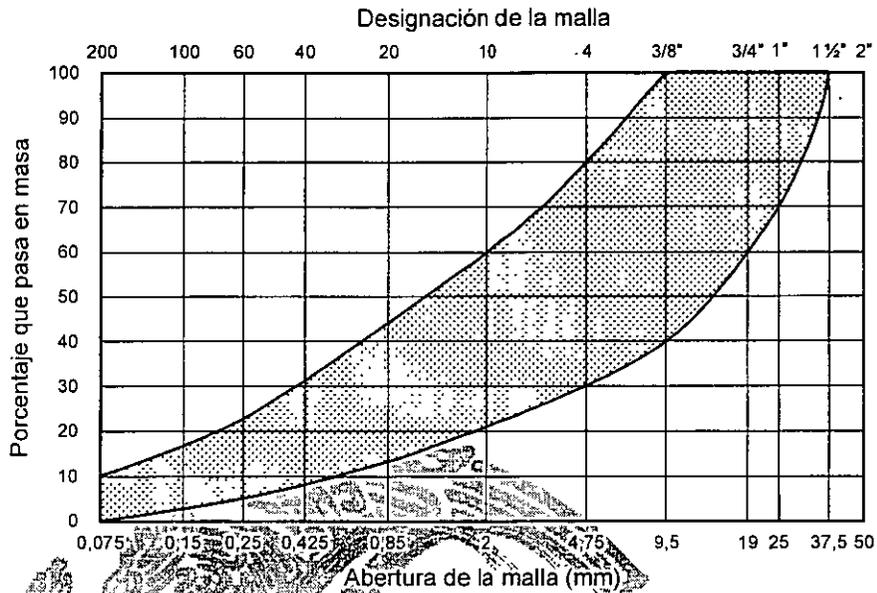


FIGURA 1.- Zona granulométrica recomendable de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de concreto hidráulico

TABLA 2.- Requisitos de calidad de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de concreto hidráulico

Característica	Valor %
Límite líquido ^[1] , máximo	25
Índice plástico ^[1] , máximo	6
Equivalente de arena, mínimo ^[1]	40
Valor Soporte de California (CBR), mínimo ^[1, 2]	80
Desgaste Los Ángeles, máximo ^[1]	35
Partículas alargadas y lajeadas, máximo	40
Grado de compactación ^[1, 3] , mínimo	100

[1] Determinado mediante el procedimientos de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma

[2] Con el grado de compactación indicado en esta Tabla.

[3] Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Modificada, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa.

D.3. Cuando inmediatamente después de la construcción de la base se coloque una carpeta de mezcla asfáltica de granulometría densa, ya sea en caliente o en frío, el material para la base tendrá las características granulométricas que se establecen en la Tabla 3 y se muestran en la Figura 2, con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 4 de esta Norma, en función de la intensidad del tránsito en términos del número de ejes equivalentes acumulados, de ocho coma dos (8,2) toneladas, esperado durante la vida útil del pavimento (ΣL).

TABLA 3.- Requisitos de granulometría de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de mezcla asfáltica de granulometría densa

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
37,5	Nº 1/2"	100	100
25	Nº 1"	70 - 100	70 - 100
19	Nº 3/4"	60 - 100	60 - 86
19,5	Nº 3/8"	40 - 100	40 - 65
4,75	Nº 4	30 - 80	30 - 50
2	Nº 10	21 - 60	21 - 36
0,85	Nº 20	13 - 44	13 - 25
0,425	Nº 40	8 - 31	8 - 17
0,25	Nº 60	5 - 23	5 - 12
0,15	Nº 100	3 - 17	3 - 9
0,075	Nº 200	0 - 10	0 - 5

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

D.4. Cuando sobre la base que se construya se coloque solamente un tratamiento asfáltico superficial, el material para la base tendrá las características granulométricas que se establecen en la Tabla 5 y se muestran en la Figura 3, y con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 4 de esta Norma, en función de la intensidad del tránsito en términos del número de ejes equivalentes acumulados, de ocho coma dos (8,2) toneladas, esperado durante la vida útil del pavimento (ΣL).

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-02-002/04

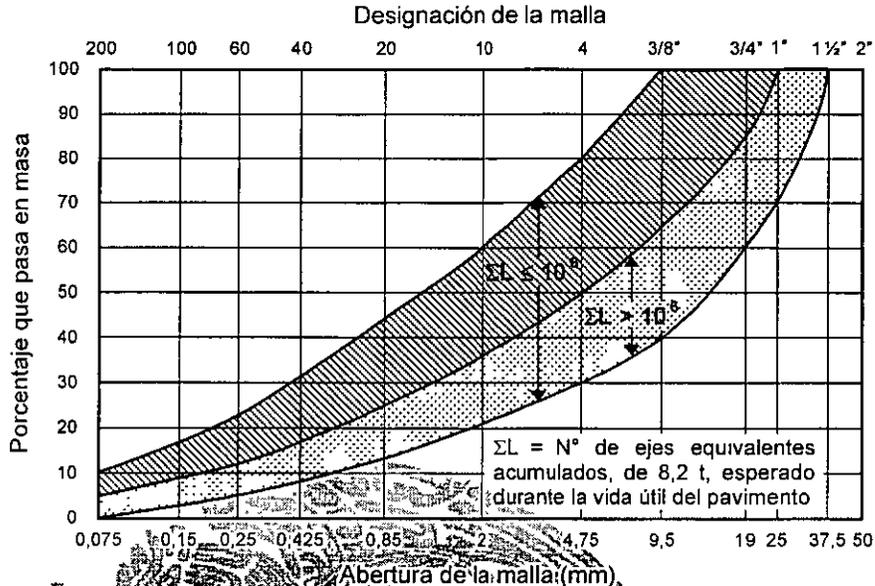


FIGURA 2.- Zonas granulométricas recomendables de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de mezcla asfáltica de granulometría densa

TABLA 4.- Requisitos de calidad de los materiales para bases de pavimentos asfálticos

Característica	Valor %	
	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
Límite líquido ^[2] , máximo	25	25
Índice plástico ^[2] , máximo	6	6
Equivalente de arena ^[2] , mínimo	40	50
Valor Soporte de California (CBR) ^[2, 3] , mínimo	80	100
Desgaste Los Ángeles ^[2] , máximo	35	30
Partículas alargadas y lajeadas ^[2] , máximo	40	35
Grado de compactación ^[2, 4] , mínimo	100	100

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento

[2] Determinado mediante el procedimientos de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

[3] Con el grado de compactación indicado en esta Tabla.

[4] Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Modificada, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa.

NORMAS

N-CMT-4-02 002/04

TABLA 5.- Requisitos de granulometría de los materiales para bases que sean cubiertas sólo con un tratamiento asfáltico superficial

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
37,5	1½"	100	100
25	1"	100	70 - 100
19	¾"	60 - 100	60 - 85
9,5	¾"	40 - 83	40 - 65
4,75	Nº4	30 - 67	30 - 50
2	Nº10	21 - 50	21 - 36
0,85	Nº20	13 - 37	13 - 25
0,425	Nº40	8 - 28	8 - 17
0,25	Nº60	5 - 22	5 - 12
0,15	Nº100	3 - 17	3 - 9
0,075	Nº200	0 - 10	0 - 5

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

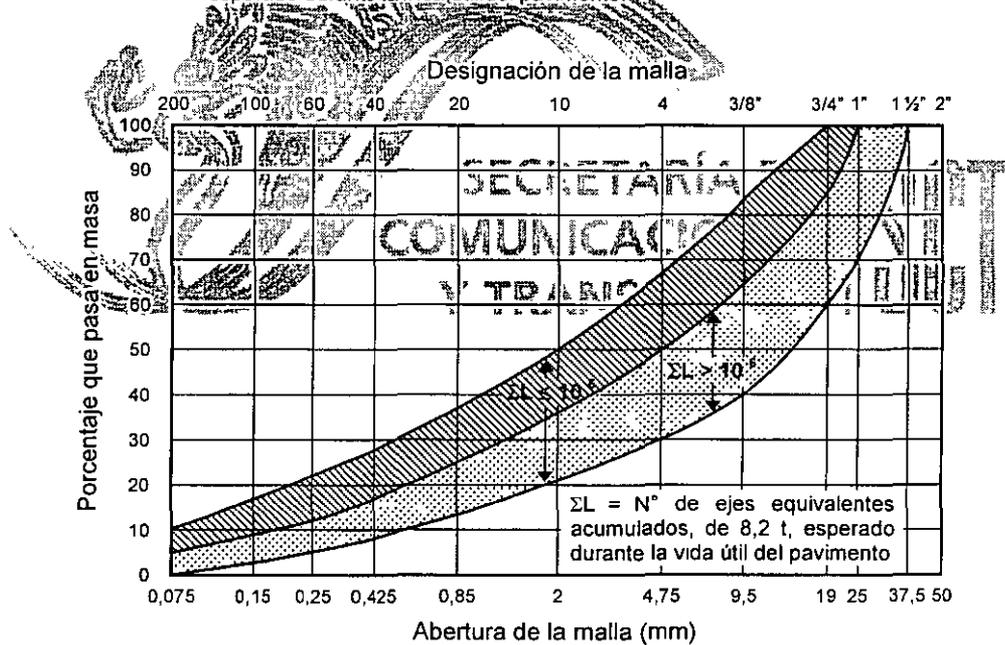


FIGURA 3.- Zonas granulométricas recomendables de los materiales para bases de pavimentos asfálticos y de pavimentos de concreto hidráulico

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-02 002/04

- D.5.** La curva granulométrica del material por emplear, determinada mediante el procedimiento contenido en el Manual M-MMP-4-01-003, *Granulometría*, tendrá una forma semejante a la de las curvas que se muestran en las Figuras 1 a 3 de esta Norma, según sea el caso, sin cambios bruscos de pendiente. La relación entre el porcentaje en masa que pase la malla con abertura de cero coma cero setenta y cinco (0,075) milímetros (N°200) al que pase la malla con abertura de cero coma cuatrocientos veinticinco (0,425) milímetros (N°40) no será mayor de cero coma sesenta y cinco (0,65).
- D.6.** Si la granulometría del material obtenido en un banco, una vez sujeto al tratamiento mecánico, no cumple con los requisitos establecidos en esta Norma, se podrá mezclar con materiales de otros bancos, en la proporción adecuada para que cumpla con dichos requisitos; en ningún caso es aceptable mezclar con materiales finos que agreguen plasticidad a la mezcla. Una vez establecido el proporcionamiento, el Contratista de Obra será el responsable de los procedimientos de mezclado de los materiales, para garantizar la homogeneidad de los mismos, evitando su segregación o degradación.

E. ALMACENAMIENTO

Con el propósito de evitar la alteración de las características de los materiales antes de su utilización en la obra, debe tenerse cuidado en su almacenamiento, atendiendo los siguientes aspectos:

- E.1.** El material, una vez tratado mecánicamente, se almacenará en un sitio específicamente destinado para tal uso. Cuando dicho sitio no cuente con un firme, previo a su utilización:
- Se removerá la materia vegetal y se limpiará la superficie;
 - se conformará, nivelará y compactará la superficie dejando una sección transversal uniforme que permita el drenaje y
 - se colocará, compactará y mantendrá sobre el terreno, una capa de quince (15) centímetros de espesor como mínimo, utilizando el mismo material por almacenar, para evitar la contaminación del material que se coloque encima.
- E.2.** Durante el almacenamiento se evitará la circulación de vehículos sobre los montículos de materiales, pero en caso de que esto sea

NORMAS

N-CMT-4-02-002/04

estrictamente necesario, se colocará un camino de tablas para evitar la contaminación y degradación del material o bien se usará una banda transportadora.

- E.3. Para evitar que se mezclen los diferentes materiales de distintos montículos, estos estarán lo suficientemente alejados uno del otro o separados entre sí por barreras colocadas con tal propósito.
- E.4. Cuando el material no vaya a usarse por un periodo prolongado, será recomendable cubrirlo con lonas para protegerlo de la intemperie.

F. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

La aceptación de los materiales por parte de la Secretaría, se hará teniendo en cuenta lo siguiente:

- F.1. El responsable del estudio geotécnico del banco, determinará a nivel de estudio que el material cumple con las características y los requisitos de calidad indicados en esta Norma, según el tipo de material requerido en el proyecto, probando muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-01-001, *Muestreo de Materiales para Revestimiento, Subbase y Base*, mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C de esta Norma, e indicará en cada caso el tratamiento mecánico a que deba sujetarse el material.
- F.2. En caso de que el Contratista de Obra seleccione el banco, será responsable de demostrar que el material cumple con las características y los requisitos de calidad señalados en esta Norma, con base en lo indicado en la Fracción anterior y de realizar, cuando proceda, el estudio para su tratamiento mecánico y obtener la aprobación por parte del Residente. El Contratista de Obra entregará a la Secretaría un certificado de calidad que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta Norma, expedido por su laboratorio o por un laboratorio externo, aprobados por la Secretaría.
- F.3. Durante el proceso de producción, con objeto de controlar la calidad del material, el Contratista de Obra, por cada trescientos (300) metros cúbicos o fracción del material pétreo de un mismo tipo, extraído del banco y una vez tratado mecánicamente, realizará las pruebas necesarias que aseguren que cumple con la

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4 02-002/04

granulometría y el equivalente de arena, indicados en esta Norma, y entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-01-001, *Muestreo de Materiales para Revestimiento, Subbase y Base*, mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de cualquiera de los requisitos mencionados en esta Fracción.

F.4. Además de lo señalado en la Fracción anterior, el Contratista de Obra, por cada tres mil (3 000) metros cúbicos o fracción del material pétreo de un mismo tipo, extraído del banco y una vez tratado mecánicamente, realizará las pruebas necesarias que aseguren que cumple con todos los valores establecidos en esta Norma, y entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-01-001, *Muestreo de Materiales para Revestimiento, Subbase y Base*, y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de cualquiera de los requisitos establecidos.

F.5. Una vez tendida y compactada la capa de la base, el Contratista de Obra realizará las pruebas necesarias que aseguren que el material cumple con los contenidos de grava, arena y finos propios de la granulometría que corresponda (determinados mediante el procedimiento simplificado que se indica en la Norma M-MMP-4-01-003, *Granulometría* y con el equivalente de arena, según lo señalado en esta Norma, probando muestras obtenidas al azar, en promedio cada doscientos (200) metros del tramo tendido y compactado, mediante un procedimiento basado en tablas de números aleatorios, conforme a lo indicado en el Manual M-CAL-1-02, *Criterios Estadísticos de Muestreo*, así como con el grado de compactación establecido en esta Norma, en el proyecto o señalado por la Secretaría, de acuerdo con lo indicado en la Fracción H.3. de la Norma N-CTR-CAR-1-04-002, *Subbases y Bases* o en la Fracción H.2. de la Normas N-CSV-CAR-4-02-004, *Construcción de Subbases o Bases Hidráulicas*, según sea el caso, mediante el procedimiento contenido en el Manual M-MMP-4-01-011, *Grado de Compactación*, y entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas.

NORMAS

N CMT-4-02-002/04

- F.6. En cualquier momento, la Secretaría podrá verificar que el material suministrado cumpla con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de alguno de ellos.



**LIBRO: CMT. CARACTERÍSTICAS DE
LOS MATERIALES**

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 02. Materiales para Subbases y Bases

CAPÍTULO: 003. Materiales para Bases Tratadas

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los requisitos de calidad que cumplirán los materiales que se utilicen en la construcción de bases de pavimentos asfálticos y de pavimentos de concreto hidráulico, tratadas químicamente para modificar su comportamiento mecánico e hidráulico.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Son materiales granulares que no cumplen con alguno de los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-02-002, *Materiales para Bases Hidráulicas* o que, por razones estructurales, requieren la incorporación de un producto que modifica alguna de sus características físicas, generalmente haciéndolos más rígidos y resistentes, mejorando su comportamiento mecánico e hidráulico, para ser colocados sobre la subbase o la subrasante y formar una capa de apoyo para una carpeta asfáltica o para una carpeta de concreto hidráulico.

Estos materiales, según el producto que se utilice en su tratamiento, se clasifican como:

- B.1.** Materiales modificados con cal. Cuando se les incorpora de dos (2) a tres (3) por ciento en masa, de cal, para modificar su plasticidad o reducir el efecto de la materia orgánica en los suelos.
- B.2.** Materiales modificados con cemento. Cuando se les incorpora de tres (3) a cuatro (4) por ciento en masa, de cemento Portland, para modificar su plasticidad o incrementar su resistencia.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-02-003/04

- B.3.** Materiales estabilizados con cemento. Cuando se les incorpora de ocho (8) a diez (10) por ciento en masa, de cemento Pórtland, para obtener una resistencia a la compresión simple a los veintiocho (28) días de edad, no menor de dos coma cinco (2,5) megapascales (25 kg/cm^2) e incrementar su rigidez, reduciendo así el efecto de la fatiga sobre la carpeta o mejorando el apoyo de las losas de concreto hidráulico.
- B.4.** Materiales estabilizados con asfalto. Cuando se les incorpora, mediante una emulsión o un asfalto rebajado, de tres (3) a cuatro (4) por ciento en masa, de cemento asfáltico, para mejorar su comportamiento y el efecto de la plasticidad.
- B.5.** Base de mezcla asfáltica (*Base negra*). Cuando a los materiales se les incorpora, en caliente o en frío, de cuatro (4) a cinco (5) por ciento en masa, de cemento asfáltico, para formar una capa de concreto asfáltico magro.
- B.6.** Base de concreto hidráulico magro o de baja resistencia. Cuando a los materiales se les incorpora el cemento Pórtland necesario para obtener una resistencia a la compresión simple a los veintiocho (28) días de edad, de catorce coma siete (14,7) megapascales (150 kg/cm^2) a diecinueve coma seis (19,6) megapascales (200 kg/cm^2), y transformar un pavimento flexible en un pavimento rígido, como es el caso de concretos compactados con rodillo o de la recuperación en frío de pavimentos asfálticos y su base hidráulica.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Capas Estabilizadas	N-CTR-CAR-1-04-003
Recuperación en Frío de Pavimentos Asfálticos ..	N-CSV-CAR-4-02-001
Construcción de Subbases o Bases Estabilizadas	N-CSV-CAR-4-02-005
Construcción de Subbases y Bases de Concreto Compactado con Rodillo	N-CSV-CAR-4-02-006
Calidad del Cemento Pórtland	N-CMT-2-02-001
Materiales para Bases Hidráulicas	N-CMT-4-02-002
Cal para Estabilización de Suelos	N-CMT-4-03-001
Calidad de Materiales Asfálticos	N-CMT-4-05-001

NORMAS

N-CMT-4-02-003/04

Resistencia a la Compresión Simple de Cilindros de Concreto	M-MMP-2-02-058
Muestreo de Materiales para Revestimiento, Subbase y Base	M-MMP-4-01-001
Granulometría.....	M-MMP-4-01-003
Contenido de Agua	M-MMP-4-01-004
Límites de Consistencia	M-MMP-4-01-006
Equivalente de Arena	M-MMP-4-01-008
Desgaste Los Ángeles	M-MMP-4-01-009
Compactación AASHTO	M-MMP-4-01-010
Contenido de Materia Orgánica	M-MMP-4-01-012
Determinación del Contenido de Asfalto para Estabilizar Suelos Finos No Plásticos	M-MMP-4-01-014
Determinación del Contenido de Asfalto para Estabilizar Suelos Finos Plásticos.....	M-MMP-4-01-015
Partículas Alargadas y Lameadas de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.....	M-MMP-4-04-005
Desprendimiento por Fricción de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-009
Cubrimiento con Asfalto Mediante el Método Inglés de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-010
Viscosidad Saybolt-Furol en Materiales Asfálticos	M-MMP-4-05-004
Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa	M-MMP-4-05-034
Contenido de Cemento Asfáltico en Mezclas	M-MMP-4-05-038
Contenido de Agua en Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-05-039
Contenido de Disolventes en Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-05-040
Pérdida de Estabilidad por Inmersión en Agua de Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-05-042

D. REQUISITOS DE CALIDAD PARA MATERIALES MODIFICADOS CON CAL, MODIFICADOS CON CEMENTO O ESTABILIZADOS CON CEMENTO, PROVENIENTES DE UN BANCO

Los materiales modificados con cal, modificados o estabilizados con cemento, cumplirán con los requisitos de calidad que se indican a continuación:

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-02-003/04

- D.1.** La cal o el cemento Pórtland que se utilicen para la modificación o estabilización, cumplirá con los requisitos de calidad que se establecen en las Normas N-CMT-4-03-001, *Cal para Estabilización de Suelos* o N-CMT-2-02-001, *Calidad del Cemento Pórtland*.
- D.2.** Salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa, cuando se utilice cemento Pórtland en la modificación o estabilización, éste será ordinario (Tipo CPO).
- D.3.** El material por modificar con cal o con cemento Pórtland, o por estabilizar con cemento Pórtland, cumplirá con los requisitos de granulometría que correspondan, entre los indicados en la Norma N-CMT-4-02-002, *Materiales para Bases Hidráulicas*, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa y no tendrá un contenido de materia orgánica tal que, al ser probado conforme al procedimiento descrito en el Manual M-MMP-4-01-012, *Contenido de Materia Orgánica*, produzca un líquido más oscuro que la solución normalizada N°3. En caso contrario se tratará con cal para reducir la actividad de la materia orgánica y cumplir con el valor antes anotado.
- D.4.** El material una vez modificado con cal o con cemento Pórtland, cumplirá con el límite líquido, el índice plástico, el equivalente de arena, el Valor Soporte de California (CBR) y el Desgaste Los Angeles, que correspondan entre los indicados en la Norma N-CMT-4-02-002, *Materiales para Bases Hidráulicas*.
- D.5.** La resistencia a la compresión simple del material una vez estabilizado con cemento Pórtland, a los veintiocho (28) días de edad, determinada en especímenes cilíndricos con una relación altura/diámetro no menor de uno (1), compactados dinámicamente al cien (100) por ciento respecto de la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Modificada, conforme a lo indicado en el Manual M-MMP-4-01-010, *Compactación AASHTO* o al grado de compactación que indique el proyecto o señale la Secretaría y probados mediante el procedimiento descrito en el Manual M-MMP-2-02-058, *Resistencia a la Compresión Simple de Cilindros de Concreto*, será la establecida en el proyecto o la que indique la Secretaría, pero nunca inferior que dos coma cinco (2,5) megapascales (25 kg/cm²).

NORMAS

N-CMT-4-02-003/04

- D.6.** Salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa, los materiales una vez modificados o estabilizados, con cal o con cemento Portland, se compactarán al cien (100) por ciento respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Modificada, conforme a lo indicado en el Manual M-MMP-4-01-010, *Compactación AASHTO*.

E. REQUISITOS DE CALIDAD PARA MATERIALES ESTABILIZADOS CON ASFALTO, PROVENIENTES DE UN BANCO

Los materiales estabilizados con asfalto, cumplirán con los requisitos de calidad que se indican a continuación:

- E.1.** El producto asfáltico que se utilice en la estabilización cumplirá con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, según su tipo.
- E.2.** El material por estabilizar con asfalto cumplirá con los requisitos de granulometría que correspondan, entre los indicados en la Norma N-CMT-4-02-002, *Materiales para Bases Hidráulicas*, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa. Tendrá un desprendimiento por fricción menor de veinticinco (25) por ciento y un cubrimiento con asfalto mayor de noventa (90) por ciento, determinados conforme a lo indicado en los Manuales M-MMP-4-04-009, *Desprendimiento por Fricción de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas* y M-MMP-4-04-010, *Cubrimiento con Asfalto Mediante el Método Inglés de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, respectivamente y no tendrá un contenido de materia orgánica tal que, al ser probado conforme al procedimiento descrito en el Manual M-MMP-4-01-012, *Contenido de Materia Orgánica*, produzca un líquido más oscuro que la solución normalizada N°3; en caso contrario se tratará con cal para reducir la actividad de la materia orgánica y cumplir con el valor antes anotado.
- E.3.** Para estabilizar los materiales no plásticos, como las arenas, se mezclarán con la cantidad de producto asfáltico necesaria para obtener una estabilidad mínima de cero coma sesenta y cuatro (0,64) kilonewton, determinada mediante el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-4-01-014, *Determinación del Contenido de Asfalto para Estabilizar Suelos Finos No Plásticos*.
- E.4.** Para estabilizar los materiales plásticos que tengan valores de límite líquido y equivalente de arena fuera de los límites indicados

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT 4-02-003/04

en la Norma N-CMT-4-02-002, *Materiales para Bases Hidráulicas*, se mezclarán con la cantidad de producto asfáltico necesaria para cumplir con los requisitos de calidad indicados en la Tabla 1 de esta Norma, determinados mediante el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-4-01-015, *Determinación del Contenido de Asfalto para Estabilizar Suelos Finos Plásticos*.

TABLA 1.- Requisitos de calidad de los materiales plásticos estabilizados con productos asfálticos

Característica*	Valor
Estabilidad; kg, mínimo	180
Expansión; %, máximo	2
Absorción; %, máximo	5

* Determinada mediante el procedimiento indicado en el Manual M-MMP-4-01-015, *Determinación del Contenido de Asfalto para Estabilizar Suelos Finos Plásticos*

E.5. Salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa, los materiales una vez estabilizados con producto asfáltico, se compactarán al cien (100) por ciento respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Modificada, conforme a lo indicado en el Manual M-MMP-4-01-010, *Compactación AASHTO*.

F. REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PARA BASE DE MEZCLA ASFÁLTICA (BASE NEGRA) PROVENIENTES DE UN BANCO

Los materiales que se empleen en la construcción de bases de mezcla asfáltica (bases negras), cumplirán con los requisitos de calidad que se indican a continuación:

- F.1. El producto asfáltico que se utilice cumplirá con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, según su tipo.
- F.2. El material pétreo cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 2 y se muestran en la Figura 1, con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 3 de esta Norma, en función de la intensidad del tránsito en términos del número de ejes equivalentes acumulados, de ocho coma dos (8,2) toneladas, esperado durante la vida útil del pavimento (ΣL).

NORMAS

N-CMT-4-02-003/04

TABLA 2.- Requisitos de granulometría del material pétreo para bases de mezcla asfáltica (bases negras)

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
37,5	1½"	100	100
25	1"	90 - 100	90 - 100
19	¾"	76 - 100	76 - 100
9,5	¾"	42 - 100	42 - 100
4,75	N°4	24 - 100	24 - 70
2	N°10	10 - 90	10 - 27
0,85	N°20	5 - 65	5 - 14
0,425	N°40	4 - 47	4 - 10
0,25	N°60	2 - 35	2 - 8
0,15	N°100	1 - 25	1 - 7
0,075	N°200	0 - 15	0 - 6

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

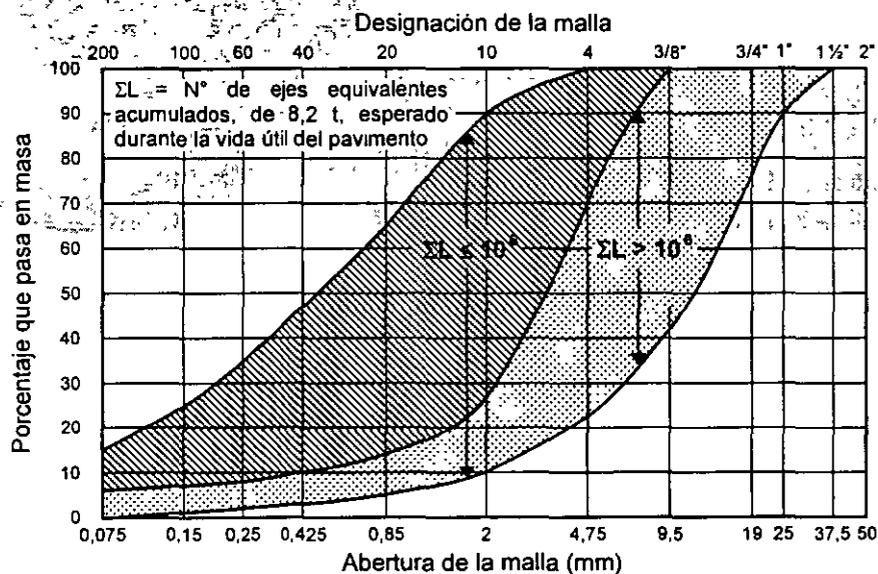


FIGURA 1.- Zonas granulométricas recomendables del material pétreo para bases de mezcla asfáltica (bases negras)

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-02 003/04

TABLA 3.- Requisitos de calidad del material pétreo para bases de mezcla asfáltica (bases negras)

Característica	Valor %	
	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
Límite líquido ^[2] , máximo	30	25
Índice plástico ^[2] , máximo	6	6
Contenido de agua ^[2] , máximo	1	1
Equivalente de arena ^[2] , mínimo	40	50
Partículas alargadas y lajeadas ^[2] , máximo	50	40
Desgaste Los Angeles ^[2] , máximo	30	30
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; máximo ^[2]	25	25

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

[2] Determinado mediante el procedimientos de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Cláusula C de esta Norma

F.3. La curva granulométrica del material pétreo, determinada mediante el procedimiento contenido en el Manual M-MMP-4-01-003, *Granulometría*, tendrá una forma semejante a las de las curvas que se muestran en la Figura 1 de esta Norma, sin cambios bruscos de pendiente.

F.4. El tamaño máximo permisible del material pétreo no será mayor de treinta y siete coma cinco (37,5) milímetros (1½") ni de dos tercios (⅔) del espesor de la capa de base asfáltica compacta.

F.5. Cuando la base de mezcla asfáltica se diseñe mediante el procedimiento descrito en el Manual M-MMP-4-05-034, *Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa*, de acuerdo con la intensidad del tránsito en términos del número de ejes equivalentes acumulados, de ocho coma dos (8,2) toneladas, esperado durante la vida útil del pavimento (ΣL), cumplirá con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 4 y con el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) indicado en la Tabla 5 de esta Norma.

F.6. Cuando en la elaboración de la base de mezcla asfáltica se utilice cemento asfáltico, el mezclado en caliente se hará a la temperatura más baja posible que permita obtener una mezcla y cubrimiento del material pétreo uniformes, pero lo suficientemente alta para disponer del tiempo requerido para su transporte, tendido

NORMAS

N-CMT-4-02-003/04

y compactación. En general, la temperatura de mezclado será la que, en la gráfica de Viscosidad-Temperatura, previamente obtenida para el cemento asfáltico que se utilice, corresponda a una viscosidad Saybolt-Furol de ochenta y cinco (85) más menos diez (± 10) segundos, determinada mediante el procedimiento descrito en el Manual M-MMP-4-05-004, *Viscosidad Saybolt-Furol en Materiales Asfálticos*. Los materiales pétreos se calentarán a la temperatura de mezclado más diez (10) grados Celsius.

TABLA 4.- Requisitos de calidad para bases de mezcla asfáltica diseñadas mediante el método Marshall

Características	Valor	
	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta	50	75
Estabilidad, N (lb), mínimo	4 410 (990)	6 860 (1 540)
Flujo; mm (10^{-2} in)	2 - 4,5 (8 - 18)	2 - 4 (8 - 16)
Vacios en la mezcla asfáltica (VMC); %	3 - 8	3 - 8

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

TABLA 5.- Vacíos en el agregado mineral (VAM) para bases de mezcla asfáltica diseñadas mediante el método Marshall

Tamaño máximo del material pétreo utilizado en la mezcla		Vacíos en el agregado mineral (VAM) %; mínimo
mm	Designación	
4,75	N°4	18
6,3	¼"	17
9,5	⅜"	16
12,5	½"	15
19	¾"	14
25	1"	13
37,5	1½"	12

- F.7.** Cuando en la elaboración de la base de mezcla asfáltica se utilice emulsión asfáltica, ésta será de rompimiento medio o lento y cuando se utilice asfalto rebajado, éste será de fraguado rápido. La temperatura de las emulsiones asfálticas al momento del

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-02 003/04

mezclado, será de cinco (5) a cuarenta (40) grados Celsius; en el caso de asfaltos rebajados, será de sesenta (60) a ochenta (80) grados Celsius. Para obtener un buen cubrimiento de los materiales pétreos, es conveniente realizar el mezclado en planta.

- F.8. No se aplicarán los materiales asfálticos cuando la temperatura ambiente sea menor de cinco (5) grados Celsius, cuando esté lloviendo o haya amenaza de lluvia o cuando la velocidad del viento impida que la aplicación con petrolizadora sea uniforme.
- F.9. Los contenidos de cemento asfáltico, de agua y de disolventes en las bases asfálticas ya compactadas, determinados de acuerdo con los procedimientos descritos en los Manuales M-MMP-4-05-038, *Contenido de Cemento Asfáltico en Mezclas*, M-MMP-4-05-039, *Contenido de Agua en Mezclas Asfálticas* y M-MMP-4-05-040, *Contenido de Disolventes en Mezclas Asfálticas*, respectivamente, quedarán dentro de los límites fijados en la Tabla 6 de esta Norma.

TABLA 6.- Contenidos de cemento asfáltico, agua y disolventes en la base de mezcla asfáltica (base negra)

Material asfáltico empleado en la elaboración de la base de mezcla asfáltica	Tolerancia en el contenido de cemento asfáltico (CA) ^[1] %	Contenido de agua libre permitido ^[2] %	Relación de disolventes a cemento asfáltico en masa valor K
Cemento asfáltico	CA ± 0,05	1	0
Emulsión asfáltica sin disolventes	CA ± 0,1	—	0
Emulsión asfáltica con disolventes	CA ± 0,1	—	0,05 a 0,08
Asfaltos rebajados	CA ± 0,1	1	0,05 a 0,08

[1] CA corresponde al contenido de cemento asfáltico determinado en el diseño de la mezcla, en por ciento respecto a la masa del material pétreo

[2] Respecto a la masa de la mezcla asfáltica

- F.10. Las temperaturas mínimas convenientes para el tendido y compactación de la base de mezcla asfáltica, serán determinadas mediante la curva *Viscosidad-Temperatura* del material asfáltico que se utilice, pero no será menor a la que corresponda a una viscosidad Saybolt-Furol de ciento cuarenta (140) más menos

NORMAS

N-CMT-4-02-003/04

quince (± 15) segundos, determinada mediante el procedimiento descrito en el Manual M-MMP-4-05-004, *Viscosidad Saybolt-Furol en Materiales Asfálticos*.

F.11. El espesor máximo de la base de mezcla asfáltica que se tienda será aquel que el equipo sea capaz de compactar, de tal forma que la diferencia entre los grados de compactación de los tres (3) centímetros superiores y de los tres (3) centímetros inferiores, sea menor de uno (1) por ciento o igual. Si es necesario, la base de mezcla asfáltica se construirá en dos o más capas.

F.12. Salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa, las bases de mezcla asfálticas se compactarán como mínimo al noventa y cinco (95) por ciento de su masa volumétrica máxima obtenida mediante el procedimiento descrito en el Manual M-MMP-4-05-034, *Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa*.

G. REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PARA BASE DE CONCRETO HIDRÁULICO MAGRO O DE BAJA RESISTENCIA, PROVENIENTES DE UN BANCO

Los materiales que se empleen en la construcción de bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia, cumplirán con los requisitos de calidad que se indican a continuación:

G.1. Salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa, el cemento Portland que se utilice será ordinario (Tipo CPO) y cumplirá con los requisitos de calidad que se establecen en la Norma N-CMT-2-02-001, *Calidad del Cemento Portland*.

G.2. El material pétreo cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 7 y se muestran en la Figura 2, y con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 8 de esta Norma.

G.3. La fracción del material pétreo que se retenga en la malla con abertura de cuatro coma setenta y cinco (4,75) milímetros (N°4) tendrá al menos cincuenta (50) por ciento en masa de partículas trituradas, que presenten dos caras fracturadas o más.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-02-003/04

TABLA 7.- Requisitos de granulometría del material pétreo para bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación	
25	1"	100
19	3/4"	87 - 100
9,5	3/8"	55 - 89
4,75	N°4	35 - 69
2	N°10	22 - 54
0,85	N°20	15 - 40
0,425	N°40	10 - 30
0,25	N°60	8 - 23
0,15	N°100	5 - 18
0,075	N°200	3 - 10

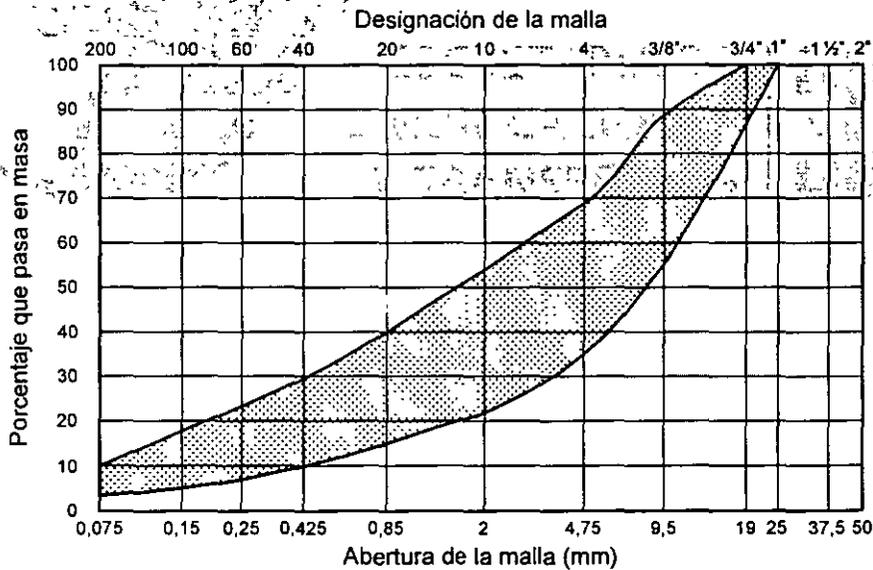


FIGURA 2.- Zona granulométrica recomendable del material pétreo para bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia

NORMAS

N-CMT-4-02-003/04

TABLA 8.- Requisitos de calidad del material pétreo para bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia

Característica	Valor %
Índice plástico ^[1] , máximo	NP
Equivalente de arena ^[1] , mínimo	50
Desgaste Los Ángeles ^[1] , máximo	30

[2] Determinado mediante el procedimientos de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

G.4. Los materiales pétreos nuevos, que no procedan de la recuperación en frío de pavimentos asfálticos, no tendrán un contenido de materia orgánica tal que, al ser probado conforme al procedimiento descrito en el Manual M-MMP-4-01-012, *Contenido de Materia Orgánica*, produzca un líquido más oscuro que la solución normalizada N°3.

G.5. Los materiales pétreos se suministrarán fraccionados al menos en dos tamaños, separados por la malla con abertura de cuatro coma setenta y cinco (4,75) milímetros (N°4), si la dosificación del cemento se hace en planta estacionaria. Si el cemento se agrega en el camino, se suministrará en un solo tamaño.

G.6. Los materiales pétreos combinados y el cemento Portland, se mezclarán en la proporción necesaria para producir un concreto hidráulico homogéneo, con la resistencia a la compresión simple establecida en el proyecto o aprobada por la Secretaría, de forma que en su estado fresco tenga un revenimiento de cero (0) centímetros. Será responsabilidad del Contratista de Obra determinar el proporcionamiento adecuado en el laboratorio para alcanzar la resistencia de proyecto.

G.7. La curva granulométrica de los materiales pétreos mezclados con el cemento Portland en la proporción a que se refiere la Fracción anterior, determinada mediante el procedimiento contenido en el Manual M-MMP-4-01-003, *Granulometría*, tendrá una forma continua, ubicada dentro de los límites que se establecen en la Tabla 9 y se muestran en la Figura 3 de esta Norma.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-02-003/04

TABLA 9.- Requisitos de granulometría del material pétreo para bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia, habiendo agregado el cemento Pórtland

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación	
25	1"	100
19	¾"	88 - 100
9,5	½"	59 - 90
4,75	N°4	41 - 72
2	N°10	29 - 58
0,85	N°20	23 - 45
0,425	N°40	18 - 36
0,25	N°60	16 - 30
0,15	N°100	14 - 25
0,075	N°200	12 - 18

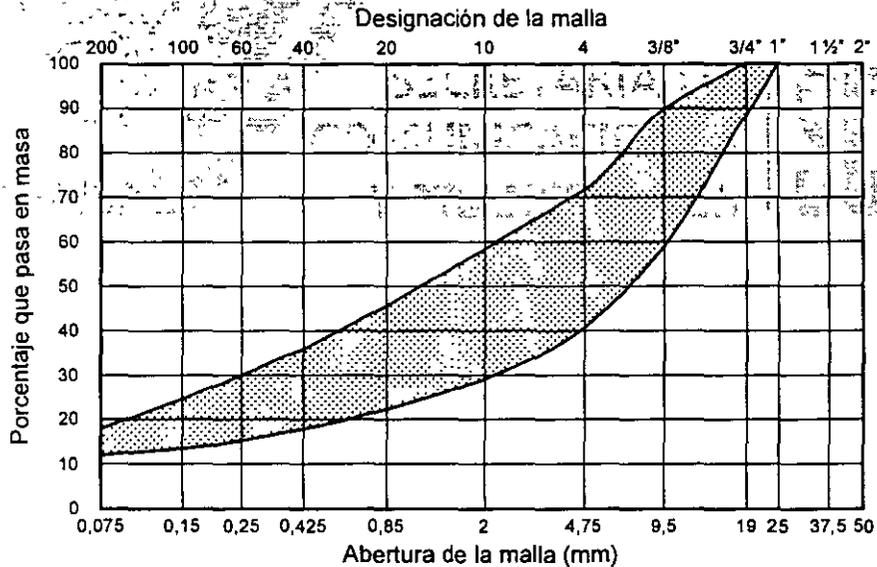


FIGURA 3.- Zona granulométrica recomendable del material pétreo para bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia, habiendo agregado el cemento Pórtland

NORMAS

N-CMT-4 02-003/04

G.8. Salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa, la base de concreto hidráulico magro o de baja resistencia, una vez agregado el cemento Portland, se compactará al cien (100) por ciento respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Modificada, conforme a lo indicado en el Manual M-MMP-4-01-010, *Compactación AASHTO*, con el contenido de agua óptimo. La compactación de una sección transversal cualquiera se terminará totalmente en menos de tres (3) horas, desde el instante en que se haya iniciado la incorporación y mezclado del agua para el concreto hidráulico magro o de baja resistencia destinado a esa sección, excepto cuando el proyecto indique o la Secretaría apruebe la utilización de un aditivo retardador de fraguado, en cuyo caso dicha sección se compactará totalmente dentro del plazo de trabajabilidad de la mezcla.

G.9. En todo momento se mantendrá húmeda la superficie de la base de concreto hidráulico magro o de baja resistencia, mediante riegos de agua finamente pulverizada, hasta la colocación de la membrana de curado, si el camino está fuera de operación. En caso contrario se continuará con los riegos durante tres (3) días.

G.10. Una vez compactada y curada la base, su resistencia a la compresión simple a los veintiocho (28) días de edad, determinada mediante el procedimiento descrito en el Manual M-MMP-2-02-058, *Resistencia a la Compresión Simple de Cilindros de Concreto*, será la establecida en el proyecto o la que indique la Secretaría.

H. REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PROVENIENTES DE LA RECUPERACIÓN DE PAVIMENTOS EXISTENTES

En general, los materiales obtenidos de la recuperación in-situ de pavimentos existentes, para ser utilizados en una nueva base, estabilizada o no, se corregirán mediante la adición de otros materiales provenientes de banco, de tal manera que cumplan con los requisitos establecidos en esta Norma según el uso a que se destinen. En los casos en que esto no sea posible o económicamente inconveniente, tal situación deberá ser tomada en cuenta en el diseño del pavimento.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-02-003/04

I. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

Con el propósito de evitar la alteración de las características de los materiales antes de su utilización en la obra, debe tenerse cuidado en su transporte y almacenamiento, atendiendo los siguientes aspectos:

I.1. Los materiales nuevos por modificar o estabilizar, o el material pétreo nuevo que se emplee en la construcción de bases de mezcla asfáltica o de concreto de baja resistencia, se almacenará en un sitio específicamente destinado para tal uso, considerando lo siguiente:

I.1.1. Cuando en el almacén no se cuente con un firme, previamente a su utilización:

- Se removerá la materia vegetal y se limpiará la superficie;
- se conformará, nivelará y compactará la superficie hasta dejar una sección transversal uniforme que permita el drenaje, y
- se colocará, compactará y mantendrá sobre el terreno, una capa de quince (15) centímetros de espesor como mínimo, utilizando el mismo material por almacenar, para evitar la contaminación del material que se almacene encima.

I.1.2. Durante el almacenamiento se evitará la circulación de vehículos sobre los montículos de materiales, pero en caso de que esto sea estrictamente necesario, se colocará un camino de tablas para evitar la contaminación y degradación del material.

I.1.3. Para evitar que se mezclen los diferentes materiales de distintos montículos, estos estarán lo suficientemente alejados uno del otro o separados entre sí por barreras colocadas con tal propósito.

I.1.4. Cuando el material no vaya a usarse por un periodo prolongado, es conveniente cubrirlo con lonas para protegerlo de contaminantes y del clima.

NORMAS

N-CMT-4-02-003/04

I.2. Para la base de mezcla asfáltica elaborada, con cemento asfáltico, una vez concluido el mezclado en caliente se considerará lo siguiente:

I.2.1. La mezcla asfáltica caliente puede ser almacenada por corto tiempo en tolvas metálicas sin orificios, con superficie interior lisa y limpia, pero teniendo en cuenta que la temperatura de la mezcla se reducirá rápidamente. No se permitirá el almacenamiento en pilas o montones, aun cuando estos se cubran con lonas.

I.2.1.1. Si se utilizan silos térmicamente aislados, la mezcla asfáltica puede almacenarse hasta por veinticuatro (24) horas sin pérdida de temperatura o sangrado importante.

I.2.1.2. De requerirse largos periodos de almacenamiento, se utilizarán silos que incluyan sistemas de calentamiento que permitan mantener la temperatura de la mezcla, pero cuidando que no se presente sangrado u oxidación de ésta.

I.2.2. La mezcla asfáltica en caliente se transportará en vehículos con caja metálica con superficie interior lisa, sin orificios y que esté siempre limpia y libre de residuos de mezcla asfáltica, para evitar que la mezcla que se transporte se adhiera a la caja.

I.2.3. Antes de cargar el vehículo de transporte, se limpiará su caja y se cubrirá la superficie interior con un lubricante para evitar que se le adhiera la mezcla, utilizando una solución de agua y cal, agua jabonosa o algún producto comercial apropiado. En ningún caso se deben usar productos derivados del petróleo como el diesel, debido a problemas ambientales y posibles daños a la mezcla. Una vez hecho lo anterior, se levantará la caja para drenar el exceso de lubricante.

I.2.4. El vehículo de transporte se llenará con varias descargas sucesivas de la mezcla para minimizar la segregación de los materiales pétreos, colocándolas desde los extremos de la caja hacia su centro.

I.2.5. Una vez cargado el vehículo de transporte, se cubrirá la mezcla asfáltica con una lona que la preserve del polvo o de otro material contaminante y reduzca la pérdida de calor durante el trayecto.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4 02-003/04

- 1.2.6. El tiempo máximo de transporte dependerá de la pérdida de calor de la mezcla, la que se tenderá y compactará a las temperaturas mínimas determinadas como se indica en la Fracción F.10. de esta Norma.
- 1.2.7. La temperatura de fabricación de la mezcla no deberá incrementarse para lograr que al final de su transporte tenga la temperatura adecuada para el tendido y compactación.
- 1.2.8. El transporte de la mezcla se hará siempre sobre superficies pavimentadas.
- 1.2.9. La longitud del transporte será de sesenta (60) kilómetros como máximo, la que se reducirá un diez (10) por ciento por cada grado de pendiente ascendente, medida como el desnivel de la planta de mezclado y el punto de tiro, dividido entre la longitud de transporte.

J. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

La aceptación de los materiales por parte de la Secretaría, se hará considerando lo siguiente:

- J.1. El responsable del estudio geotécnico del banco, determinará a nivel de estudio, que el material cumple con las características y los requisitos de calidad indicados en esta Norma, según el tipo de material requerido en el proyecto, probando muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-01-001, *Muestreo de Materiales para Revestimiento, Subbase y Base*, mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma, e indicará en cada caso, el tratamiento a que deba sujetarse el material.
- J.2. En caso de que el Contratista de Obra seleccione el banco, será el responsable de demostrar que el material cumple con las características y los requisitos de calidad señalados en esta Norma, con base en lo indicado en la Fracción anterior y de realizar, cuando proceda, el estudio para su tratamiento y obtener la aprobación por parte del Residente. El Contratista de Obra entregará a la Secretaría un certificado de calidad que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta Norma, expedido por su laboratorio o por un laboratorio externo, aprobados por la Secretaría.

NORMAS

N-CMT-4-02-003/04

- J.3.** Durante el proceso de producción, con el propósito de controlar la calidad del material al ejecutar la obra, el Contratista de Obra, por cada trescientos (300) metros cúbicos o fracción de material que suministre o recupere en el camino, realizará las pruebas necesarias que aseguren que:
- J.3.1.** El material pétreo de un mismo tipo, para ser modificado con cal o con cemento Portland, estabilizado con cemento Portland o con asfalto, o utilizado en la construcción de bases de mezcla asfáltica o de bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia, cuando no proceda de la recuperación en frío de pavimentos asfálticos, cumpla con la granulometría y, en su caso, con el contenido de materia orgánica indicados en esta Norma.
 - J.3.2.** El material pétreo de un mismo tipo, una vez modificado con cal o con cemento Portland, cumpla con el límite líquido, el índice plástico y el equivalente de arena indicados en esta Norma.
 - J.3.3.** El material pétreo de un mismo tipo, una vez modificado con cal o con cemento Portland, cumpla con el límite líquido, el índice plástico y el equivalente de arena indicados en esta Norma.
 - J.3.4.** El material pétreo de un mismo tipo, una vez estabilizado con cemento Portland, cumpla con la resistencia a la compresión simple indicada en esta Norma, en el proyecto o señalada por la Secretaría.
 - J.3.5.** El material pétreo de un mismo tipo, una vez estabilizado con asfalto, cumpla con la estabilidad indicada en esta Norma.
 - J.3.6.** El material pétreo de un mismo tipo, que se emplee en la construcción de bases de mezcla asfáltica (bases negras) o de concreto magro o de baja resistencia, cumpla con la granulometría y el equivalente de arena indicados en esta Norma.
 - J.3.7.** La mezcla asfáltica producida para bases (bases negras), con material pétreo de un mismo tipo, cumpla con el contenido de asfalto indicado en esta Norma.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4 02-003/04

- J.3.8.** El material pétreo de un mismo tipo, que se emplee en la construcción de bases de concreto hidráulico magro o de baja resistencia, una vez mezclado con el cemento Portland, cumpla con la granulometría indicada en esta Norma.
- J.3.9.** El concreto hidráulico magro o de baja resistencia, producido con material pétreo de un mismo tipo, cumpla con el revenimiento señalado en esta Norma.
- J.4.** Una vez tendidas y compactadas las capas de base tratada, el Contratista de Obra realizará las pruebas necesarias que aseguren el cumplimiento del grado de compactación y, en su caso, de la estabilidad o la resistencia a la compresión simple, establecidos en esta Norma, en el proyecto o señalado por la Secretaría, de acuerdo con lo indicado en las Cláusulas H. de las Normas N-CTR-CAR-1-04-003, *Capas Estabilizadas*, N-CSV-CAR-4-02-001, *Recuperación en Frío de Pavimentos Asfálticos*, N-CSV-CAR-4-02-005, *Construcción de Subbases o Bases Estabilizadas*, y N-CSV-CAR-4-02-006, *Construcción de Subbases y Bases de Concreto Compactado con Rodillo*, según sea el caso.
- J.5.** Además de lo señalado en las Fracciones J.3. y J.4., el Contratista de Obra, por cada tres mil (3.000) metros cúbicos o fracción de material estabilizado con asfalto, de mezcla asfáltica para bases (bases negras) y de concreto hidráulico magro o de baja resistencia, que se hayan producido con un mismo tipo de material pétreo, realizará las pruebas necesarias que aseguren que cumplen con todos los valores establecidos en esta Norma.
- J.6.** Las pruebas a que se refieren las Fracciones J.3. y J.5., se realizarán en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-01-001, *Muestreo de Materiales para Revestimiento, Subbase y Base*, y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Si el material procede de la recuperación en in-situ de pavimentos existentes, se muestreará después de corregido mediante la adición de otro material y mezclado, o inmediatamente después de recuperado si así lo establece el proyecto, para verificar el cumplimiento de las características establecidas en el proyecto.

NORMAS

N-CMT 4-02-003/04

El Contratista de Obra entregará a la Secretaría los resultados de las pruebas que realice de acuerdo con las Fracciones J.3. a J.5. de esta Norma y será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de cualquiera de los requisitos establecidos en esas Fracciones.

- J.7. En cualquier momento, la Secretaría podrá verificar que los materiales suministrados para la construcción de bases tratadas, cumplan con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de alguno de ellos.

**LIBRO: CMT. CARACTERÍSTICAS DE
LOS MATERIALES**

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 04. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los requisitos de calidad de los materiales pétreos que se utilicen en la elaboración de mezclas asfálticas.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Los materiales pétreos que comprende esta Norma son los materiales naturales seleccionados o sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, que aglutinados con un material asfáltico se emplean en la elaboración de las mezclas asfálticas a que se refiere la Norma N-CMT-4-05-003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras*.

Según el tipo de mezcla en el que se vayan a utilizar, los materiales pétreos se clasifican como se indica a continuación y se detalla en las Cláusulas D. a H. de esta Norma.

- Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría densa
- Materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría abierta
- Materiales pétreos para mortero asfáltico
- Materiales pétreos para carpetas por el sistema de riegos
- Materiales pétreos para mezclas asfálticas para guarniciones

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes:

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-04/03

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras	N-CMT-4-05-003
Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-001
Granulometría de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-002
Densidad Relativa de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-003
Equivalente de Arena de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-004
Partículas Alargadas y Lajeadas de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-005
Desgaste Mediante la Prueba de Los Angeles de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-006
Intemperismo Acelerado de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-008
Desprendimiento por Fricción en Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-009
Cubrimiento con Asfalto mediante el Método Inglés de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-04-010
Desgaste por Abrasión en Húmedo de Morteros Asfálticos	M-MMP-4-05-041
Pérdida de Estabilidad por Inmersión en Agua de Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-05-042

D. REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA DENSA

El material pétreo que se utilice en la elaboración de carpetas asfálticas de granulometría densa, con mezcla en caliente o en frío, en función de su tamaño nominal y del tránsito esperado en términos del número de ejes equivalentes de ocho coma dos (8,2) toneladas, acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL), cumplirá con lo que se indica a continuación:

- D.1. Cuando el tránsito esperado (ΣL) sea igual a un (1) millón de ejes equivalentes o menor, el material pétreo, según su tamaño nominal, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 1 o bien las señaladas en la Tabla 3, así como con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 2 de

NORMAS

N-CMT-4-04/03

esta Norma. Se hace notar que no podrán utilizarse materiales con granulometrías entre una u otra zona granulométrica.

TABLA 1.- Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (únicamente para $\Sigma L \leq 10^6$)

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)				
Abertura mm	Designación	12,5 (½)	19 (¾)	25 (1)	37,5 (1½)	50 (2)
Porcentaje que pasa						
50	2"	—	—	—	—	100
37,5	1½"	—	—	—	100	90 - 100
25	1"	—	—	100	90 - 100	76 - 90
19	¾"	—	100	90 - 100	79 - 92	66 - 83
12,5	½"	100	90 - 100	76 - 89	64 - 81	53 - 74
9,5	¾"	90 - 100	79 - 92	67 - 82	56 - 75	47 - 68
6,3	½"	76 - 89	66 - 81	56 - 71	47 - 65	39 - 59
4,75	N°4	68 - 82	59 - 74	50 - 64	42 - 58	35 - 53
2	N°10	48 - 64	41 - 55	36 - 46	30 - 42	26 - 38
0,85	N°20	33 - 49	28 - 42	25 - 35	21 - 31	19 - 28
0,425	N°40	23 - 37	20 - 32	18 - 27	15 - 24	13 - 21
0,25	N°60	17 - 29	15 - 25	13 - 21	11 - 19	9 - 16
0,15	N°100	12 - 21	11 - 18	9 - 16	8 - 14	6 - 12
0,075	N°200	7 - 10	6 - 9	5 - 8	4 - 7	3 - 6

TABLA 2.- Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (únicamente para $\Sigma L \leq 10^6$)

Característica	Valor
Densidad relativa, mínimo	2,4
Desgaste Los Ángeles, %, máximo	35
Partículas alargadas y lajeadas, %, máximo	40
Equivalente de arena, %, mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua, %, máximo	25

D.2. Si el tránsito esperado (ΣL) es mayor de un (1) millón de ejes equivalentes, el material pétreo cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 3 y con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 4 de esta Norma.

E. REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA

El material pétreo que se emplee en la elaboración de carpetas asfálticas de granulometría abierta, generalmente con mezcla en caliente, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 5, en función del espesor de la carpeta, así

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-04/03

como con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 6 de esta Norma.

TABLA 3.- Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (para cualquier valor de ΣL)

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)				
Abertura mm	Designación	12,5 (½)	19 (¾)	25 (1)	37,5 (1½)	50 (2)
Porcentaje que pasa						
50	2"	---	---	---	---	100
37,5	1½"	---	---	---	100	90 - 100
25	1"	---	---	100	90 - 100	74 - 90
19	¾"	---	100	90 - 100	79 - 90	62 - 79
12,5	½"	100	90 - 100	72 - 90	58 - 71	46 - 60
9,5	¾"	90 - 100	76 - 90	60 - 76	47 - 60	39 - 50
6,3	¼"	70 - 81	56 - 69	44 - 57	36 - 46	30 - 39
4,75	N°4	56 - 69	45 - 59	37 - 48	30 - 39	25 - 34
2	N°10	28 - 42	25 - 35	20 - 29	17 - 24	13 - 21
0,85	N°20	18 - 27	15 - 22	12 - 19	9 - 16	6 - 13
0,425	N°40	13 - 20	11 - 16	8 - 14	5 - 11	3 - 9
0,25	N°60	10 - 15	8 - 13	6 - 11	4 - 9	2 - 7
0,15	N°100	6 - 12	5 - 10	4 - 8	2 - 7	1 - 5
0,075	N°200	2 - 7	2 - 6	2 - 5	1 - 4	0 - 3

TABLA 4.- Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (para $\Sigma L > 10^6$)

Característica	Valor
Densidad relativa, mínimo	2,4
Desgaste Los Ángeles, %, máximo	30
Partículas alargadas y lajeadas, %, máximo	35
Equivalente de arena, %, mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua, %, máximo	25

F. REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA CARPETAS DE MORTERO ASFÁLTICO

El material pétreo que se utilice en la elaboración de carpetas de mortero asfáltico, generalmente con mezcla en frío, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 7 y con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 8 de esta Norma.

NORMAS

N-CMT-4-04/03

TABLA 5.- Requisitos granulométricos del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría abierta

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	Para espesores ≤ 4 cm	Para espesores > 4 cm
25	1"	--	100
19	¾"	100	62 - 100
12,5	½"	65 - 100	45 - 70
9,5	¾"	48 - 72	33 - 58
6,3	¼"	30 - 52	22 - 43
4,75	N°4	18 - 38	14 - 33
2	N°10	5 - 19	5 - 19
0,075	N°200	2 - 4	2 - 4

TABLA 6.- Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría abierta

Característica ⁽¹⁾	Valor
Densidad relativa; mínimo	2,4
Desgaste Los Angeles; %, máximo	30
Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo	25
Equivalente de arena, %, mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo	25

[1] - El material debe ser 100% producto de trituración de roca sana

TABLA 7.- Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas de mortero asfáltico

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación	
4,75	N°4	100
2	N°10	89 - 100
0,85	N°20	43 - 72
0,425	N°40	26 - 53
0,25	N°60	17 - 41
0,15	N°100	10 - 30
0,075	N°200	5 - 15

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-04/03

TABLA 8.- Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas de mortero asfáltico

Característica	Valor
Desgaste por abrasión en húmedo; %, máximo	10
Equivalente de arena; %, mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo	25

G. REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA CARPETAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS

El material pétreo que se utilice en la elaboración de carpetas construidas por el sistema de riegos, según su denominación, cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 9, así como con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 10 de esta Norma.

TABLA 9.- Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas por el sistema de riegos

Malla		Denominación del material pétreo				
Abertura mm	Designación	1	2	3-A	3-B	3-E
Porcentaje que pasa						
31,5	1½"	100	---	---	---	---
25	1"	95 mín	---	---	---	---
19	¾"	---	100	---	---	---
12,5	½"	5 máx	95 mín	100	---	100
9,5	¾"	---	---	95 mín	100	95 mín
6,3	¼"	0	5 máx	---	95 mín	---
4,75	N°4	---	---	---	---	5 máx
2	N°10	---	0	5 máx	5 máx	0
0,425	N°40	---	---	0	0	---

TABLA 10.- Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas por el sistema de riegos

Característica	Valor
Desgaste Los Angeles; %, máximo	30
Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo	35
Intemperismo acelerado; % máximo	12
Desprendimiento por fricción; %, máximo	25
Cubrimiento con asfalto (Método Inglés); %, mínimo	90

NORMAS

N CMT-4-04/03

H. REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PÉTREOS PARA GUARNICIONES

El material pétreo que se utilice en la elaboración de mezclas asfálticas para guarniciones cumplirá con las características granulométricas que se establecen en la Tabla 11 y con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 12 de esta Norma.

TABLA 11.- Requisitos de granulometría del material pétreo que se utilice en mezclas asfálticas para guarniciones

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación	
19	¾"	100
12,5	½"	87 - 100
9,5	⅜"	79 - 100
6,3	¼"	68 - 100
4,75	N°4	60 - 100
2	N°10	40 - 91
0,85	N°20	28 - 61
0,425	N°40	20 - 42
0,25	N°60	14 - 33
0,15	N°100	10 - 25
0,075	N°200	3 - 15

TABLA 12.- Requisitos de calidad del material pétreo para guarniciones asfálticas

Característica	Valor
Equivalente de arena; %, mínimo	50

I. ALMACENAMIENTO DE MATERIALES PÉTREOS

Con el propósito de evitar la alteración de las características de los materiales pétreos antes de su utilización en la obra, ha de tenerse cuidado en su almacenamiento, atendiendo los siguientes aspectos:

- I.1. El material pétreo, una vez tratado, se almacenará en tolvas o silos metálicos sin orificios, con superficie interior lisa y limpia, o bien en un sitio específicamente destinado para tal uso. Cuando en dicho sitio no se cuente con un firme, previamente a su utilización se deberá:

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-04/03

- Remover la materia vegetal y limpiar la superficie.
 - Conformar, nivelar y compactar la superficie dejando una sección transversal uniforme que permita el drenaje.
 - Colocar, compactar y mantener sobre el terreno, una capa de quince (15) centímetros de espesor como mínimo, utilizando el mismo material pétreo por almacenar, para evitar la contaminación del resto del material que se coloque encima.
- I.2. Durante el almacenamiento se evitará la circulación de vehículos sobre los montículos de materiales, pero en caso de que esto sea estrictamente necesario, se colocará un camino de tablas para evitar la contaminación del material pétreo.
- I.3. Para evitar que lleguen a mezclarse montículos de distintos materiales pétreos, estarán lo suficientemente alejados uno del otro o separados entre sí por paredes colocadas con tal propósito.
- I.4. Cuando el material pétreo no vaya a usarse por un periodo prolongado, es conveniente que se cubra con lonas para protegerlo del clima.

J. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

La aceptación de los materiales pétreos por parte de la Secretaría, se hará considerando lo siguiente:

- J.1. El encargado de elaborar el estudio del banco, es el responsable de determinar, a nivel estudio, que el material pétreo cumpla con las características y los requisitos de calidad indicados en esta Norma, según el tipo de material pétreo establecido en el proyecto, en muestras obtenidas y preparadas como se establece en el Manual M-MMP-4-04-001, *Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.
- J.2. En el caso de que el Contratista de Obra seleccione el banco, éste será el responsable de demostrar que el material pétreo cumple con las características y los requisitos de calidad señalados en esta Norma, considerando lo indicado en la Fracción anterior, para su aprobación por parte del Residente. El Contratista de Obra

NORMAS

N-CMT-4-04/03

entregará a la Secretaría un certificado de calidad que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta Norma, expedido por su propio laboratorio o por un laboratorio externo aprobado por la Secretaría.

- J.3.** Durante el proceso de producción, con objeto de controlar la calidad del material pétreo en la ejecución de la obra, el Contratista de Obra, por cada doscientos cincuenta (250) metros cúbicos o fracción del material de un mismo tipo, extraído del banco, realizará las pruebas necesarias que aseguren que cumple con la granulometría y el equivalente de arena establecidos en esta Norma y entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas y preparadas como se establece en el Manual M-MMP-4-04-001, *Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de cualquiera de los requisitos mencionados en esta Fracción.
- J.4.** Además de lo señalado en la Fracción anterior, el Contratista de Obra, por cada dos mil quinientos (2 500) metros cúbicos de producción del banco, realizará las pruebas necesarias que aseguren que el material pétreo cumple con todos los requisitos establecidos en esta Norma, según el tipo de material de que se trate y entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas y preparadas como se establece en el Manual M-MMP-4-04-001, *Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de cualquiera de los requisitos establecidos.
- J.5.** En cualquier momento, la Secretaría puede verificar que el material suministrado cumpla con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, según el tipo de material de que se trate, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

LIBRO: CMT. CARACTERÍSTICAS DE
LOS MATERIALES

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 001. Calidad de Materiales Asfálticos

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene las características de calidad de los materiales asfálticos que se utilicen en la elaboración de carpetas y mezclas asfálticas.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

El asfalto es un material bituminoso de color negro, constituido principalmente por asfaltenos, resinas y aceites, elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad; es sólido o semisólido y tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientales normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida.

Los materiales asfálticos se emplean en la elaboración de carpetas, mezclas, morteros, riegos y estabilizaciones, ya sea para aglutinar los materiales pétreos utilizados, para ligar o unir diferentes capas del pavimento; o bien para estabilizar bases o subbases. También se pueden usar para construir, fabricar o impermeabilizar otras estructuras, tales como algunas obras complementarias de drenaje, entre otras.

Los materiales asfálticos se clasifican en cementos asfálticos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados, dependiendo del vehículo que se emplee para su incorporación o aplicación, como se indica en la Tabla 1 de esta Norma y se detalla a continuación.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N CMT-4-05-001/06

TABLA 1.- Clasificación de los materiales asfálticos

Material asfáltico	Vehículo para su aplicación	Usos más comunes
Cemento asfáltico	Calor	Se utiliza en la elaboración en caliente de carpetas, mezclas, morteros y estabilizaciones, así como elemento base para la fabricación de emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados.
Emulsión asfáltica	Agua	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas, mezclas, morteros, riegos y estabilizaciones.
Asfalto rebajado	Solventes	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas y para la impregnación de subbases y bases hidráulicas.

B.1. CEMENTOS ASFÁLTICOS

Los cementos asfálticos son los que se obtienen del proceso de destilación del petróleo para eliminar solventes volátiles y parte de sus aceites. Su viscosidad varía con la temperatura y entre sus componentes, las resinas le producen adherencia con los materiales pétreos, siendo excelentes ligantes, pues al ser calentados se licúan, lo que les permite cubrir totalmente las partículas del material pétreo.

Según su viscosidad dinámica a sesenta (60) grados Celsius, los cementos asfálticos se clasifican como se indica en la Tabla 2 de esta Norma, donde se señalan los usos más comunes de cada uno.

Cuando en el mercado no esté disponible el asfalto AC-30, el Residente de la obra podrá solicitar a la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría, la autorización para sustituirlo por AC-20, haciendo los ajustes correspondientes al precio unitario del producto.

B.2. EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las emulsiones asfálticas son materiales asfálticos líquidos estables, constituidos por dos fases no miscibles, en los que la fase continua de la emulsión está formada por agua y un agente emulsificante, y la fase discontinua por pequeños glóbulos de cemento asfáltico. Se denominan emulsiones asfálticas *aniónicas* cuando el agente emulsificante confiere polaridad electronegativa a los glóbulos y emulsiones asfálticas *catiónicas*, cuando les confiere polaridad electropositiva.

NORMAS

N-CMT-4-05-001/06

TABLA 2.- Clasificación de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60°C

Clasificación	Viscosidad a 60°C Pa·s (P ^[1])	Usos más comunes
AC-5	50 ± 10 (500 ± 100)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen para riegos de impregnación, de liga y poreo con arena, así como en estabilizaciones.
AC-10	100 ± 20 (1 000 ± 200)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 1, en la Figura 1.
AC-20	200 ± 40 (2 000 ± 400)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 3 en la Figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 1.
AC-30	300 ± 60 (3 000 ± 600)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 4 en la Figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zonas 3 y 4 en la Figura 1. • En la elaboración de asfaltos rebajados en general, para utilizarse en carpetas de mezcla en frío, así como en riegos de impregnación.

[1] Poises

Las emulsiones asfálticas pueden ser de los siguientes tipos:

- De rompimiento rápido, que generalmente se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos, a excepción de la emulsión ECR-60, que no se utilizará en la elaboración de éstas últimas.
- De rompimiento medio, que normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos en la mezcla es igual que dos (2) por ciento o menor, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobrecarpetas.



FIGURA 1.- Regiones geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60°C. (Ver Tabla 2)

- De rompimiento lento, que comúnmente se utilizan para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.
- Para impregnación, que particularmente se utilizan para impregnaciones de subbases y/o bases hidráulicas.
- Superestables, que principalmente se emplean en estabilizaciones de materiales y en trabajos de recuperación de pavimentos.

Según su contenido de cemento asfáltico en masa, su tipo y polaridad, las emulsiones asfálticas se clasifican como se indica en la Tabla 3 de esta Norma.

B.3. ASFALTOS REBAJADOS

Los asfaltos rebajados, que regularmente se utilizan para la elaboración de carpetas de mezcla en frío, así como en impregnaciones de bases y subbases hidráulicas, son los materiales asfálticos líquidos compuestos por cemento asfáltico y un solvente, clasificados según su velocidad de fraguado como se indica en la Tabla 4 de esta Norma.

NORMAS

N-CMT-4-05 001/06

TABLA 3.- Clasificación de las emulsiones asfálticas

Clasificación	Contenido de cemento asfáltico en masa %	Tipo	Polaridad
EAR-55	55	Rompimiento rápido	Aniónica
EAR-60	60		
EAM-60	60	Rompimiento medio	
EAM-65	65		
EAL-55	55	Rompimiento lento	
EAL-60	60		
EAI-60	60	Para impregnación	
ECR-60	60	Rompimiento rápido	Catiónica
ECR-65	65		
ECR-70	70		
ECM-65	65	Rompimiento medio	
ECL-65	65	Rompimiento lento	
ECI-60	60	Para impregnación	
ECS-60	60	Sobrestabilizada	

TABLA 4.- Clasificación de los asfaltos rebajados

Clasificación	Velocidad de fraguado	Tipo de solvente
FR-3	Rápida	Nafta, gasolina
FM-1	Media	Queroseno

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con los siguientes:

MANUALES

DESIGNACIÓN

Muestreo de Materiales Asfálticos M-MMP-4-05-001

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-001/06

Viscosidad Dinámica de Cementos y Residuos Asfálticos	M-MMP-4-05-002
Viscosidad Cinemática de Cementos Asfálticos	M-MMP-4-05-003
Viscosidad Saybolt-Furoi en Materiales Asfálticos	M-MMP-4-05-004
Penetración en Cementos y Residuos Asfálticos	M-MMP-4-05-006
Punto de Inflamación Cleveland en Cementos Asfálticos	M-MMP-4-05-007
Solubilidad de Cementos y Residuos Asfálticos	M-MMP-4-05-008
Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos	M-MMP-4-05-009
Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos	M-MMP-4-05-010
Ductilidad de Cementos y Residuos Asfálticos	M-MMP-4-05-011
Destilación de Emulsiones Asfálticas	M-MMP-4-05-012
Asentamiento de Emulsiones Asfálticas	M-MMP-4-05-013
Retenido en las Mallas N°20 y N°60 en Emulsiones Asfálticas	M-MMP-4-05-014
Cubrimiento del Agregado en Emulsiones Asfálticas	M-MMP-4-05-015
Miscibilidad con Cemento Pórtland de Emulsiones Asfálticas	M-MMP-4-05-016
Carga Eléctrica de las Partículas de Emulsiones Asfálticas	M-MMP-4-05-017
Demulsibilidad de Emulsiones Asfálticas	M-MMP-4-05-018
Índice de Ruptura de Emulsiones Asfálticas Catiónicas	M-MMP-4-05-019
Punto de Inflamación Tag en Asfaltos Rebajados	M-MMP-4-05-020
Destilación de Asfaltos Rebajados	M-MMP-4-05-021

D. REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS

Los cementos asfálticos cumplirán los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 5 de esta Norma.

E. REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las emulsiones asfálticas cumplirán los requisitos de calidad que se indican a continuación:

NORMAS

N-CMT-4-05-001/06

TABLA 5.- Requisitos de calidad para cemento asfáltico clasificado por viscosidad dinámica a 60°C

Características	Clasificación			
	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
Del cemento asfáltico original:				
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ^{1h})	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	200 ± 40 (2 000 ± 400)	300 ± 60 (3 000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135°C; mm ² /s, mínimo (1 mm ² /s = 1 centistoke)	175	250	300	350
Viscosidad Saybolt-Furol a 135 °C; s, mínimo	80	110	120	150
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	177	219	232	232
Solubilidad; %, mínimo	99	99	99	99
Punto de reblandecimiento; °C	37 - 43	45 - 52	48 - 56	50 - 58
Del residuo de la prueba de la película delgada:				
Pérdida por calentamiento; %, máximo	1	0,5	0,5	0,5
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ^{1h}), máximo	200 (2 000)	400 (4 000)	800 (8 000)	1 200 (12 000)
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min; cm, mínimo	100	75	50	40
Penetración retenida a 25 °C; %, mínimo	46	50	54	58

[1] Poises

E.1. PARA LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS ANIÓNICAS

Las emulsiones asfálticas aniónicas, según su clasificación, han de cumplir con todos los requisitos establecidos en la Tabla 6 de esta Norma.

E.2. PARA LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIÓNICAS

Las emulsiones asfálticas catiónicas, según su clasificación, han de cumplir con todos los requisitos establecidos en la Tabla 7 de esta Norma.

F. REQUISITOS DE CALIDAD PARA ASFALTOS REBAJADOS

Los asfaltos rebajados, según su clasificación, cumplirán los requisitos establecidos en la Tabla 8 de esta Norma.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-001/06

TABLA 6.- Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas aniónicas

Características	Clasificación						
	EAR-55	EAR-60	EAM-60	EAM-65	EAL-55	EAL-60	EAI-60
De la emulsión:							
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	55	60	60	65	55	60	60
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C; s. mínimo	5	—	—	—	20	20	5
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s. mínimo	—	40	50	25	—	—	—
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	5	5
Retenido en malla N° 20 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pasa malla N° 20 y se retiene en malla N° 60 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Cubrimiento del agregado seco; %, mínimo	—	—	90	90	90	90	—
Cubrimiento del agregado húmedo; %, mínimo	—	—	75	75	75	75	—
Miscibilidad con cemento Portland; %, máximo	—	—	—	—	2	2	—
Carga eléctrica de las partículas	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Demulsibilidad; %	60 mín.	50 mín.	30 máx.	30 máx.	—	—	—
Del residuo de la destilación:							
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ^[1])	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	50 ± 10 (500 ± 100)
Penetración a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 ⁻¹ mm	100-200	50 - 90	100-200	50 - 90	100-200	50 - 90	150 - 250
Solubilidad; %, mínimo	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	40	40	40	40	40	40	40

[1] Poises

G. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES ASFÁLTICOS

Con el propósito de evitar la alteración de las propiedades de los materiales asfálticos antes de su utilización en la obra, ha de tenerse cuidado en su transporte y almacenamiento, atendiendo los siguientes aspectos:

NORMAS

N CMT-4 05 001/06

TABLA 7.- Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas catiónicas

Características	Clasificación						
	ECR-60	ECR-65	ECR-70	ECM-65	ECL-65	ECI-60	ECS-60
De la emulsión:							
Contenido de cemento asfáltico en masa: %, mínimo	60	65	68	65	65	60	60
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C; s, mínimo	—	—	—	—	25	5	25
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C; s, mínimo	5	40	50	25	—	—	—
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	5	5	5	5	5	10	5
Retenido en malla N° 20 en la prueba del tamiz; %, máx	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pasa malla N° 20 y se retiene en malla N° 60 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Cubrimiento del agregado seco; %, mínimo				90	90	—	90
Cubrimiento del agregado húmedo; %, mínimo				75	75	—	75
Carga eléctrica de las partículas	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Disolvente en volumen; %, máximo	—	3	3	5	—	15	—
Índice de ruptura; %	< 100	< 100	< 100	80 – 140	> 120	—	> 120
Del residuo de la destilación:							
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P ¹)	50 ± 10 (500 ± 100)						
Penetración ^[2] a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 ⁻¹ mm	110–250	110–250	110–250	100–250	100–250	100–400	100–250
Solubilidad; %, mínimo	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	—
Ductilidad a 25°C; cm, mínimo	40	40	40	40	40	40	—

[1] Poises

[2] En climas que alcancen temperaturas iguales o mayores de 40°C, la penetración en el residuo de la destilación de las emulsiones ECR-65, ECR-70, ECM-65, ECL-65 y ECS-60, en el proyecto se puede considerar de 50 a 90 × 10⁻¹ mm.

G.1. TRANSPORTE DE MATERIALES ASFÁLTICOS

G.1.1. Los materiales asfálticos se transportarán desde el lugar de adquisición hasta el de almacenamiento, utilizando pipas, carros-tanque de ferrocarril o buques-tanque, que cuenten con los equipos que permitan calentar el producto cuando así se requiera. Los tanques serán herméticos, y tendrán tapas

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N CMT-4-05-001/06

adecuadas para evitar fugas y contaminaciones. El transporte se hará observando las Normas Oficiales Mexicanas aplicables, sujetándose en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

TABLA 8.- Requisitos de calidad para asfaltos rebajados

Características	Grado	
	FM-1	FR-3
Del asfalto rebajado:		
Punto de inflamación Tag, °C, mínimo	38	27
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C, s	75 - 150	—
Viscosidad Saybolt-Furol a 60°C, s	—	250 - 500
Contenido de solvente por destilación a 360°C, en volumen, %		
Hasta 225°C	20 máx	25 mín
Hasta 260°C	25 - 65	55 mín
Hasta 315°C	70 - 90	83 mín
Contenido de cemento asfáltico por destilación a 360°C, en volumen, %, mínimo	60	73
Contenido de agua por destilación a 360°C, en volumen, %, máximo	0,2	0,2
Del residuo de la destilación:		
Viscosidad dinámica a 60°C, Pa·s (P ^[1]), máximo	200 ± 40 (2 000 ± 400)	200 ± 40 (2 000 ± 400)
Penetración a 25°C, en 100 g y 5 s, 10 ⁻¹ mm	120 - 300	80 - 120
Ductilidad a 25°C, cm, mínimo	100	100
Solubilidad, %, mínimo	99,5	99,5

[1] Poises

G.1.2. Antes de cargar el material asfáltico, los tanques han de ser limpiados cuidadosamente, eliminando residuos de productos transportados anteriormente, grasas, polvo o cualquier otra sustancia que lo pueda contaminar. Una vez cargado el material asfáltico, las tapas y llaves del tanque se sellarán en forma inviolable. Los sellos se retirarán en el momento de la descarga del material en el almacenamiento. No se aceptará el material en el caso de que los sellos hayan sido violados.

G.2. ALMACENAMIENTO DE MATERIALES ASFÁLTICOS

G.2.1. Los materiales asfálticos se almacenarán en depósitos adecuadamente ubicados, con la capacidad suficiente para recibir cada entrega, que reúnan los requisitos necesarios para evitar la contaminación de los productos que contengan, que estén protegidos contra incendios, fugas y pérdida

NORMAS

N-CMT-4-05-001/06

excesiva de disolventes o emulsivos y que cuenten con los equipos adecuados para calentar el producto cuando así se requiera, así como con los elementos necesarios para su carga, descarga y limpieza.

G.2.2. Antes de utilizar los depósitos, estos han de ser limpiados cuidadosamente, eliminando natas o residuos de otros productos, materiales extraños o materiales asfálticos de tipo diferente al que se va almacenar. Esta operación se repetirá cada vez que sea necesario para evitar la contaminación del producto.

G.2.3. En el caso de emulsiones asfálticas, se utilizarán tanques verticales equipados con dispositivos para la recirculación del material, para evitar lo más posible el asentamiento y la formación de natas.

G.2.4. Tratándose de emulsiones asfálticas, con el propósito de que no se contaminen con la nata que pudiera haberse formado sobre la superficie del material previamente almacenado, el llenado de los depósitos de almacenamiento ha de efectuarse desde el fondo de estos, evitando que el producto caiga sobre la superficie del material ya almacenado, rompiendo dicha nata.

G.2.5. Cada depósito de almacenamiento se identificará, indicando en un lugar visible, su capacidad, el tipo de material asfáltico que contiene y, cuando se trate de recipientes, origen del material y fecha de producción. Asimismo, para cada depósito, se llevará un registro en el que se indiquen las fechas y volúmenes de los suministros recibidos y de las salidas del material.

G.2.6. En el caso de emulsiones de rompimiento rápido, es importante que la temperatura de almacenamiento no sea mayor de ochenta (80) grados Celsius en el punto de contacto.

H. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

Para que un material asfáltico sea aceptado por la Secretaría, antes de su utilización, el Contratista de Obra, o el proveedor cuando se trate de emulsiones asfálticas en obras por administración directa, entregará a la Secretaría un certificado de calidad por cada lote o suministro, que

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-001/06

garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta Norma, según el tipo de material asfáltico establecido en el proyecto autorizado por la Secretaría, expedido por su propio laboratorio o por un laboratorio externo. Además, con objeto de controlar la calidad del material asfáltico durante la ejecución de la obra, el Contratista de Obra realizará las pruebas necesarias, en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma, en el número y con la periodicidad que se establezca en el proyecto autorizado por la Secretaría, que verifiquen que las características indicadas en la Tabla 9 cumplan con los valores establecidos en esta Norma, entregando a la Secretaría los resultados de dichas pruebas.

TABLA 9.- Características de calidad que se revisarán en los materiales asfálticos durante la ejecución de la obra

Cementos asfálticos	Emulsiones asfálticas	Asfaltos rebajados
En el cemento asfáltico original:	En la emulsión:	En el asfalto rebajado:
<ul style="list-style-type: none"> • Viscosidad dinámica a 60°C • Punto de inflamación Cleveland 	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de cemento asfáltico en masa • Viscosidad Saybolt-Furol a 25 y 50°C • Cubrimiento del agregado seco y húmedo • Carga eléctrica de las partículas 	<ul style="list-style-type: none"> • Punto de inflamación Tag • Viscosidad Saybolt-Furol a 25 y 50°C • Contenido de solvente por destilación a 360°C • Contenido de cemento asfáltico por destilación a 360°C
En el residuo de la película delgada:	En el residuo de la destilación:	En el residuo de la destilación:
<ul style="list-style-type: none"> • Viscosidad dinámica a 60°C • Pérdida por calentamiento • Ductilidad a 25°C y 5 cm/min • Penetración a 25°C, 100 g, 5 s 	<ul style="list-style-type: none"> • Viscosidad dinámica a 60°C • Ductilidad a 25°C y 5 cm/min • Penetración a 25°C, 100 g, 5 s 	<ul style="list-style-type: none"> • Viscosidad dinámica a 60°C • Ductilidad a 25°C y 5 cm/min • Penetración a 25°C, 100 g, 5 s

En cualquier momento la Secretaría puede verificar que el material asfáltico suministrado cumpla con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

I. BIBLIOGRAFÍA

Asphalt Institute, *Manual MS-22 Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*, Lexington, KY, EUA.

NORMAS

N-CMT-4-05 001/06

Asphalt Institute, *Manual 22 Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements*, 2ª ed, Lexington, KY, EUA.

Instituto del Asfalto; Departamento del Transporte de los Estados Unidos, Administración Federal de Carreteras; e IPC, *Antecedentes del Diseño y Análisis de Mezclas Asfálticas, Aplicaciones Tecnológicas, Innovaciones a través de Asociaciones*, Asphalt Institute, Lexington, KY, EUA (nov 1994).

PEMEX Refinación, *Especificaciones y Pruebas para Cementos Asfálticos en la Construcción de Pavimentos*, PEMEX, México, DF (1998).

Dirección General de Servicios Técnicos, *Propuesta de Actualización de Normas de Calidad para Emulsiones Asfálticas*, Subsecretaría de Infraestructura, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, DF (mar 1999).

**LIBRO: CMT. CARACTERISTICAS DE
LOS MATERIALES**

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 002. Calidad de Materiales Asfálticos Modificados

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene las características de calidad de los materiales asfálticos modificados que se utilicen en la elaboración de carpetas y mezclas asfálticas.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación. Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo. Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

B.1. POLÍMERO TIPO I

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05 002/06

fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) o Estireno-Butadieno (SB), entre otras. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

B.2. POLÍMERO TIPO II

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno-Látex o Neopreno-Látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

B.3. POLÍMERO TIPO III

Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia al ahuecamiento de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo plástomero, mediante configuraciones como Etil-Vinil-Acetato (EVA) o polietileno de alta o baja densidad (HDPE, LDPE), entre otras. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

B.4. HULE MOLIDO DE NEUMÁTICOS

Es un modificador de asfaltos que mejora la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o por cambios de temperatura. Es fabricado con base en el producto de la molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta, tratamientos superficiales.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS

N-CMT-4-05-002/06

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Materiales Asfálticos	N-CMT-4-05-001
Muestreo de Materiales Asfálticos	M-MMP-4-05-001
Viscosidad Saybolt-Furof en Materiales Asfálticos	M-MMP-4-05-004
Viscosidad Rotacional Brookfield de Cementos Asfálticos	M-MMP-4-05-005
Penetración en Cementos y Residuos Asfálticos	M-MMP-4-05-006
Punto de Inflamación Cleveland en Cementos Asfálticos	M-MMP-4-05-007
Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos	M-MMP-4-05-009
Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos	M-MMP-4-05-010
Ductilidad de Cementos y Residuos Asfálticos	M-MMP-4-05-011
Destilación de Emulsiones Asfálticas	M-MMP-4-05-012
Asentamiento de Emulsiones Asfálticas	M-MMP-4-05-013
Retenido en las Mallas N°20 y N°60 en Emulsiones Asfálticas	M-MMP-4-05-014
Cubrimiento del Agregado en Emulsiones Asfálticas	M-MMP-4-05-015
Miscibilidad con Cemento Portland de Emulsiones Asfálticas	M-MMP-4-05-016
Carga Eléctrica de las Partículas de Emulsiones Asfálticas	M-MMP-4-05-017
Demulsibilidad de Emulsiones Asfálticas	M-MMP-4-05-018
Índice de Ruptura de Emulsiones Asfálticas Catiónicas	M-MMP-4-05-019
Separación en Cemento Asfáltico Modificado	M-MMP-4-05-022
Resiliencia en Cemento Asfáltico Modificado	M-MMP-4-05-023
Recuperación Elástica por Torsión en Cemento Asfáltico Modificado	M-MMP-4-05-024
Módulo Reológico de Corte Dinámico	M-MMP-4-05-025
Recuperación Elástica en Ductilómetro	M-MMP-4-05-026

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-002/06

D. REQUISITOS DE CALIDAD

El empleo de los modificadores está condicionado al análisis de las ventajas que se obtengan de ellos para mejorar el comportamiento mecánico y la duración de los trabajos de pavimentación en cada caso específico y de acuerdo con las condiciones climáticas, de tránsito, la rigidez de la estructura del pavimento, la disponibilidad de los materiales, el periodo de vida útil considerado en el diseño, la estrategia de mantenimiento y el costo de operación de los vehículos, entre otros. Su uso depende de la evaluación económica de su aplicación, en comparación con otras opciones. Corresponde al proyectista la selección del tipo de modificador a emplear y su dosificación, para cumplir con los parámetros de comportamiento deseados.

Los materiales asfálticos modificados, dependiendo del tipo de modificador empleado, cumplirán, en general, con los requisitos de calidad que se indican a continuación; sin embargo, podrán existir variaciones si el proyectista así lo considera en su diseño.

D.1. CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO

Los cementos asfálticos clasificados como AC-5 y AC-20 según su viscosidad dinámica a sesenta (60) grados Celsius, que cumplan con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, una vez modificados cumplirán con los requisitos que se establecen en la Tabla 1 de esta Norma. En el caso del asfalto modificado con hule molido, dependiendo del equipo para calentar los componentes de la mezcla, el hule molido cumplirá con una de las granulometrías que se indican en la Tabla 2 de esta Norma.

D.2. EMULSION ASFÁLTICA MODIFICADA

Las emulsiones elaboradas con asfalto AC-5 modificado con polímero tipo I ó II, cumplirán con las características establecidas en la Tabla 3 de esta Norma.

E. MEZCLADO DE LOS MODIFICADORES CON EL CEMENTO ASFÁLTICO

E.1. El mezclado de los modificadores a que se refiere esta Norma, se efectuará en una planta industrial, utilizando los equipos especiales adecuados para el tipo de modificador que se emplee, a menos que, de acuerdo con las indicaciones del proveedor del modificador, no se requiera de dicho equipo.

NORMAS

N-CMT-4-05-002/06

TABLA 1.- Requisitos de calidad para cementos asfálticos AC-5 y AC-20 modificados

Características	Tipo de cemento asfáltico (Tipo de modificador)				
	AC-5 (Tipo I ó II)	AC-20 (Tipo I)	AC-20 (Tipo II)	AC-20 (Tipo III)	AC-20 (Hule molido)
Del cemento asfáltico modificado:					
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C; s, máximo	500	1000	1000	1000	--
Viscosidad rotacional Brookfield a 135°C; Pa s, máximo	2	4	3	4	--
Viscosidad rotacional Brookfield (tipo Haake) a 177°C; Pa s, máximo	--	--	--	--	7
Penetración:					
• A 25°C, 100 g, 5 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	80	40	40	30	30
• A 4°C, 200 g, 60 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	40	25	25	20	15
Punto de inflamación Cleveland, °C, mínimo	220	230	230	230	230
Punto de reblandecimiento, °C, mínimo	45	55	55	53	57
Separación, diferencia anillo y esfera, °C, máximo	3	3	3	4	5
Recuperación elástica por torsión a 25°C; %, mínimo	25	35	30	15	40
Resistencia, a 25°C; %, mínimo	20	20	20	25	30
Del residuo de la prueba de la película delgada, (3,2 mm; 50 g):					
Pérdida por calentamiento a 163°C; %, máximo	1	1	1	1	1
Penetración a 4°C; 200 g, 60 s; 10 ⁻¹ mm; mínimo	--	--	--	--	10
Penetración retenida a 4°C, 200 g; 80 s; %, mínimo	65	65	65	55	75
Recuperación elástica en ductiómetro a 25°C; %, mínimo	50	60	60	30	55
Incremento en temperatura anillo y esfera; °C, máximo	--	--	--	--	10
Módulo reológico de corte dinámico a 76°C (G'/sen δ), kPa, mínimo	--	2,2	2,2	2,2	2,2
Módulo reológico de corte dinámico a 64°C (G'/sen δ); kPa, mínimo	2,2	--	--	--	--
Angulo fase (δ) [visco-elasticidad], a 76°C; ° (grados), máximo	--	75	70	75	--
Angulo fase (δ) [visco-elasticidad], a 64°C; ° (grados), máximo	75	--	--	--	--

TABLA 2.- Requisitos de granulometría para hule molido

Malla		Tamaño nominal		
Abertura mm	Designación	H 20 % que pasa	H 40 % que pasa	H 80 % que pasa
2	N°10	100	--	--
1,18	N°16	75 - 100	--	--
0,85	N°20	59 - 90	100	--
0,6	N°30	25 - 60	75 - 100	100
0,425	N°40	10 - 40	55 - 90	80 - 100
0,3	N°50	0 - 20	25 - 60	60 - 100
0,15	N°100	0 - 10	0 - 30	4 - 70
0,075	N°200	0 - 5	0 - 10	0 - 20
Contenido mínimo de hule en el asfalto en masa; %		17	15	12

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-002/06

TABLA 3.- Requisitos de calidad para emulsión asfáltica modificada

Características	Valor
De la emulsión:	
Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo	60
Viscosidad Saybolt - Furol a 50°C; s	50-200
Asentamiento en 5 días; diferencia en %, máximo	3
Retenido de peso en malla N°20 en la prueba del tamiz; %, máximo	0,1
Carga eléctrica de las partículas	(+)
Disolvente en volumen; %, máximo	3
Demulsibilidad; %, mínimo	60
Índice de ruptura; %	80-140
Del residuo de la destilación:	
Penetración ^[1] a 25°C, en 100 g y 5 s; 10 ⁻¹ mm	100-200
Ductilidad a 4°C, 5 cm/min; cm, mínimo	30
Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C, 20 cm, 5 min; %, mínimo	40
Recuperación elástica en ductilómetro a 10°C, 20 cm, 5 min; %, mínimo	50

[1] En climas que alcancen temperaturas iguales que 40°C o mayores, la penetración en el residuo de la destilación de las emulsiones asfálticas modificadas con polímero, en el proyecto se puede considerar de 50 a 90 × 10⁻¹ mm.

E.2. En el caso de que el asfalto modificado con polímero presente problemas de estabilidad o de separación, se utilizará un agente estabilizador o antiseparador recomendado por el fabricante del modificador.

F. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MODIFICADORES PARA MATERIALES ASFÁLTICOS

F.1. Los modificadores a que se refiere esta Norma, antes de mezclarse con el cemento asfáltico, serán transportados y almacenados conforme con las instrucciones del proveedor.

F.2. Si la mezcla del modificador con el cemento asfáltico se realiza en una planta industrial, en el transporte y almacenamiento del cemento asfáltico modificado se atenderá lo señalado en la Cláusula G. de la Norma N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos*.

G. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

G.1. Para que el material asfáltico modificado sea aceptado por la Secretaría, antes de su utilización, el Contratista de Obra o el proveedor cuando se trate de obras por administración directa, entregará a la Secretaría un certificado de calidad por cada autotanke o suministro, que garantice el cumplimiento de todos

NORMAS

N-CMT-4-05-002/06

los requisitos establecidos en esta Norma o los fijados en forma especial en el proyecto, expedido por su propio laboratorio o por cualquier otro debidamente aprobado por la Secretaría.

- G.2.** La Secretaría podrá verificar la cantidad y tipo de cemento asfáltico utilizado por el Contratista de Obra, por lo que para tal efecto, éste manifestará por escrito que la Secretaría podrá en cualquier momento solicitar a la empresa que ha realizado la incorporación del modificador al asfalto o a la empresa productora del modificador, la información correspondiente que acredite la cantidad y calidad del asfalto modificado utilizado en la obra.
- G.3.** Con objeto de controlar la calidad del material asfáltico modificado, durante la ejecución de la obra, el Contratista de Obra realizará las pruebas necesarias, en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma, en el número y con la periodicidad que se establezca en el proyecto autorizado por la Secretaría, que verifiquen que las características indicadas en la Tabla 4 cumplan con los valores establecidos en esta Norma o los fijados especialmente para el proyecto, entregando a la Secretaría los resultados de dichas pruebas.

TABLA 4.- Características de calidad que se revisarán en los materiales asfálticos modificados durante la ejecución de la obra

Cementos asfálticos modificados	Emulsiones asfálticas modificadas
En el cemento asfáltico:	En la emulsión:
<ul style="list-style-type: none"> • Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C • Penetración: <ul style="list-style-type: none"> ◆ A 25°C, 100 g, 5 s ◆ A 4°C, 200 g, 60 s • Punto de inflamación Cleveland • Punto de reblandecimiento • Separación, diferencia anillo y esfera • Recuperación elástica por torsión a 25°C 	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de cemento asfáltico en masa • Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C • Asentamiento en 5 días • Retenido de peso en malla N°20 • Carga eléctrica de las partículas • Disolvente en volumen • Demulsibilidad • Índice de ruptura
En el residuo de la película delgada:	En el residuo de la destilación:
<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida por calentamiento a 163°C • Incremento en temperatura anillo y esfera 	<ul style="list-style-type: none"> • Penetración a 25°C, en 100 g y 5 s • Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C

- G.4.** En caso de que el material asfáltico modificado no cumpla con lo señalado en la Fracción anterior, se corroborará la deficiencia de

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4 05-002/06

calidad realizando las pruebas necesarias, en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma, que verifiquen que las características indicadas en la Tabla 5 cumplan con los valores establecidos en esta Norma o los fijados especialmente para el proyecto, entregando a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Será motivo de rechazo, si persiste la discrepancia o no conformidad.

TABLA 5.- Características de calidad que se revisarán en los materiales asfálticos modificados para su aceptación en caso de discrepancias

Cementos asfálticos modificados	Emulsiones asfálticas modificadas
En el cemento asfáltico: <ul style="list-style-type: none">• Viscosidad rotacional Brookfield a 135°C ó tipo Haake a 177°C, según su caso• Resiliencia, a 25°C	En la emulsión:
En el residuo de la película delgada: <ul style="list-style-type: none">• Ductilidad a 4°C y 5 cm/min• Penetración a 4°C, 200 g; 60 s• Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C• Módulo reológico de corte dinámico a 76°C• Angulo fase (δ), a 76°C	En el residuo de la destilación: <ul style="list-style-type: none">• Ductilidad a 4°C, 5 cm/min• Recuperación elástica en ductilómetro a 10°C

G.5. En cualquier momento la Secretaría puede verificar que el material asfáltico suministrado cumpla con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

H. BIBLIOGRAFÍA

Herrera Lozano, J. y Limón Limón, R., *Modificadores de Asfalto*, Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres AC, México, DF (nov 1995)

Comité Unido AASHTO-AGC-ARTBA, *Guía de Especificaciones para Asfalto Modificado con Polímeros*, EUA, (feb 1992)

**LIBRO: CMT. CARACTERÍSTICAS DE
LOS MATERIALES**

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 003. Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene las características de calidad de las mezclas asfálticas que se utilicen en la construcción de pavimentos para carreteras.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Una mezcla asfáltica es el producto obtenido de la incorporación y distribución uniforme de un material asfáltico en un pétreo.

Las mezclas asfálticas, según el procedimiento de mezclado, se clasifican como sigue:

B.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Son las elaboradas en caliente, utilizando cemento asfáltico y materiales pétreos, en una planta mezcladora estacionaria o móvil, provista del equipo necesario para calentar los componentes de la mezcla.

Las mezclas asfálticas en caliente se clasifican a su vez en:

B.1.1. Mezcla asfáltica de granulometría densa

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados, con tamaño nominal entre treinta y siete coma cinco (37,5) milímetros (1 ½ in) y nueve coma cinco (9,5) milímetros

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-003/02

($\frac{3}{8}$ in), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula D. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*. Normalmente se utiliza en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiere una alta resistencia estructural, o en renivelaciones y refuerzo de pavimentos existentes.

B.1.2. Mezcla asfáltica de granulometría abierta

Es la mezcla en caliente, uniforme, homogénea y con un alto porcentaje de vacíos, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría uniforme, con tamaño nominal entre doce coma cinco (12,5) milímetros ($\frac{1}{2}$ in) y seis coma tres (6,3) milímetros ($\frac{1}{4}$ in), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula E. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*. Estas mezclas normalmente se utilizan para formar capas de rodadura, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de satisfacer los requerimientos de calidad de rodamiento del tránsito, al permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal. Las mezclas asfálticas de granulometría abierta no deben colocarse en zonas susceptibles al congelamiento ni donde la precipitación sea menor de seiscientos (600) milímetros por año.

B.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

Son las elaboradas en frío, en una planta mezcladora móvil, utilizando emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados y materiales pétreos.

Las mezclas asfálticas en frío se clasifican a su vez en:

B.2.1. Mezcla asfáltica de granulometría densa

Es la mezcla en frío, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado y materiales pétreos, con

NORMAS

N-CMT-4-05-003/02

tamaño nominal entre treinta y siete coma cinco (37,5) milímetros (1 ½ in) y nueve coma cinco (9,5) milímetros (¾ in), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula D. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*. Normalmente se utiliza en los casos en que la intensidad del tránsito (ΣL) es igual a un (1) millón de ejes equivalentes o menor, en donde no se requiera de una alta resistencia estructural, para la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos y en carpetas para el refuerzo de pavimentos existentes, así como para la reparación de baches.

B.2.2. Mortero asfáltico

Es la mezcla en frío, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado, agua y arena con tamaño máximo de dos coma treinta y seis (2,36) milímetros (N°8), que satisfaga los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula F. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*. Normalmente se coloca sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, como capa de rodadura.

B.3. MEZCLAS ASFÁLTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS

Son las que se construyen mediante la aplicación de uno o dos riegos de un material asfáltico, intercalados con una, dos o tres capas sucesivas de material pétreo triturado de tamaños decrecientes que, según su denominación, satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula G. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*. Las carpetas por el sistema de riegos se clasifican en carpetas de uno, de dos y de tres riegos. Las carpetas de un riego o la última capa de las carpetas de dos o tres riegos, pueden ser premezcladas o no. Normalmente se colocan sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, nueva o existente, como capa de rodadura con el objeto de proporcionar resistencia al derrapamiento y al pulimento.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes:

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-003/02

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Carpetas Asfálticas con Mezcla en Caliente	N-CTR-CAR-1-04-006
Carpetas Asfálticas con Mezcla en Frío	N-CTR-CAR-1-04-007
Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	N-CMT-4-04
Calidad de Materiales Asfálticos	N-CMT-4-05-001
Calidad de Materiales Asfálticos Modificados ...	N-CMT-4-05-002
Muestreo de Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-05-029
Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa	M-MMP-4-05-031
Método Hveem para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa	M-MMP-4-05-032
Método Cántabro para Mezclas Asfálticas de Granulometría Abierta	M-MMP-4-05-033
Método Hubbard Field para Morteros Asfálticos	M-MMP-4-05-034
Contenido de Cemento Asfáltico en Mezclas	M-MMP-4-05-035
Contenido de Agua en Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-05-036
Contenido de Disolventes en Mezclas Asfálticas	M-MMP-4-05-037

D. REQUISITOS DE CALIDAD

Los materiales pétreos y los materiales asfálticos que se utilicen en la elaboración de mezclas asfálticas, cumplirán con lo establecido en las Normas N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos* y N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*.

D.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Las mezclas asfálticas en caliente, diseñadas de acuerdo con los procedimientos descritos en los Manuales M-MMP-4-05-031, *Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa*, M-MMP-4-05-032, *Método Hveem para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa*, M-MMP-4-05-033, *Método Cántabro para Mezclas Asfálticas de Granulometría Abierta* y M-MMP-4-05-034, *Método Hubbard Field para Morteros Asfálticos*, según su tipo, cumplirán con los siguientes requisitos de calidad:

NORMAS

N-CMT-4-05-003/02

D.1.1. Mezcla asfáltica de granulometría densa

Según el método utilizado en el diseño, la mezcla asfáltica cumplirá con los requisitos de calidad señalados a continuación:

D.1.1.1. Mezcla asfáltica de granulometría densa diseñada por el método Marshall

Las mezclas asfálticas diseñadas mediante el procedimiento descrito en el Manual M-MMP-4-05-031, *Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa*, de acuerdo con el tránsito esperado en términos del número de ejes equivalentes de ocho coma dos (8,2) toneladas, acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL), cumplirán con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 1 y con el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) indicado en la Tabla 2 de esta Norma, en función del tamaño nominal del material pétreo utilizado en la mezcla.

TABLA 1:- Requisitos de calidad para mezclas de granulometría densa, diseñadas mediante el método Marshall

Características	Número de ejes equivalentes de diseño ΣL [1]	
	$\Sigma L \leq 10^6$	$10^6 < \Sigma L \leq 10^7$ [2]
Compactación; número de golpes en cada cara de la probeta	50	75
Estabilidad; N (lb _r), mínimo	5 340 (1 200)	8 000 (1 800)
Flujo; mm (10 ⁻² in)	2 - 4 (8 - 16)	2 - 3,5 (8 - 14)
Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC); %	3 - 5	3 - 5
Vacíos ocupados por el asfalto (VFA); %	65 - 78	65 - 75

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes de 8,2 t (ESAL), esperado durante la vida útil del pavimento.

[2] Para tránsitos mayores de 10^7 ejes equivalentes de 8,2 t, se requiere un diseño especial de la mezcla

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4 05-003/02

D.1.1.2. Mezcla asfáltica de granulometría densa diseñada por el método Hveem

Las mezclas asfálticas diseñadas mediante el procedimiento descrito en el Manual M-MMP-4-05-032, *Método Hveem para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa*, de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada en términos del número de ejes equivalentes de ocho coma dos (8,2) toneladas, acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL), cumplirán con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 3 de esta Norma. Además es conveniente que el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica respecto al volumen del espécimen no sea menor de cuatro (4) por ciento.

TABLA 2.- Vacíos en el agregado mineral (VAM) para mezclas de granulometría densa, diseñadas mediante el método Marshall

Tamaño nominal del material pétreo utilizado en la mezcla ^[1]		Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC) de diseño		
		%		
mm	Designación	3	4	5
		Vacíos en el agregado mineral (VAM) %, mínimo		
9,5	3/8"	14	15	16
12,5	1/2"	13	14	15
19	3/4"	12	13	14
25	1"	11	12	13
37,5	1 1/2"	10	11	12

[1] El tamaño nominal corresponde al indicado en la Cláusula D. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, para el tipo y granulometría del material pétreo utilizado en la mezcla

TABLA 3.- Requisitos de calidad para mezclas de granulometría densa, diseñados mediante el método Hveem

Características	Número de ejes equivalentes de diseño ΣL ^[1]	
	$\Sigma L \leq 10^4$	$10^4 < \Sigma L \leq 10^7$ ^[2]
Valor de estabilidad (R), mínimo	35	37
Expansión; mm (in), máximo	0,762 (0,03)	

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes de 8,2 t (ESAL), esperado durante la vida útil del pavimento.

[2] Para tránsitos mayores de 10^7 ejes equivalentes de 8,2 t, se requiere un diseño especial de la mezcla

D.1.1.3. Material fino (filler)

Cuando se requiera un material fino (*filler*) para lograr la granulometría del material pétreo establecida en la Cláusula D. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, se puede utilizar cemento Portland o cal, lo que también acelerará la estabilidad de la mezcla y mejorará la afinidad entre el material asfáltico y los materiales pétreos; el contenido de filler no será mayor que el porcentaje máximo de material que pasa la malla N°200, indicado en la Cláusula mencionada.

D.1.2. Mezcla asfáltica de granulometría abierta

D.1.2.1. La mezcla asfáltica de granulometría abierta diseñada mediante el procedimiento descrito en el Manual M-MMP-4-05-033, *Método Cántabro para Mezclas Asfálticas de Granulometría Abierta*, tendrá como mínimo el contenido de asfalto que corresponda a un desgaste en las probetas igual a treinta (30) por ciento o menor y como máximo el contenido de asfalto que corresponda a un porcentaje de vacíos en dichas probetas igual a veinte (20) por ciento o mayor.

D.1.2.2. Cuando se requiera un material fino (*filler*) para lograr la granulometría del material pétreo establecida en la Cláusula E. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, se puede utilizar cemento Portland o cal, lo que también acelerará la estabilidad de la mezcla y mejorará la afinidad entre el material asfáltico y los materiales pétreos; el contenido de filler no será mayor que el porcentaje máximo de material que pasa la malla N°200, indicado en la Cláusula mencionada.

D.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

Las mezclas asfálticas en frío, diseñadas de acuerdo con los procedimientos descritos en los Manuales M-MMP-4-05-031, *Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa*, M-MMP-4-05-032, *Método Hveem para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa* o M-MMP-4-05-034, *Método Hubbard Field*

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-003/02

para *Morteros Asfálticos*, según su tipo, cumplirán con los siguientes requisitos de calidad:

D.2.1. Mezcla asfáltica de granulometría densa

En la fabricación de las mezclas asfálticas de granulometría densa en frío, que se empleen en carpetas o reparación de baches se tomará en cuenta lo siguiente:

D.2.1.1. La emulsión asfáltica que se utilice en las mezclas para carpetas asfálticas de granulometría densa en frío será de rompimiento medio o lento.

D.2.1.2. El asfalto rebajado que se utilice en las mezclas para carpetas asfálticas de granulometría densa en frío será de fraguado rápido.

D.2.1.3. Las mezclas para carpetas asfálticas de granulometría densa en frío cumplirán con los requisitos de calidad señalados en las Tablas 1 y 2, ó 3 de esta Norma, según el método utilizado en su diseño, para una intensidad del tránsito (ΣL) igual a un (1) millón de ejes equivalentes.

D.2.1.4. En caso que así lo indique el proyecto, o previa aprobación de la Secretaría, cuando se requiera un material fino (*filler*) para lograr la granulometría del material pétreo establecida en la Cláusula D de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, se puede utilizar cemento Portland o cal, lo que también acelerará la estabilidad de la mezcla y mejorará la afinidad entre el material asfáltico y los materiales pétreos; el contenido de filler no será mayor que el porcentaje máximo de material que pasa la malla N°200, indicado en la Cláusula mencionada.

D.2.2. Mortero asfáltico

En la fabricación del mortero asfáltico se tomará en cuenta lo siguiente:

NORMAS

N-CMT-4-05-003/02

- D.2.2.1.** La emulsión asfáltica que se utilice en la fabricación del mortero será de rompimiento lento.
- D.2.2.2.** El asfalto rebajado que se utilice en la fabricación del mortero será de fraguado rápido.
- D.2.2.3.** El agua que se utilice para dar la consistencia necesaria al mortero, estará libre de materias extrañas y de sales solubles en cantidades que, a juicio de la Secretaría, resulten perjudiciales.
- D.2.2.4.** El proporcionamiento del mortero asfáltico cumplirá con lo establecido en la Tabla 4 de esta Norma.

TABLA 4.- Requisitos de proporcionamiento de morteros asfálticos

Componentes	Contenido en la mezcla % [1]
Emulsión asfáltica de rompimiento lento	18 - 25
Agua para dar la consistencia necesaria a la mezcla con emulsión asfáltica	10 - 15
Asfalto rebajado de fraguado rápido	14 - 22

[1] Por ciento respecto a la masa seca del material pétreo

D.2.2.5. Las características del mortero asfáltico serán tales que, una vez tendido, se estabilice en un periodo comprendido entre una (1) y cinco (5) horas.

D.2.2.6. En caso que así lo indique el proyecto o previa aprobación de la Secretaría, cuando se requiera un material fino (*filler*) para lograr la granulometría del material pétreo establecida en la Cláusula F. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, se puede utilizar cemento Portland o cal, lo que también acelerará la estabilidad de la mezcla y mejorará la afinidad entre el material asfáltico y los materiales pétreos; el contenido de filler no será mayor que el porcentaje máximo de material que pasa la malla N°200, indicado en la Cláusula mencionada. En el caso que se utilicen emulsiones, sólo se podrá añadir filler si así lo indica el proyecto o previa aprobación de la Secretaría.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-003/02

D.3. MEZCLAS ASFÁLTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS

En la construcción de carpetas asfálticas por el sistema de riegos se tomará en cuenta lo siguiente:

- D.3.1.** La emulsión asfáltica que se utilice en la construcción de carpetas asfálticas por el sistema de riegos será de rompimiento rápido; sin embargo, nunca se utilizará la emulsión ECR-60.
- D.3.2.** En cada caso, las cantidades de los distintos tipos de materiales pétreos que se empleen, así como las del material asfáltico, serán las establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría. En términos generales las cantidades de materiales que se utilicen estarán comprendidas dentro de los límites indicados en la Tabla 5 de esta Norma.

TABLA 5.- Cantidades de materiales pétreos y asfálticos en mezclas asfálticas por el sistema de riegos

Materiales ^[1] L/m ²	Tipo de carpeta							
	Tres riegos			Dos riegos			Un riego	
Cemento asfáltico	0							
Material pétreo tipo 1	20 - 25							
Cemento asfáltico	0,7 - 0,8			0,7 - 0,8			---	
Material pétreo tipo 2	8 - 12			8 - 12			---	
Cemento asfáltico	0,7 - 0,8	---	---	0,7 - 0,8	---	---	0,7 - 0,8	---
Material pétreo tipo 3-A	8 - 10	---	---	8 - 10	---	---	8 - 10	---
Cemento asfáltico	---	0,7 - 0,8	---	---	0,7 - 0,8	---	---	---
Material pétreo tipo 3-B	---	6 - 8	---	---	6 - 8	---	---	---
Cemento asfáltico	---	---	0,7 - 0,8	---	---	0,7 - 0,8	---	0,7 - 0,8
Material pétreo tipo 3-E	---	---	9 - 11	---	---	9 - 11	---	9 - 11

[1] El cemento asfáltico considerado en esta Tabla se refiere al que contiene la emulsión o el asfalto rebajado que se utilice. Para calcular la cantidad de emulsión o de asfalto rebajado por aplicar, debe dividirse el valor anotado entre el contenido de cemento que tenga la emulsión o el asfalto rebajado, ambos expresados en litros.

E. CONDICIONES PARA LA ELABORACIÓN Y USO ADECUADO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

- E.1.** Las mezclas asfálticas en caliente se elaborarán a las temperaturas más bajas posibles que permitan obtener una mezcla y cubrimiento del material pétreo uniformes, pero lo suficientemente altas para disponer del tiempo requerido para su transporte, tendido y compactación. En general, las temperaturas de mezclado, dependiendo del tipo de cemento asfáltico utilizado, pueden ser las indicadas en la Tabla 6 de esta Norma. Cuando se trate de cementos asfálticos modificados, las temperaturas de

NORMAS

N-CMT-4-05-003/02

mezclado deben consultarse con el fabricante del modificador que se utilice.

TABLA 6.- Temperaturas de mezclado para mezclas en caliente

Clasificación del cemento asfáltico	Temperatura de mezclado °C
AC- 5	120 - 145
AC-10	120 - 155
AC-20	130 - 160
AC-30	130 - 165

- E.2.** La temperatura de las emulsiones asfálticas al momento de su empleo en las mezclas asfálticas en frío o de su aplicación para las carpetas asfálticas por el sistema de riegos, será de cinco (5) a cuarenta (40) grados Celsius; en el caso de asfaltos rebajados, será de sesenta (60) a ochenta (80) grados Celsius.
- E.3.** No se aplicarán los materiales asfálticos cuando la temperatura ambiente sea menor de cinco (5) grados Celsius, cuando haya amenaza de lluvia o cuando la velocidad del viento impida que la aplicación con petrolizadora sea uniforme.
- E.4.** Los contenidos de cemento asfáltico, de agua y de disolventes en las mezclas asfálticas, determinados de acuerdo con los procedimientos descritos en los Manuales M-MMP-4-05-035, *Contenido de Cemento Asfáltico en Mezclas*, M-MMP-4-05-036, *Contenido de Agua en Mezclas Asfálticas* y M-MMP-4-05-037, *Contenido de Disolventes en Mezclas Asfálticas*, respectivamente, quedarán dentro de los límites fijados en la Tabla 7 de esta Norma.
- E.5.** Las temperaturas mínimas convenientes para el tendido y compactación de la mezcla asfáltica, serán determinadas por el responsable de esas actividades, mediante la curva *Viscosidad-Temperatura* del material asfáltico que se utilice.
- E.6.** Los espesores compactos de las capas que se construyan con mezclas asfálticas en caliente, no serán menores que uno coma cinco (1,5) veces el tamaño nominal del material pétreo utilizado. El espesor máximo de la capa será aquel que el equipo sea capaz compactar, de tal forma que la diferencia entre el grado de compactación en los tres (3) centímetros superiores y los tres (3)

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-003/02

centímetros inferiores, no difiera en más del uno (1) por ciento; si esto sucede, la carpeta se construirá en dos o más capas.

TABLA 7.- Contenidos de cemento asfáltico, agua y disolventes en mezclas asfálticas

Material asfáltico empleado en la elaboración de la mezcla	Tolerancia en el contenido de cemento asfáltico (CA) ^[1] %	Contenido de agua libre permitido ^[2] %	Relación de disolventes a cemento asfáltico en masa (valor K)
Cemento asfáltico	CA ± 0,05	1	0
Emulsión asfáltica sin disolventes	CA ± 0,1	—	0
Emulsión asfáltica con disolventes	CA ± 0,1	—	0,05 a 0,08
Asfaltos rebajados	CA ± 0,1	1	0,05 a 0,08

[1] CA corresponde al contenido de cemento asfáltico determinado en el diseño de la mezcla, en por ciento respecto a la masa del material pétreo.

[2] Respecto a la masa de la mezcla asfáltica.

E.7. Las capas construidas con mezcla asfáltica, serán compactadas como mínimo al noventa y cinco (95) por ciento de su masa volumétrica máxima, determinada en cada caso de acuerdo con los métodos de prueba que fije la Secretaría.

F. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Con el propósito de evitar la alteración de las características de las mezclas asfálticas en caliente antes de su utilización en la obra, se tendrá cuidado en su transporte y almacenamiento, atendiendo los siguientes aspectos:

F.1. La mezcla asfáltica en caliente puede ser almacenada por corto tiempo en tolvas metálicas sin orificios, con superficie interior lisa y limpia, pero teniendo en cuenta que la temperatura de la mezcla se reducirá rápidamente. No se permitirá el almacenamiento en pilas o montones, aun cuando estos se cubran con lonas.

F.1.1. Si se utilizan silos térmicamente aislados, la mezcla puede ser almacenada hasta por veinticuatro (24) horas sin pérdidas de temperatura y calidad considerables.

NORMAS

N CMT-4-05-003/02

- F.1.2.** De requerirse largos periodos de almacenamiento, se utilizarán silos que incluyan sistemas de calentamiento que permitan mantener la temperatura de la mezcla, pero cuidando que no se presente sangrado u oxidación de la mezcla.
- F.2.** La mezcla asfáltica en caliente se transportará en vehículos con caja metálica con superficie interior lisa, sin orificios y que esté siempre limpia y libre de residuos de mezcla asfáltica, para evitar que ésta se adhiera a la caja.
- F.3.** Antes de cargar el vehículo de transporte, se limpiará su caja y se cubrirá la superficie interior de la misma con un lubricante para evitar que se le adhiera la mezcla, utilizando para ello una solución de agua y cal, agua jabonosa o algún producto comercial apropiado. En ningún caso se deben usar productos derivados del petróleo como el diesel, debido a problemas ambientales y posibles daños a la mezcla. Una vez hecho lo anterior, se levantará la caja para drenar el exceso de lubricante.
- F.4.** El vehículo de transporte se llenará con varias descargas sucesivas de la mezcla para minimizar la segregación de los materiales pétreos, acomodándolas desde los extremos de la caja hacia su centro.
- F.5.** Una vez cargado el vehículo de transporte, se cubrirá la mezcla asfáltica con una lona que la preserve del polvo, materias extrañas y de la pérdida de calor durante el trayecto.
- F.6.** El tiempo de transporte está en función de la pérdida de temperatura de la mezcla, la que será tendida y compactada a las temperaturas mínimas determinadas como se indica en la Fracción E.5. de esta Norma; sin embargo, en el caso de mezclas asfálticas de granulometría abierta, el tiempo de transporte será menor de uno coma cinco (1,5) horas, para evitar el sangrado del cemento asfáltico.
- F.7.** La temperatura de fabricación de la mezcla no deberá incrementarse para que al final de su transporte tenga la temperatura adecuada para el tendido y compactación.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N CMT-4-05-003/02

F.8. En el caso de mezclas asfálticas de granulometría abierta, se considerará además lo siguiente:

F.8.1. No serán transportadas por caminos sin pavimentar.

F.8.2. Se manejarán de tal forma que el contenido de cemento asfáltico en la parte superior e inferior de la mezcla en el camión o almacenamiento, esté dentro de las tolerancias establecidas.

G. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

La aceptación de mezclas asfálticas por parte de la Secretaría, se hará considerando lo siguiente:

G.1. El Contratista de Obra será el responsable de demostrar que la mezcla asfáltica cumple con las características y los requisitos de calidad señalados en esta Norma para su aprobación por parte del Residente, según el tipo de mezcla establecida en el proyecto, en muestras obtenidas y preparadas como se establece en el Manual M-MMP-4-05-029, *Muestreo de Mezclas Asfálticas*, mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. El Contratista de Obra entregará a la Secretaría un certificado de calidad que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta Norma, expedido por su propio laboratorio o por un laboratorio externo aprobado por la Secretaría.

G.2. Durante el proceso de producción, con objeto de controlar la calidad de la mezcla en la ejecución de la obra, el Contratista de Obra, por cada doscientos (200) metros cúbicos o fracción de la mezcla de un mismo tipo, producido en la planta, realizará las pruebas necesarias que aseguren que cumple con el contenido de asfalto establecido en esta Norma y entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas y preparadas como se establece en el Manual M-MMP-4-05-029, *Muestreo de Mezclas Asfálticas* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de lo mencionado en esta Fracción.

NORMAS

N-CMT-4-05-003/02

- G.3.** Además de lo señalado en la Fracción anterior, el Contratista de Obra, por cada dos mil (2 500) metros cúbicos de producción de la planta, realizará las pruebas necesarias que aseguren que la mezcla asfáltica cumple con todos los requisitos establecidos en esta Norma, según el tipo de mezcla de que se trate y entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas. Las pruebas se realizarán en muestras obtenidas y preparadas como se establece en el Manual M-MMP-4-05-029, *Muestreo de Mezclas Asfálticas* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de cualquiera de los requisitos establecidos.
- G.4.** En el caso de mezcla de granulometría densa, una vez tendida y compactada, el Contratista de Obra realizará las pruebas necesarias que aseguren la estabilidad establecida en esta Norma, en el proyecto o lo señalado por la Secretaría, de acuerdo con lo indicado en el inciso H.1.3. de las Normas N-CTR-CAR-1-04-006, *Carpetas Asfálticas con Mezcla en Caliente* o N-CTR-CAR-1-04-007, *Carpetas Asfálticas con Mezcla en Frío*, según corresponda, mediante el procedimiento contenido en los Manuales M-MMP-4-05-031, *Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa* o M-MMP-4-05-032, *Método Hveem para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa*, según su caso. El Contratista de Obra entregará a la Secretaría los resultados de dichas pruebas.
- G.5.** En cualquier momento, la Secretaría puede verificar que la mezcla asfáltica suministrada cumpla con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, según el tipo de mezcla de que se trate, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

H. BIBLIOGRAFÍA

Asphalt Institute, *Manual MS-1 Thickness Design – Full Depth Pavement Structures for Highways and Streets*, Lexington, KY, EUA (ago 1993).

Asphalt Institute, *Manual MS-22 Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*, Lexington, KY, EUA.

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-003/02

Asphalt Institute, *Manual 22 Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements*, 2ª ed, Lexington, KY, EUA.

AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structures*, Washington, DC, EUA (1993).

Instituto del Asfalto; Departamento del Transporte de los Estados Unidos, Administración Federal de Carreteras; e IPC, *Antecedentes del Diseño y Análisis de Mezclas Asfálticas, Aplicaciones Tecnológicas, Innovaciones a través de Asociaciones*, Asphalt Institute, Lexington, KY, EUA (nov 1994).

Roberts, F et al, *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*, NAPA Education Foundation, Lanham, ML, EUA, (may 1991).



LIBRO: CTR. CONSTRUCCIÓN

TEMA: CAR. Carreteras

PARTE: 1. CONCEPTOS DE OBRA

TÍTULO: 04. Pavimentos

CAPÍTULO: 006. Carpetas Asfálticas con Mezcla en Caliente

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los aspectos por considerar en la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente, para pavimentos de carreteras de nueva construcción.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos y cemento asfáltico, modificado o no, utilizando calor como vehículo de incorporación. Según la granulometría del material pétreo que se utilice, pueden ser de granulometría densa, semiabierta o abierta.

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente se construyen para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Cuando son de un espesor igual a cuatro (4) centímetros o mayor, las carpetas de granulometría densa tienen además la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento. Las carpetas de granulometría semiabierta o abierta, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de permitir que el agua proveniente de la lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-006/06

minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal.

C. REFERENCIAS

Es referencia de esta Norma, la norma E.670 *Standard Test for Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter*, publicada por la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Además, esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras	N-LEG-3
Riegos de Impregnación	N-CTR-CAR-1-04-004
Riegos de Liga	N-CTR-CAR-1-04-005
Carpetas por el Sistema de Riegos	N-CTR-CAR-1-04-008
Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	N-CMT-4-04
Calidad de Materiales Asfálticos	N-CMT-4-05-001
Calidad de Materiales Asfálticos Modificados	N-CMT-4-05-002
Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras	N-CMT-4-05-003
Criterios Estadísticos de Muestreo	M-CAL-1-02
Índice de Perfil	M-MMP-4-07-002

D. MATERIALES

D.1. Los materiales que se utilicen en la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente, cumplirán con lo establecido en las Normas N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados* y N-CMT-4-05-003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras*, salvo que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría. Los materiales pétreos procederán de los bancos indicados en el proyecto o aprobados por la Secretaría.

D.2. Si dados los requerimientos de la obra, es necesario modificar las características de los materiales pétreos, del material asfáltico o de la interacción entre ambos utilizando aditivos, éstos estarán

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-006/06

establecidos en el proyecto o serán aprobados por la Secretaría. Si el Contratista de Obra propone la utilización de aditivos, lo hará mediante un estudio técnico que los justifique, sometiéndolo a la consideración de la Secretaría para su análisis y aprobación. Dicho estudio ha de contener como mínimo, las especificaciones y los resultados de las pruebas de calidad, así como los procedimientos para el manejo, uso y aplicación de los aditivos.

D.3. No se aceptará el suministro y utilización de materiales que no cumplan con lo indicado en la Fracción D.1. de esta Norma, ni aun en el supuesto de que serán mejorados posteriormente en el lugar de su utilización por el Contratista de Obra.

D.4. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas como se indica en la Fracción D.1. de esta Norma, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra las corrija o los reemplace por otros adecuados, por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E. EQUIPO

El equipo que se utilice para la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, conforme al programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del Contratista de Obra su selección. Dicho equipo será mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y será operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra corrija las deficiencias, lo reemplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E.1. PLANTA DE MEZCLADO

Contará como mínimo con:

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-006/06

- E.1.1.** Secador con inclinación ajustable colocado antes de las cribas clasificadoras y con capacidad suficiente para secar una cantidad de material pétreo igual a la capacidad de producción de la planta o mayor.
- E.1.2.** Un pirógrafo a la salida del secador para registrar automáticamente la temperatura del material pétreo.
- E.1.3.** Cribas para clasificar el material pétreo por lo menos en tres (3) tamaños, con capacidad suficiente para mantener siempre en las tolvas material pétreo disponible para la mezcla.
- E.1.4.** Tolvas para almacenar el material pétreo, protegidas de la lluvia y el polvo, con capacidad suficiente para asegurar la operación continua de la planta por lo menos durante quince (15) minutos sin ser alimentadas, y divididas en compartimentos para almacenar los materiales pétreos por tamaños.
- E.1.5.** Dispositivos para dosificar los materiales pétreos por masa, y sólo en casos excepcionales, cuando así lo apruebe la Secretaría, por volumen y que permitan un fácil ajuste de la dosificación de la mezcla en cualquier momento, para poder obtener la granulometría que indique el proyecto.
- E.1.6.** Equipo para calentar el cemento asfáltico en forma controlada, que garantice que éste no se contamine y que esté provisto de un termómetro con rango de veinte (20) a doscientos diez (210) grados Celsius.
- E.1.7.** Dispositivos para dosificar el cemento asfáltico, con una aproximación de más menos dos (± 2) por ciento de la cantidad requerida según el proporcionamiento de la mezcla.
- E.1.8.** Mezcladora equipada con un dispositivo para el control del tiempo de mezclado.
- E.1.9.** Recolector de polvo.
- E.1.10.** Dispositivo para agregar finos.

E.2. PAVIMENTADORAS

Autopropulsadas, capaces de esparcir y precompactar la capa de carpeta que se tienda, con el ancho, sección y espesor establecidos en el proyecto, incluyendo los acotamientos y zonas

NORMAS

N-CTR-CAR 1-04 006/06

similares. Estarán equipadas con los dispositivos necesarios para un adecuado tendido de la carpeta asfáltica, como son: un enrasador o aditamento similar, que pueda ajustarse automáticamente en el sentido transversal, ser calentado en caso necesario y proporcionar una textura lisa y uniforme, sin protuberancias o canalizaciones; una tolva receptora de la mezcla asfáltica con capacidad para asegurar un tendido homogéneo, equipada con un sistema de distribución mediante el cual se reparta la mezcla uniformemente frente al enrasador; y sensores de control automático de niveles.

Los dispositivos externos que se utilicen como referencia de nivel para los sensores de niveles, estarán colocados en zonas limpias de piedras, basura o cualquier otra obstrucción que afecte las lecturas. Si durante la ejecución de los trabajos, los controles automáticos operan deficientemente, la Secretaría, a su juicio, podrá permitir al Contratista de Obra terminar el tendido del día, mediante el uso del control manual de la pavimentadora; sin embargo, el tendido se podrá reiniciar sólo cuando los controles automáticos funcionen adecuadamente.

Es recomendable contar además, con un equipo especial para verter la mezcla asfáltica a la pavimentadora, evitando que el camión vacíe directamente a las tolvas de la misma, mejorando así la uniformidad superficial de la carpeta.

E.3. COMPACTADORES

E.3.1. Compactadores de rodillos metálicos

Autopropulsados, reversibles y provistos de petos limpiadores para evitar que el material se adhiera a los rodillos. Pueden ser de tres (3) rodillos metálicos en dos (2) ejes, o de dos (2) o tres (3) ejes con rodillos en tándem, con diámetro mínimo de un (1) metro (40 in), en todos los casos.

E.3.2. Compactadores neumáticos

Remolcados o autopropulsados. Tendrán nueve (9) ruedas como mínimo, de igual tamaño, montadas sobre dos ejes unidos a un chasis rígido, equipado con una plataforma o cuerpo que pueda ser lastrado, de forma que la masa total del compactador se distribuya uniformemente en ellas, dispuestas de manera que las llantas del eje trasero cubran, en una pasada, el espacio completo entre las llantas

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-006/06

adyacentes en el eje delantero. Las llantas serán lisas, con tamaño mínimo de 7.50-15 de cuatro (4) capas e infladas uniformemente a la presión recomendada por el fabricante, con una tolerancia máxima de treinta y cuatro coma cinco (34,5) kilopascales (5 lb/in²).

E.4. BARREDORAS MECÁNICAS

Autopropulsadas o remolcadas. Tendrán una escoba rotatoria con el tipo de cerdas adecuadas según el material por remover y la superficie por barrer.

F. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

El transporte y almacenamiento de todos los materiales son responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra y los realizará de forma tal que no sufran alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en las Normas N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados* y N-CMT-4-05-003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras*. Se sujetarán, en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

- F.1. El transporte de la mezcla se hará siempre sobre superficies pavimentadas.
- F.2. La distancia del transporte será de sesenta (60) kilómetros como máximo, la que se reducirá un diez (10) por ciento por cada grado de pendiente ascendente, medida como el desnivel entre la planta de mezclado y el punto de tiro, dividido entre la longitud de transporte.

G. EJECUCIÓN

G.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Para la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente se considerará lo señalado en la Cláusula D. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*.

G.2. PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES

- G.2.1. Los materiales pétreos, asfálticos y aditivos que se empleen en la elaboración de las carpetas asfálticas con mezcla en caliente, se mezclarán con el proporcionamiento necesario

NORMAS

N-CTR CAR-1-04-006/06

para producir una mezcla asfáltica homogénea, con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

G.2.2. El proporcionamiento se determinará mediante un diseño de mezclas asfálticas en caliente, para obtener las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría. Este diseño será responsabilidad del Contratista de Obra.

G.2.3. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, con las dosificaciones de los distintos tipos de materiales pétreos, asfálticos y aditivos utilizados en la elaboración de la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, no se obtiene una mezcla con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra las corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado, por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

G.3. CONDICIONES CLIMATICAS

Los trabajos serán suspendidos en el momento en que se presenten situaciones climáticas adversas y no se reanudarán mientras éstas no sean las adecuadas, considerando que no se construirán carpetas asfálticas con mezcla en caliente:

G.3.1. Sobre superficies con agua libre o encharcada.

G.3.2. Cuando exista amenaza de lluvia o esté lloviendo.

G.3.3. Cuando la temperatura de la superficie sobre la cual serán construidas esté por debajo de los quince (15) grados Celsius.

G.3.4. Cuando la temperatura ambiente esté por debajo de los quince (15) grados Celsius y su tendencia sea a la baja. Sin embargo, las carpetas de granulometría densa pueden ser construidas cuando la temperatura ambiente esté por arriba de los diez (10) grados Celsius y su tendencia sea al alza. La temperatura ambiente será tomada a la sombra lejos de cualquier fuente de calor artificial.

G.4. TRABAJOS PREVIOS

- G.4.1.** Inmediatamente antes de iniciar la construcción de la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, la superficie sobre la que se colocará estará debidamente terminada dentro de las líneas y niveles, exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos de material asfáltico, sin irregularidades y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran existido. No se permitirá la construcción sobre superficies que no hayan sido previamente aceptadas por la Secretaría.
- G.4.2.** Si así lo indica el proyecto o lo aprueba la Secretaría, cuando la carpeta se construya sobre una base, ésta se impregnará de acuerdo con lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1-04-004, *Riegos de Impregnación*. Es responsabilidad del Contratista de Obra establecer el lapso entre la impregnación y el inicio de la construcción de la carpeta.
- G.4.3.** Si así lo indica el proyecto o lo aprueba la Secretaría, inmediatamente antes de iniciar el tendido de la carpeta, se aplicará un riego de liga en toda la superficie, de acuerdo con lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1-04-005, *Riegos de Liga*.
- G.4.4.** Los acarreos de la mezcla hasta el sitio de su utilización, se harán de tal forma que el tránsito sobre la superficie donde se construirá la carpeta, se distribuya sobre todo el ancho de la misma, evitando la concentración en ciertas áreas y, por consecuencia, su deterioro. No se permitirá que los camiones que transportan la mezcla asfáltica, hagan maniobras que puedan distorsionar, disgregar u ondular las orillas de una capa recién tendida. En el caso de que por algún motivo esta situación llegue a suceder, el Contratista de Obra reparará inmediatamente los daños causados, por su cuenta y costo.

G.5. ELABORACIÓN DE LA MEZCLA

- G.5.1.** El procedimiento que se utilice para la elaboración de la mezcla es responsabilidad del Contratista de Obra, quien tendrá los cuidados necesarios para el manejo de los materiales a lo largo de todo el proceso, para que la mezcla

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04 006/06

cumpla con los requerimientos de calidad establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría y atenderá lo indicado en la Norma N-CMT-4-05-003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras*.

G.5.2. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, la calidad de la mezcla asfáltica difiere de la establecida en el proyecto o aprobada por la Secretaría, se suspenderá inmediatamente la producción en tanto que el Contratista de Obra la corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

G.5.3. Durante el proceso de producción no se cambiará de un tipo de mezcla a otro, hasta que la planta haya sido vaciada completamente y los depósitos de alimentación del material pétreo sean cargados con el nuevo material.

G.6. TRAMO DE PRUEBA

Sobre la superficie donde se construirá la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, el Contratista de Obra ejecutará previamente un tramo de prueba con una longitud de cuatrocientos (400) metros, con la finalidad de evaluar el procedimiento y los equipos que se utilizarán, considerando que:

G.6.1. La construcción del tramo de prueba se hará cumpliendo con todo lo establecido en esta Norma.

G.6.2. Una vez compactada la carpeta del tramo de prueba, se verificará que cumpla con lo establecido en la Cláusula H. de esta Norma. En caso negativo, el Contratista de Obra construirá el número de tramos de prueba necesarios hasta que cumpla con lo indicado en dicha Cláusula.

G.6.3. Si el tramo de prueba construido cumple con lo indicado en el Inciso anterior, podrá considerarse como parte de la obra y será objeto de medición y pago, de lo contrario no se medirá ni pagará y la Secretaría, a su juicio, determinará si es necesario o no que el Contratista de Obra retire el tramo de prueba por su cuenta y costo.

G.7. TENDIDO DE LA MEZCLA

- G.7.1.** Después de elaborada la mezcla asfáltica, se extenderá y se conformará con una pavimentadora autopropulsada, de tal manera que se obtenga una capa de material sin compactar de espesor uniforme. Sin embargo, en áreas irregulares, la mezcla asfáltica puede tenderse y terminarse a mano.
- G.7.2.** Si la mezcla está quemada, no se permitirá su tendido.
- G.7.3.** El Contratista de Obra determinará, mediante la curva *Viscosidad-Temperatura* del material asfáltico utilizado, las temperaturas mínimas convenientes para el tendido y compactación de la mezcla.
- G.7.4.** El tendido se hará en forma continua, utilizando un procedimiento que minimice las paradas y arranques de la pavimentadora.
- G.7.5.** En el caso de carpetas de granulometría densa, cuando el tendido se haga en dos (2) o más franjas, con un intervalo de más de un día entre franjas, éstas se ligarán con cemento asfáltico o con emulsión de rompimiento rápido. Esto se puede evitar si se elimina la junta longitudinal utilizando pavimentadoras en batería.
- G.7.6.** Cuando se trate de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, se pueden evitar las juntas longitudinales utilizando pavimentadoras en batería. Cuando esto no sea posible, no se utilizarán productos asfálticos para ligar las juntas de dos franjas sucesivas o en la continuación de una franja con otra, debido a la obstrucción que pueden producir al drenaje dentro de la carpeta. Es importante que, por ningún motivo, se obstruya el drenaje interior en cualquier tramo.
- G.7.7.** En el caso de carpetas de granulometría densa, la cara expuesta de las juntas transversales se recortará aproximadamente a cuarenta y cinco (45) grados antes de iniciar el siguiente tendido, ligando las juntas con cemento asfáltico o con emulsión de rompimiento rápido. Si se trata de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, se considerará lo indicado en el Inciso anterior.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-006/06

- G.7.8.** En cualquier caso, se tendrá especial cuidado para que el enrasador traslape las juntas de tres (3) a cinco (5) centímetros y que el control del espesor sea ajustado de tal manera que el material quede ligeramente por arriba de la capa previamente tendida, para que al ser compactado, el pavimento quede con los niveles y dentro de las tolerancias establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría.
- G.7.9.** En el caso de carpetas de granulometría densa, de ser necesario, la mezcla se extenderá en capas sucesivas, con un espesor no mayor que aquel que el equipo sea capaz de compactar como se indica en la Fracción G.8. de esta Norma, hasta que se obtengan la sección y el espesor establecidos en el proyecto. Cuando el tendido se haga por capas, la capa sucesiva no se tenderá hasta que la temperatura de la capa anterior sea menor de setenta (70) grados Celsius en su punto medio. El tendido de las carpetas de granulometría semiabierta o abierta se hará en una sola capa.
- G.7.10.** Cada capa de mezcla asfáltica se colocará cubriendo como mínimo el ancho total del carril.
- G.7.11.** Durante el tendido de la mezcla, la tolva de descarga de la pavimentadora permanecerá llena, para evitar la segregación de los materiales. No se permitirá el tendido de la mezcla si existe segregación. Es recomendable utilizar un equipo especial para verter la mezcla asfáltica a la pavimentadora, evitando que el camión vacíe directamente a las tolvas de la misma, mejorando así la uniformidad superficial de la carpeta.
- G.7.12.** Al final de cada jornada y con la frecuencia necesaria, se limpiarán perfectamente todas aquellas partes de la pavimentadora que presenten residuos de mezcla.
- G.7.13.** La longitud de tendido de la mezcla es responsabilidad del Contratista de Obra, tomando en cuenta que no se tenderán tramos mayores de los que puedan ser compactados de inmediato.
- G.7.14.** En el caso de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, el tiempo de almacenamiento de la mezcla no excederá de treinta (30) minutos, por lo que habrá una coordinación adecuada entre la producción, el transporte y la colocación de la carpeta.

G.8. COMPACTACIÓN

- G.8.1.** Inmediatamente después de tendida la mezcla asfáltica, será compactada.
- G.8.2.** En el caso de carpetas de granulometría densa, la capa extendida se compactará lo necesario para lograr que cumpla con las características indicadas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.
- G.8.3.** En el caso de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, la mezcla se compactará mediante dos pasadas con compactadores de rodillo liso metálico estático, con una masa mínima de diez (10) toneladas. Si así lo aprueba la Secretaría, se dará solamente una pasada cuando, a su juicio, se detecte un posible fracturamiento del material pétreo.
- G.8.4.** La compactación se hará longitudinalmente a la carretera, de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas, con un traslapo de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.
- G.8.5.** El uso de compactadores vibratorios sólo se permitirá para la compactación de capas mayores de cuatro (4) centímetros de espesor en carpetas de granulometría densa.
- G.8.6.** La compactación se terminará cuando la mezcla asfáltica tenga una temperatura igual a la mínima conveniente para la compactación, que haya determinado el Contratista de Obra conforme a lo indicado en el Inciso G.7.3. de esta Norma, o mayor.
- G.8.7.** Por ningún motivo se estacionará el equipo de compactación, por periodos prolongados, sobre la carpeta recién compactada, para evitar que se produzcan deformaciones permanentes en la superficie terminada.

G.9. ACABADO

- G.9.1.** Una vez concluida la compactación en todo el ancho de la corona de la última capa de la carpeta de granulometría densa, se formará un chaffán en las orillas, cuya base será igual a uno coma cinco (1,5) veces el espesor de la carpeta

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-006/06

asfáltica, compactándolo con el equipo adecuado. Para ello se utilizará mezcla asfáltica adicional, colocándola inmediatamente después del tendido, o bien directamente con las pavimentadoras si están equipadas para hacerlo.

- G.9.2.** En el caso de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, una vez concluida la compactación en todo el ancho de la corona, se verificará que no se haya obstruido el drenaje lateral en ningún tramo. En el caso de que existan obstrucciones, el Contratista de Obra las eliminará por su cuenta y costo.

G.10. CONSERVACIÓN DE LOS TRABAJOS

Es responsabilidad del Contratista de Obra la conservación de la carpeta asfáltica hasta que haya sido recibida por la Secretaría, cuando la carretera sea operable.

H. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Además de lo establecido anteriormente en esta Norma, para que la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, de cada tramo de un (1) kilómetro de longitud o fracción, se considere terminada y sea aceptada por la Secretaría, con base en el control de calidad que ejecute el Contratista de Obra, mismo que podrá ser verificado por la Secretaría cuando lo juzgue conveniente, se comprobará:

H.1. CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

- H.1.1.** Que los materiales pétreos, asfálticos y aditivos utilizados en la mezcla asfáltica, hayan cumplido con las características establecidas como se indica en la Fracción D.1. de esta Norma.
- H.1.2.** Que las características de la mezcla asfáltica hayan cumplido con las establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.
- H.1.3.** Que la estabilidad de la carpeta de granulometría densa, determinada en corazones extraídos al azar mediante un procedimiento basado en tablas de números aleatorios, conforme a lo indicado en el Manual M-CAL-1-02, *Criterios Estadísticos de Muestreo*, haya cumplido con lo establecido en el proyecto o lo aprobado por la Secretaría, considerando que:

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N CTR-CAR-1-04-006/06

H.1.3.1. El número de corazones por extraer se determinará aplicando la siguiente fórmula:

$$c = L/50$$

Donde:

c = Número de corazones por extraer, aproximado a la unidad superior .

L = Longitud del tramo, (m)

H.1.3.2. Los corazones se extraerán sin dañar la parte contigua de los mismos.

H.1.3.3. Tan pronto se concluya la extracción de los corazones, se rellenarán los huecos con el mismo tipo de mezcla asfáltica utilizada en la carpeta, compactándola y enrasando su superficie con la original de la carpeta.

H.1.3.4. Todas las estabilidades que se determinen en los corazones, estarán dentro de las tolerancias que fije el proyecto o apruebe la Secretaría.

H.2. ÍNDICE DE PERFIL

Que el índice de perfil de la última capa de la carpeta asfáltica de granulometría densa compactada, en cada línea de tendido de cada subtramo de doscientos (200) metros de longitud o fracción, haya sido de catorce centímetros por kilómetro (14 cm / km) como máximo, a menos que el proyecto indique otro valor. El Contratista de Obra hará esta verificación conforme al Manual M-MMP-4-07-002, *Índice de Perfil*, dentro de las cuarenta y ocho (48) horas siguientes a la terminación de la compactación, considerando lo que a continuación se señala. La Secretaría evaluará diariamente los resultados que se obtengan.

H.2.1. Equipo

El Contratista de Obra dispondrá y mantendrá durante el tiempo que dure la obra, de un perfilógrafo tipo California que cumpla con lo indicado en el Manual M-MMP-4-07-002, *Índice de Perfil*. Antes de su utilización, el equipo se calibrará como

NORMAS

N-CTR-CAR 1-04-006/06

se indica en ese Manual, pudiendo la Secretaría verificar la calibración en cualquier momento y si a su juicio, el perfilógrafo presenta deficiencias o no está bien calibrado, se suspenderá inmediatamente la evaluación en tanto que el Contratista de Obra lo calibre adecuadamente, corrija las deficiencias o lo remplace. En ningún caso se medirán para efecto de pago carpetas que no hayan sido verificadas.

H.2.2. Tramo de prueba

Para que el tramo de prueba a que se refiere la Fracción G.6. de esta Norma sea aceptado por la Secretaría, tendrá un índice de perfil de catorce centímetros por kilómetro (14 cm / km) como máximo.

H.2.3. Determinación del índice de perfil

H.2.3.1. La obtención del índice de perfil, en cada línea de tendido, se hará a lo largo de la línea imaginaria ubicada a noventa más menos veinte (90 ± 20) centímetros de la orilla interior de la línea de tendido por evaluar. Las mediciones serán divididas en secciones consecutivas de doscientos (200) metros, con el propósito de establecer subtramos en los que se otorgue al Contratista de Obra un estímulo por mejoramiento de calidad o se le aplique una sanción por incumplimiento de calidad, respecto al precio unitario fijado en el contrato, según la calidad obtenida en la superficie terminada y de acuerdo con el criterio establecido en la Cláusula J. de esta Norma.

H.2.3.2. Cuando la longitud de un subtramo construido en un día de trabajo, no alcance los doscientos (200) metros, será agrupado con el tramo inmediato que se construya el día siguiente. En este caso, la medición del índice de perfil se hará tan pronto como sea práctico y posible, pero no después de cuarenta y ocho (48) horas de terminado el último subtramo de ese día. Si el Contratista de Obra no es el responsable del tendido de un tramo subsecuente, no se medirá el índice de perfil en los cinco (5) últimos metros del tendido de su tramo.

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR CAR-1-04-006/06

H.2.3.3. Si el índice de perfil determinado en alguna línea de tendido de un subtramo de doscientos (200) metros o fracción, resulta menor de diez coma un centímetros por kilómetro (10,1 cm / km), el Contratista de Obra se hará acreedor a un estímulo por mejoramiento de calidad, calculado con base en el precio unitario de la carpeta asfáltica. En su caso, el estímulo se determinará mediante el factor que se establece en la Cláusula J. de esta Norma.

H.2.4. Índice de perfil promedio diario

H.2.4.1. Cada día de trabajo se determinará el índice de perfil promedio diario, obteniendo el promedio aritmético de todos los índices de perfil determinados ese día. Si el índice de perfil promedio diario, resulta mayor de veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km), se suspenderá de inmediato la construcción de la carpeta asfáltica, hasta que el Contratista de Obra corrija la carpeta defectuosa, según se indica en el Inciso H.2.5. Para reanudar la construcción de la carpeta, el Contratista de Obra construirá otro tramo de prueba según lo indicado en la Fracción G.6. de esta Norma, como si se tratara del inicio de los trabajos. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

H.2.4.2. Para determinar el índice de perfil promedio diario se puede utilizar el formato que se muestra en la Tabla 1 de esta Norma, en el que, para un mismo día de trabajo y cada línea de tendido y subtramo, se anota el índice de perfil obtenido. Se calcula el promedio aritmético de todos los índices de perfil obtenidos el mismo día y se anota en el último renglón del formato. Si el tramo tiene más de dos (2) líneas de tendido, al formato se le agregan las columnas que sean necesarias para completar el número de líneas de tendido. Los índices de perfil que se obtengan en subtramos que hayan sido corregidos como se indica en el Inciso H.2.5. de esta Norma, serán registrados en la columna correspondiente, pues los valores originales se conservarán sin alterar.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-006/06

TABLA 1.- Formato para el cálculo del índice de perfil promedio diario

Fecha de construcción:

Tramo ^[1]		Subtramo ^[2]		<i>I_p</i> cm/km		<i>I_p</i> cm/km		
del km	al km	del km	al km	Línea de tendido 1	Línea de tendido 2	Fecha de obtención	Línea de tendido 1	Línea de tendido 2
		+	+					
		+	+					
+	+	+	+					
		+	+					
		+	+					
		+	+					
+	+	+	+					
		+	+					
		+	+					
		+	+					
+	+	+	+					
		+	+					
		+	+					
		+	+					
		+	+					

I_p =

- I_p* = Índice de perfil original del subtramo y línea de tendido correspondientes
- I_p* = Índice de perfil promedio diario. Promedio aritmético de todos los *I_p* obtenidos en un mismo día, (cm/km)
- I_p* = Índice de perfil después de corregido el subtramo y línea de tendido correspondientes
- [1] = Tramo de 1 km o fracción
- [2] = Subtramo de 200 m o fracción

H.2.5. Corrección de la superficie de la carpeta asfáltica

- H.2.5.1. El Contratista de Obra realizará las correcciones de la superficie de la carpeta asfáltica que se requieran para obtener el índice de perfil adecuado.
- H.2.5.2. Después de obtenido el índice de perfil de cada línea de tendido en un subtramo de doscientos (200) metros, todas aquellas áreas en las que el perfilograma presente una desviación igual a un (1) centímetro o mayor, en siete coma cinco (7,5) metros o menos, serán corregidas mediante fresado. Concluida la corrección, se obtendrá nuevamente el índice de perfil del subtramo para verificar el cumplimiento de lo aquí estipulado.

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-006/06

H.2.5.3. Una vez realizadas las correcciones individuales de todas las desviaciones a que se refiere el Párrafo anterior, cualquier subtramo de doscientos (200) metros que presente un índice de perfil mayor de veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km) en cualquiera de sus líneas de tendido, será corregido mediante alguno de los procedimientos que se indican a continuación u otros que apruebe la Secretaría. En cualquier caso, concluida la corrección se determinarán nuevamente los índices de perfil de todas las líneas de tendido del subtramo para verificar el cumplimiento de lo aquí estipulado.

a) Fresado continuo de la superficie de la carpeta de granulometría densa, en tramos no menores de cincuenta (50) metros y a todo el ancho de la corona en carreteras de dos (2) carriles, o en todos los carriles de un mismo sentido en carreteras con carriles múltiples, para reducir el índice de perfil a veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km) o menos. Sobre la superficie fresada, se colocará un tratamiento superficial aprobado por la Secretaría, con un espesor de dos (2) centímetros como mínimo, a menos que el proyecto establezca la construcción de una carpeta de granulometría abierta o semiabierta.

b) Colocación sobre la carpeta de granulometría densa, de una sobrecarpeta de tres (3) centímetros de espesor como mínimo, en tramos no menores de cincuenta (50) metros y a todo el ancho de la corona en carreteras de dos (2) carriles, o en todos los carriles de un mismo sentido en carreteras con carriles múltiples, elaborada con la misma mezcla utilizada en la carpeta, que cumpla con todo lo indicado en esta Norma y tenga un índice de perfil de veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km) como máximo.

H.2.5.4. Cuando el índice de perfil de alguna línea de tendido de un subtramo de doscientos (200) metros esté entre catorce coma uno y veinticuatro centímetros por kilómetro (14,1 a 24 cm / km), el Contratista de Obra podrá elegir entre corregir la superficie terminada como se indica en el Párrafo H.2.5.3., o aceptar una sanción

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-006/06

por incumplimiento de calidad, calculada con base en el precio unitario de la carpeta asfáltica, mediante el factor que se establece en la Cláusula J. de esta Norma.

H.2.5.5. Todos los trabajos de corrección serán por cuenta y costo del Contratista de Obra, y previamente a su ejecución, los procedimientos de corrección de la superficie de la carpeta serán sometidos a la aprobación de la Secretaría. No se permitirá efectuar trabajos de corrección con equipos de impacto que puedan dañar la estructura del pavimento, ni con resanes superficiales adheridos. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que se ocasionen por motivo de las correcciones, serán imputables al Contratista de Obra.

H.2.5.6. Todos los trabajos de corrección de la superficie de la carpeta, se efectuarán antes de que se verifiquen sus líneas, pendientes y espesores, como se indica en la Fracción H.3 de esta Norma, salvo que la corrección se realice mediante una sobrecarpeta, en cuyo caso la verificación de los espesores se hará antes de colocarla.

H.3. LINEAS, PENDIENTES Y ESPESORES

Que el alineamiento, perfil, sección y espesor de la carpeta, cumplan con lo establecido en el proyecto, con las tolerancias que se indican en esta Fracción, como sigue:

H.3.1. Previamente a la construcción de la carpeta, en las estaciones cerradas a cada veinte (20) metros, se nivelará la superficie de la capa inmediata inferior, obteniendo los niveles en el eje y en ambos lados de éste, en puntos ubicados a una distancia (B) igual al semiancho de la corona de la carpeta ($A/2$) menos setenta (70) centímetros, a la mitad del espacio comprendido entre éstos y el eje ($B/2$), y en las orillas de la carpeta, como se muestra en la Figura 1 de esta Norma, sin considerar las ampliaciones en curvas, ni los carriles de aceleración o desaceleración, las ampliaciones en paraderos o las cuñas de transición en entronques a nivel. Cuando existan estos elementos, en las mismas secciones a cada veinte (20) metros de los carriles principales, adicionalmente se nivelarán los puntos en sus orillas, para el posterior cálculo de las pendientes transversales, como se indica en el Inciso siguiente.

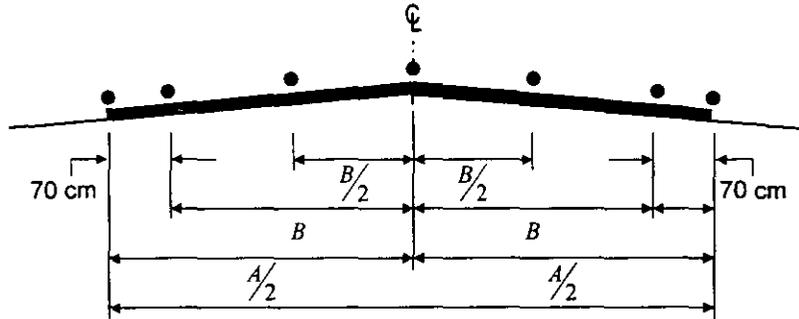


FIGURA 1.- Ubicación de los puntos por nivelar

H.3.2. Una vez compactada la carpeta, verificados sus índices de perfil y, en su caso, hechas las correcciones a que se refiere el Inciso H.2.5., se volverán a nivelar las mismas secciones que se indican en el Inciso H.3.1., determinando las elevaciones de los mismos puntos ahí indicados para obtener las pendientes transversales entre ellos, y se medirán, en cada sección, las distancias entre el eje y las orillas de la carpeta, para verificar que esas pendientes y distancias estén dentro de las tolerancias que se indican en la Tabla 2 de esta Norma.

SECRETARÍA DE...
TABLA 2.- Tolerancias para líneas y pendientes

Característica	Tolerancia
Ancho de la carpeta, del eje a la orilla	± 1 cm
Pendiente transversal	$\pm 0,5\%$

H.3.3. Si para corregir la superficie de la carpeta se opta por colocar una sobrecarpeta como se señala en el Punto b) del Párrafo H.2.5.3. o por cualquier otro procedimiento aprobado por la Secretaría, que eleve esa superficie, antes de su ejecución se nivelarán las mismas secciones a que se refiere el Inciso H.3.1. de esta Norma, determinando las elevaciones de los mismos puntos ahí indicados para obtener los espesores de la carpeta antes de ser corregida.

H.3.4. Las nivelaciones se ejecutarán con nivel fijo y comprobación de vuelta, obteniendo los niveles con aproximación al milímetro. Las distancias horizontales se medirán con aproximación al centímetro.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-006/06

H.3.5. A partir de las cotas obtenidas en las nivelaciones a que se refieren los Incisos H.3.1., H.3.2. y H.3.3. de esta Norma, según sea el caso, en todos los puntos nivelados se determinarán los espesores de la carpeta compactada, los que serán iguales al fijado en el proyecto o, para cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, cumplir con lo establecido en los Incisos H.3.6. y H.3.7. de esta Norma.

H.3.6. El espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, será igual a noventa y ocho centésimos (0,98) del espesor de proyecto o mayor:

$$\bar{e} \geq 0,98e$$

Donde:

e = Espesor de proyecto, (cm)

\bar{e} = Espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, (cm), obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}$$

Donde:

e_i = Espesor obtenido en cada determinación, (cm)

n = Número de determinaciones hechas en el tramo

H.3.7. La desviación estándar de todos los espesores determinados en el tramo, será igual a diez centésimos (0,10) del espesor promedio o menor:

$$\sigma_e \leq 0,10\bar{e}$$

Donde:

σ_e = Desviación estándar correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, (cm), calculada con la siguiente fórmula:

$$\sigma_e = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}{n - 1} \right)^{1/2}$$

\bar{e} , e_i y n tienen el significado indicado en el Inciso anterior.

H.4. RESISTENCIA A LA FRICCIÓN

H.4.1. Que la superficie de rodadura de la carpeta asfáltica compactada, haya tenido una resistencia a la fricción en condiciones de pavimento mojado, igual a seis décimas (0,6) o mayor, medida con el equipo *Mu-Meter*, a una velocidad de setenta y cinco (75) kilómetros por hora, por lo menos sobre la huella de la rodada externa de cada línea de tendido. El Contratista de Obra hará esta verificación conforme a la norma ASTM E 670. La prueba se hará sobre la superficie de rodadura compactada y, en su caso, corregida de acuerdo con lo indicado en el Inciso H.2.5 de esta Norma.

H.4.2. Cuando la resistencia a la fricción de una carpeta de granulometría densa, sea menor de seis décimas (0,6) y el proyecto no establezca la construcción sobre ella de una carpeta de granulometría abierta o semiabierta, el Contratista de Obra, por su cuenta y costo, corregirá la superficie terminada mediante la colocación de una carpeta de un riego, conforme a lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1-04-008, *Carpetas por el Sistema de Riegos*, en tramos no menores de cincuenta (50) metros y a todo el ancho de la corona en carreteras de dos (2) carriles, o en todos los carriles de un mismo sentido en carreteras con carriles múltiples. La corrección también podrá hacerse mediante alguno de los procedimientos indicados en los Puntos a) y b) del Párrafo H.2.5.3, en cuyo caso, una vez concluida, se determinarán nuevamente la resistencia a la fricción y los índices de perfil de todas las líneas de tendido del subtramo, para verificar el cumplimiento de lo estipulado tanto en el Inciso anterior como en la Fracción H.2. de esta Norma.

NORMAS

N-CTR-CAR 1-04-006/06

I. MEDICIÓN

Cuando la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme a lo indicado en esta Norma, a satisfacción de la Secretaría, se medirá según lo señalado en la Cláusula E. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, para determinar el avance o la cantidad de trabajo realizado para efecto de pago, tomando como unidad el metro cúbico de carpeta terminada, según su tipo y para cada banco en particular, con aproximación a la unidad. El volumen de cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, se determinará mediante la siguiente fórmula:

$$V = L \times \bar{e} \times \bar{a}$$

Donde:

V = Volumen de la carpeta asfáltica de cada tramo de 1 km o fracción, (m³).

L = Longitud del tramo, (m).

\bar{e} = Espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, (m), obtenido como se indica en el Inciso H.3.6. de esta Norma.

\bar{a} = Ancho promedio de la carpeta asfáltica, obtenido con base en las distancias entre el eje y las orillas de la corona, determinadas en todas las secciones del tramo como se indica en el Inciso H.3.2. de esta Norma, (m).

La Secretaría medirá y pagará como máximo el volumen de la carpeta asfáltica que resulte del espesor de proyecto más un (1) centímetro por el ancho de proyecto más un (1) centímetro.

Para el cálculo del volumen en el tramo medido se puede usar el formato que se muestra en la Tabla 3 de esta Norma.

J. BASE DE PAGO

Cuando la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en caliente se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea medida de acuerdo con lo indicado en la Cláusula I. de esta Norma, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cúbico de carpeta terminada en cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, según su tipo y para cada banco en particular. Estos precios unitarios, conforme a lo indicado en la Cláusula F. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, incluyen lo que corresponda por:

**CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS**

N-CTR-CAR-1-04-006/06

TABLA 3.- Formato para el cálculo de los volúmenes, los estímulos o sanciones y los importes a pagar

Tramo ^[1]		L m	\bar{e} m	\bar{a} m	V m ³	PU \$	Importe \$ ^[2]	\bar{F}	E \$	
del km	al km									
+	+									
+	+									
+	+									
+	+									
+	+									
Sumas =							\$		\$	
Importe total =							\$		\$	

L = Longitud del tramo correspondiente

\bar{e} = Espesor promedio del tramo correspondiente (espesor de proyecto más 1 cm como máximo)

\bar{a} = Ancho promedio del tramo correspondiente (ancho de proyecto más 1 cm como máximo)

V = Volumen del tramo correspondiente ($V = L \times \bar{e} \times \bar{a}$)

PU = Precio unitario de la carpeta

\bar{F} = Factor promedio de estímulo o sanción del tramo correspondiente, obtenido de la Tabla 5

E = Estímulo o sanción del tramo correspondiente ($E = V \times PU \times \bar{F}$)

[1] = Tramo de 1 km o fracción

[2] = Importe de la carpeta (Importe = V × PU)

- Valor de adquisición o producción de los materiales asfálticos para la carpeta y para el riego de liga, así como de los aditivos que se requieran. Limpieza del tanque en que se transporten, movimientos en la planta de producción y en el lugar de destino, carga al equipo de transporte, transporte al lugar de almacenamiento, descarga en el depósito, cargo por almacenamiento y todas las operaciones de calentamiento y bombeo requeridas.
- Desmonte y despalme de los bancos; extracción del material pétreo aprovechable y del desperdicio, cualesquiera que sean sus clasificaciones; cribados y desperdicios de los cribados; trituración parcial o total; lavado o eliminación del polvo superficial adherido a los materiales; cargas, descargas y todos los acarreos de los materiales y de los desperdicios; formación de los almacenamientos y clasificación de los materiales pétreos separándolos por tamaños.
- Instalación, alimentación y desmantelamiento de las plantas.
- Secado del material pétreo; dosificación, calentamiento y mezclado de los materiales pétreos, asfálticos y aditivos.
- Barrido y limpieza de la superficie sobre la que se construirá la carpeta.

NORMAS

N-CTR CAR-1-04-006/06

- Aplicación del riego de liga según lo indicado en la Norma N-CTR CAR-1-04-005, *Riegos de Liga*.
- Cargas en la planta de la mezcla asfáltica al equipo de transporte y acarreo al lugar de tendido.
- Tendido y compactación de la mezcla asfáltica.
- Los tiempos de los vehículos empleados en los transportes de todos los materiales durante las cargas y las descargas.
- La conservación de la carpeta asfáltica hasta que sea recibida por la Secretaría.
- Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

Cuando procedan estímulos por mejoramiento de calidad o sanciones por incumplimiento de calidad, de acuerdo con los índices de perfil de la carpeta asfáltica, que se obtengan según se señala en la Fracción H.2., se pagará al Contratista de Obra una bonificación o se le hará una deducción, según corresponda, calculada para cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, medido como se indica en la Cláusula I. de esta Norma, mediante la siguiente fórmula:

$$E = V \times PU \times \bar{F}$$

Donde:

E = Estímulo por pagar como bonificación cuando resulta positivo o sanción aplicada como deducción cuando resulta negativo, para cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, (\$)

V = Volumen de la carpeta asfáltica del tramo, (m^3)

PU = Precio unitario de la carpeta asfáltica fijado en el contrato, ($\$/m^3$)

\bar{F} = Factor promedio de estímulo o sanción del tramo. Promedio aritmético de los factores de estímulo o sanción (F_j) para cada subtramo de doscientos (200) metros en cada línea de tendido, tomados de la Tabla 4 de esta Norma, (adimensional)

Para calcular el factor promedio de estímulo o sanción (\bar{F}) se puede utilizar el formato que se muestra en la Tabla 5, en el que, para cada línea de tendido y subtramo, se anota el factor de estímulo o sanción (F_j) tomado de la Tabla 4, de acuerdo con el índice de perfil (I_p) obtenido de la Tabla 1 y se calcula el promedio aritmético de todos los factores de estímulo o sanción (F_j) de cada tramo, que se anota en la última columna del formato, en el cuadro correspondiente. Para

**CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS**

N-CTR CAR-1-04-006/06

subtramos que hayan sido corregidos como se indica en el Inciso H.2.5. de esta Norma, el factor de estímulo o sanción (F_j) correspondiente se determina con base en el índice de perfil (I_{pc}) logrado después de la corrección. Si el tramo tiene más de dos (2) líneas de tendido, al formato se le agregan las columnas que sean necesarias para completar el número de líneas de tendido.

TABLA 4.- Factores de estímulo o sanción, según el índice de perfil

Índice de perfil * cm / km	Factores de estímulo o sanción (F_j)	
4,0 o menos	Estímulo	+ 0,05
4,1 a 5,5		+ 0,04
5,6 a 7,0		+ 0,03
7,1 a 8,5		+ 0,02
8,6 a 10,0		+ 0,01
10,1 a 14,0	0	
14,1 a 16,0	Sanción	- 0,02
16,1 a 18,0		- 0,04
18,1 a 20,0		- 0,06
20,1 a 22,0		- 0,08
22,1 a 24,0		- 0,10
Mayor de 24,0	CORREGIR DE	

* Para cada tramo de 200 m o fracción en cada línea de tendido

Asimismo, para calcular el estímulo o la sanción (E) de cada tramo, se puede usar la Tabla 3, en la que se anotan los factores promedio de estímulo o sanción (\bar{F}) correspondientes, calculados en la Tabla 5 de esta Norma.

K. ESTIMACIÓN Y PAGO

La estimación y pago de las carpetas asfálticas con mezcla en caliente, se efectuará de acuerdo con lo señalado en la Cláusula G. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*.

L. RECEPCIÓN DE LA OBRA

Una vez concluida la construcción de la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, la Secretaría la aprobará y al término de la obra, cuando la carretera sea operable, la recibirá conforme a lo señalado en la Cláusula H. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, aplicando en su caso, las sanciones a que se refiere la Cláusula I. de la misma Norma.

NORMAS

N-CTR CAR-1-04-006/06

TABLA 5.- Formato para el cálculo del factor promedio de estímulo o sanción de cada tramo

Mes: Año:

Tramo ^[1]		Subtramo ^[2]		Línea de tendido 1			Línea de tendido 2			\bar{F}
del km	al km	del km	al km	Día ^[3]	I_p cm/km	F_j	Día ^[3]	I_p cm/km	F_j	
+	+	+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							
+	+	+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							
+	+	+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							

I_p = Índice de perfil del subtramo y línea de tendido correspondientes, obtenido de la Tabla 1
 Para subtramos que hayan sido corregidos como se indica en el inciso H.2.5. de esta Norma, se utiliza el índice de perfil (I_p) logrado después de la corrección

F_j = Factor de estímulo o sanción para el subtramo y línea de tendido correspondientes, obtenido de la Tabla 4

\bar{F} = Factor promedio de estímulo o sanción. Promedio aritmético de los F_j del tramo correspondiente

[1] = Tramo de 1 km o fracción

[2] = Subtramo de 200 m o fracción

[3] = Día en el que se construyó la carpeta

LIBRO: CTR. CONSTRUCCIÓN
TEMA: CAR. Carreteras
PARTE: 1. CONCEPTOS DE OBRA
TÍTULO: 04. Pavimentos
CAPÍTULO: 007. Carpetas Asfálticas con Mezcla en Frío

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los aspectos por considerar en la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en frío, para pavimentos de carreteras de nueva construcción.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Las carpetas asfálticas con mezcla en frío son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos y un material asfáltico, modificado o no, que puede ser rebajado con solventes o en emulsión. Según su función y su composición granulométrica, las carpetas asfálticas con mezcla en frío pueden ser:

B.1. CARPETAS DE MEZCLA ASFÁLTICA

Las carpetas de mezcla asfáltica se construyen para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Cuando son de un espesor igual a cuatro (4) centímetros o mayor, tienen además la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento. Están constituidas por una mezcla en frío de materiales pétreos, generalmente de granulometría densa y un producto asfáltico, que puede ser una emulsión o un rebajado.

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-007/06

B.2. CARPETAS DE MORTERO ASFÁLTICO

Las carpetas de mortero asfáltico no tienen función estructural y se construyen para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Están constituidas por una mezcla en frío de materiales pétreos de granulometría fina y emulsión asfáltica o un asfalto rebajado.

C. REFERENCIAS

Es referencia de esta Norma, la norma E.670 *Standard Test for Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter*, publicada por la *American Society for Testing and Materials (ASTM)*.

Además, esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras	N-LEG-3
Riegos de Impregnación	N-CTR-CAR-1-04-004
Riegos de Liga	N-CTR-CAR-1-04-005
Carpetas por el Sistema de Riegos	N-CTR-CAR-1-04-008
Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	N-CMT-4-04
Calidad de Materiales Asfálticos	N-CMT-4-05-001
Calidad de Materiales Asfálticos Modificados	N-CMT-4-05-002
Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras	N-CMT-4-05-003
Criterios Estadísticos de Muestreo	M-CAL-1-02
Índice de Perfil	M-MMP-4-07-002

D. MATERIALES

D.1. Los materiales que se utilicen en la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en frío, cumplirán con lo establecido en las Normas N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados* y N-CMT-4-05-003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras*, salvo que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría. Los materiales pétreos procederán de los bancos indicados en el proyecto o aprobados por la Secretaría.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-007/06

- D.2.** Si dados los requerimientos de la obra, es necesario modificar las características de los materiales pétreos, del material asfáltico o de la interacción entre ambos utilizando aditivos, éstos estarán establecidos en el proyecto o serán aprobados por la Secretaría. Si el Contratista de Obra propone la utilización de aditivos, lo hará mediante un estudio técnico que los justifique, sometiéndolo a la consideración de la Secretaría para su análisis y aprobación. Dicho estudio ha de contener como mínimo, las especificaciones y los resultados de las pruebas de calidad, así como los procedimientos para el manejo, uso y aplicación de los aditivos.
- D.3.** No se aceptará el suministro y utilización de materiales que no cumplan con lo indicado en la Fracción D.1. de esta Norma, ni aun en el supuesto de que serán mejorados posteriormente en el lugar de su utilización por el Contratista de Obra.
- D.4.** Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas como se indica en la Fracción D.1. de esta Norma, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra las corrija o los remplace por otros adecuados, por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E. EQUIPO

El equipo que se utilice para la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en frío, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, conforme al programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del Contratista de Obra su selección. Dicho equipo será mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y será operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra corrija las deficiencias, lo remplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E.1. PLANTA DE MEZCLADO

Contará como mínimo con:

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04 007/06

- E.1.1. Cribas para clasificar el material pétreo por lo menos en tres (3) tamaños, con capacidad suficiente para mantener siempre en las tolvas material pétreo disponible para la mezcla.
- E.1.2. Tolvas para almacenar el material pétreo, protegidas de la lluvia y el polvo, con capacidad suficiente para asegurar la operación continua de la planta por lo menos durante quince (15) minutos sin ser alimentadas, y divididas en compartimentos para almacenar los materiales pétreos por tamaños.
- E.1.3. Dispositivos para dosificar los materiales pétreos por masa, y sólo en casos excepcionales, cuando así lo apruebe la Secretaría, por volumen y que permitan un fácil ajuste de la dosificación de la mezcla en cualquier momento, para poder obtener la granulometría que indique el proyecto.
- E.1.4. Dispositivos para dosificar el cemento asfáltico, con una aproximación de más menos dos (± 2) por ciento de la cantidad requerida según el proporcionamiento de la mezcla.
- E.1.5. Mezcladora equipada con un dispositivo para el control del tiempo de mezclado.
- E.1.6. Recolector de polvo.
- E.1.7. Dispositivo para agregar finos.

E.2. PAVIMENTADORAS

Autopropulsadas, capaces de esparcir y precompactar la capa de carpeta que se tienda, con el ancho, sección y espesor establecidos en el proyecto, incluyendo los acotamientos y zonas similares. Estarán equipadas con los dispositivos necesarios para un adecuado tendido de la carpeta asfáltica, como son: un enrasador o aditamento similar, que pueda ajustarse automáticamente en el sentido transversal y proporcionar una textura lisa y uniforme, sin protuberancias o canalizaciones; una tolva receptora de la mezcla asfáltica con capacidad para asegurar un tendido homogéneo, equipada con un sistema de distribución mediante el cual se reparta la mezcla uniformemente frente al enrasador; y sensores de control automático de niveles.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-007/06

Los dispositivos externos que se utilicen como referencia de nivel para los sensores de niveles, estarán colocados en zonas limpias de piedras, basura o cualquier otra obstrucción que afecte las lecturas. Si durante la ejecución de los trabajos, los controles automáticos operan deficientemente, la Secretaría, a su juicio, podrá permitir al Contratista de Obra terminar el tendido del día, mediante el uso del control manual de la pavimentadora; sin embargo, el tendido se podrá reiniciar sólo cuando los controles automáticos funcionen adecuadamente.

Es recomendable contar además, con un equipo especial para verter la mezcla asfáltica a la pavimentadora, evitando que el camión vacíe directamente a las tolvas de la misma, mejorando así la uniformidad superficial de la carpeta.

E.3. MEZCLADORAS/EXTENDEDORAS MÓVILES

Contarán con:

E.3.1. Tolva capaz de recibir los materiales pétreos directamente de los camiones.

E.3.2. Depósitos para el material fino (filler), el material asfáltico, los aditivos y el agua.

E.3.3. Dispositivos para la dosificación de los materiales. La bomba de presión, así como los dispositivos de medición del material pétreo y del material asfáltico, estarán calibrados adecuadamente y serán revisados periódicamente para que el mortero se elabore con la dosificación adecuada, según la Fracción G.2. de esta Norma.

E.3.4. Cámara mezcladora que asegure la correcta incorporación de los materiales para producir un mortero uniforme, que cuente con una compuerta para el control de la descarga. El mecanismo de mezclado será examinado diariamente para detectar desgastes excesivos o un funcionamiento defectuoso.

E.3.5. Barra rociadora para humedecer la superficie por cubrir.

E.3.6. Distribuidor que asegure un flujo continuo y un extendido uniforme en todo el ancho de aplicación.

E.4. COMPACTADORES

E.4.1. Compactadores de rodillos metálicos

Autopropulsados, reversibles y provistos de petos limpiadores para evitar que el material se adhiera a los rodillos. Pueden ser de tres (3) rodillos metálicos en dos (2) ejes, o de dos (2) o tres (3) ejes con rodillos en tándem, con diámetro mínimo de un (1) metro (40 in), en todos los casos.

E.4.2. Compactadores neumáticos

Remolcados o autopropulsados. Tendrán nueve (9) ruedas como mínimo, de igual tamaño, montadas sobre dos ejes unidos a un chasis rígido, equipado con una plataforma o cuerpo que pueda ser lastrado, de forma que la masa total del compactador se distribuya uniformemente en ellas, dispuestas de manera que las llantas del eje trasero cubran, en una pasada, el espacio completo entre las llantas adyacentes en el eje delantero. Las llantas serán lisas, con tamaño mínimo de 7.50-15 de cuatro (4) capas e infladas uniformemente a la presión recomendada por el fabricante, con una tolerancia máxima de treinta y cuatro coma cinco (34,5) kilopascales (5 lb/in²).

E.5. BARREDORAS MECÁNICAS

Autopropulsadas o remolcadas. Tendrán una escoba rotatoria con el tipo de cerdas adecuadas según el material por remover y la superficie por barrer.

F. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

El transporte y almacenamiento de todos los materiales son responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra y los realizará de forma tal que no sufran alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en las Normas N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados* y N-CMT-4-05-003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras*. Se sujetarán, en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-007/06

- F.1. El transporte de la mezcla elaborada en planta, se hará siempre sobre superficies pavimentadas.
- F.2. La distancia del transporte será de sesenta (60) kilómetros como máximo, la que se reducirá un diez (10) por ciento por cada grado de pendiente ascendente, medida como el desnivel entre la planta de mezclado y el punto de tiro, dividido entre la longitud de transporte.

G. EJECUCIÓN

G.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Para la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en frío se considerará lo señalado en la Cláusula D. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*.

G.2. PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES

G.2.1. Los materiales pétreos, asfálticos y aditivos que se empleen en la elaboración de las carpetas asfálticas con mezcla en frío, se mezclarán con el proporcionamiento necesario para producir una mezcla o mortero asfáltico homogéneo, con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

G.2.2. El proporcionamiento se determinará mediante un diseño de mezclas asfálticas en frío, para obtener las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría. Este diseño será responsabilidad del Contratista de Obra.

G.2.3. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, con las dosificaciones de los distintos tipos de materiales pétreos, asfálticos y aditivos utilizados en la elaboración de la carpeta asfáltica con mezcla en frío, no se obtiene una mezcla o un mortero con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra las corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

G.3. CONDICIONES CLIMÁTICAS

Los trabajos serán suspendidos en el momento en que se presenten situaciones climáticas adversas y no se reanudarán

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR CAR-1-04-007/06

mientras éstas no sean las adecuadas, considerando que no se construirán carpetas asfálticas con mezcla en frío:

- G.3.1.** Sobre superficies con agua libre o encharcada.
- G.3.2.** Cuando exista amenaza de lluvia o esté lloviendo.
- G.3.3.** Cuando la temperatura de la superficie sobre la cual serán construidas esté por debajo de los cuatro (4) grados Celsius.
- G.3.4.** Cuando la temperatura ambiente esté por debajo de los cuatro (4) grados Celsius. La temperatura ambiente será tomada a la sombra lejos de cualquier fuente de calor artificial.

G.4. TRABAJOS PREVIOS

- G.4.1.** Inmediatamente antes de iniciar la construcción de la carpeta asfáltica con mezcla en frío, la superficie sobre la que se colocará estará debidamente terminada dentro de las líneas y niveles, exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos de material asfáltico, sin irregularidades y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran existido. No se permitirá la construcción sobre superficies que no hayan sido previamente aceptadas por la Secretaría.
- G.4.2.** Si así lo indica el proyecto o lo aprueba la Secretaría, cuando la carpeta se construya sobre una base, ésta se impregnará de acuerdo con lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1-04-004, *Riegos de Impregnación*. Es responsabilidad del Contratista de Obra establecer el lapso entre la impregnación y el inicio de la construcción de la carpeta.
- G.4.3.** Si así lo indica el proyecto o lo aprueba la Secretaría, inmediatamente antes de iniciar el tendido de la carpeta, se aplicará un riego de liga en toda la superficie, de acuerdo con lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1-04-005, *Riegos de Liga*.
- G.4.4.** Los acarreos de la mezcla hasta el sitio de su utilización, se harán de tal forma que el tránsito sobre la superficie donde se construirá la carpeta, se distribuya sobre todo el ancho de la misma, evitando la concentración en ciertas áreas y, por

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-007/06

consecuencia, su deterioro. No se permitirá que los camiones que transportan la mezcla asfáltica, hagan maniobras que puedan distorsionar, disgregar u ondular las orillas de una capa recién tendida. En el caso de que por algún motivo esta situación llegue a suceder, el Contratista de Obra reparará inmediatamente los daños causados, por su cuenta y costo.

G.5. ELABORACIÓN DE LA MEZCLA O DEL MORTERO

G.5.1. El procedimiento que se utilice para la elaboración de la mezcla o del mortero, es responsabilidad del Contratista de Obra, quien tendrá los cuidados necesarios para el manejo de los materiales a lo largo de todo el proceso, para que la mezcla o el mortero cumpla con los requerimientos de calidad establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría y atenderá lo indicado en la Norma N-CMT-4-05-003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras*.

G.5.2. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, la calidad de la mezcla o del mortero asfáltico, difiere de la establecida en el proyecto o aprobada por la Secretaría, se suspenderá inmediatamente la producción en tanto que el Contratista de Obra la corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

G.5.3. Durante el proceso de producción no se cambiará de un tipo de mezcla a otro, hasta que la planta haya sido vaciada completamente y los depósitos de alimentación del material pétreo sean cargados con el nuevo material.

G.6. TRAMO DE PRUEBA

Sobre la superficie donde se construirá la carpeta asfáltica con mezcla en frío, el Contratista de Obra ejecutará previamente un tramo de prueba con una longitud de cuatrocientos (400) metros, con la finalidad de evaluar el procedimiento y los equipos que se utilizarán, considerando que:

G.6.1. La construcción del tramo de prueba se hará cumpliendo con todo lo establecido en esta Norma.

G.6.2. Una vez compactada la carpeta del tramo de prueba, se verificará que cumpla con lo establecido en la Cláusula H. de

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-007/06

esta Norma. En caso negativo, el Contratista de Obra construirá el número de tramos de prueba necesarios hasta que cumpla con lo indicado en dicha Cláusula.

- G.6.3.** Si el tramo de prueba construido cumple con lo indicado en el Inciso anterior, podrá considerarse como parte de la obra y será objeto de medición y pago, de lo contrario no se medirá ni pagará y la Secretaría, a su juicio, determinará si es necesario o no que el Contratista de Obra retire el tramo de prueba por su cuenta y costo.

G.7. TENDIDO DE LA MEZCLA O DEL MORTERO

- G.7.1.** Después de elaborada la mezcla o el mortero asfáltico, se extenderá y se conformará con una pavimentadora autopropulsada o con una mezcladora/extendedora, de tal manera que se obtenga una capa de material sin compactar de espesor uniforme. Sin embargo, en áreas irregulares, la mezcla o el mortero asfáltico puede tenderse y terminarse a mano.

- G.7.2.** El tendido se hará en forma continua, utilizando un procedimiento que minimice las paradas y arranques de la pavimentadora o la mezcladora/extendedora.

- G.7.3.** Cuando el tendido se haga en dos (2) o más franjas, con un intervalo de más de un día entre franjas, éstas se ligarán con emulsión de rompimiento rápido. Esto se puede evitar si se elimina la junta longitudinal utilizando pavimentadoras o mezcladoras/extendedoras, en batería.

- G.7.4.** En el caso de carpetas de mezcla asfáltica, la cara expuesta de las juntas transversales se recortará aproximadamente a cuarenta y cinco (45) grados antes de iniciar el siguiente tendido, ligando las juntas con emulsión de rompimiento rápido.

- G.7.5.** En cualquier caso, se tendrá especial cuidado para que el enrasador traslape las juntas de tres (3) a cinco (5) centímetros y que el control del espesor sea ajustado de tal manera que el material quede ligeramente por arriba de la capa previamente tendida, para que al ser compactado, el pavimento quede con los niveles y dentro de las tolerancias establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría.

NORMAS

N-CTR CAR-1 04 007/06

- G.7.6.** En el caso de carpetas de mezcla asfáltica, de ser necesario, la mezcla se extenderá en capas sucesivas, con un espesor no mayor que aquel que el equipo sea capaz de compactar como se indica en la Fracción G.8. de esta Norma, hasta que se obtengan la sección y el espesor establecidos en el proyecto. El tendido de las carpetas de mortero asfáltico se hará en una sola capa.
- G.7.7.** Cada capa de mezcla o de mortero asfáltico se colocará cubriendo como mínimo el ancho total del carril.
- G.7.8.** Durante el tendido de la mezcla o del mortero asfáltico, la tolva de descarga de la pavimentadora o de la mezcladora/extendedora permanecerá llena, para evitar la segregación de los materiales. No se permitirá el tendido de la mezcla o del mortero si existe segregación. Es recomendable utilizar un equipo especial para verter la mezcla asfáltica a la pavimentadora o a la mezcladora/extendedora, evitando que el camión vacíe directamente a las tolvas de las mismas, mejorando así la uniformidad superficial de la carpeta.
- G.7.9.** Al final de cada jornada y con la frecuencia necesaria, se limpiarán perfectamente todas aquellas partes de la pavimentadora o de la mezcladora/extendedora que presenten residuos de mezcla o de mortero.
- G.7.10.** La longitud de tendido de la mezcla o del mortero es responsabilidad del Contratista de Obra, tomando en cuenta que no se tenderán tramos mayores de los que puedan ser compactados de inmediato.

G.8. COMPACTACIÓN

- G.8.1.** Inmediatamente después de tendida la mezcla asfáltica, o bien cuando la emulsión haya comenzado a romper, será compactada.
- G.8.2.** La capa extendida se compactará lo necesario para lograr que cumpla con las características indicadas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-007/06

- G.8.3.** La compactación se hará longitudinalmente a la carretera, de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas, con un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.
- G.8.4.** El uso de compactadores vibratorios sólo se permitirá para la compactación de capas mayores de cuatro (4) centímetros de espesor.
- G.8.5.** Por ningún motivo se estacionará el equipo de compactación, por periodos prolongados, sobre la carpeta recién compactada, para evitar que se produzcan deformaciones permanentes en la superficie terminada.

G.9. ACABADO

Una vez concluida la compactación en todo el ancho de la corona de la última capa de las carpetas de mezcla asfáltica, se formará un chafán en las orillas, cuya base será igual a uno coma cinco (1,5) veces el espesor de la carpeta asfáltica, compactándolo con el equipo adecuado. Para ello se utilizará mezcla asfáltica adicional, colocándola inmediatamente después del tendido, o bien directamente con las pavimentadoras si están equipadas para hacerlo.

G.10. CONSERVACIÓN DE LOS TRABAJOS

Es responsabilidad del Contratista de Obra la conservación de la carpeta asfáltica hasta que haya sido recibida por la Secretaría, cuando la carretera sea operable.

H. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Además de lo establecido anteriormente en esta Norma, para que la carpeta asfáltica con mezcla en frío, de cada tramo de un (1) kilómetro de longitud o fracción, se considere terminada y sea aceptada por la Secretaría, con base en el control de calidad que ejecute el Contratista de Obra, mismo que podrá ser verificado por la Secretaría cuando lo juzgue conveniente, se comprobará:

H.1. CALIDAD DE LA MEZCLA O DEL MORTERO ASFÁLTICO

- H.1.1.** Que los materiales pétreos, asfálticos y aditivos utilizados en la mezcla o en el mortero asfáltico, hayan cumplido con las

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-007/06

características establecidas como se indica en la Fracción D.1. de esta Norma.

H.1.2. Que las características de la mezcla o del mortero asfáltico hayan cumplido con las establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

H.1.3. Que la estabilidad de la carpeta de mezcla asfáltica, determinada en corazones extraídos al azar mediante un procedimiento basado en tablas de números aleatorios, conforme a lo indicado en el Manual M-CAL-1-02, *Criterios Estadísticos de Muestreo*, haya cumplido con lo establecido en el proyecto o lo aprobado por la Secretaría, considerando que:

H.1.3.1. El número de corazones por extraer se determinará aplicando la siguiente fórmula:

$$c = L/50$$

Donde:

c = Número de corazones por extraer, aproximado a la unidad superior

L = Longitud del tramo, (m)

H.1.3.2. Los corazones se extraerán sin dañar la parte contigua de los mismos.

H.1.3.3. Tan pronto se concluya la extracción de los corazones, se rellenarán los huecos con el mismo tipo de mezcla asfáltica utilizada en la carpeta, compactándola y enrasando su superficie con la original de la carpeta.

H.1.3.4. Todas las estabilidades que se determinen en los corazones, estarán dentro de las tolerancias que fije el proyecto o apruebe la Secretaría.

H.2. ÍNDICE DE PERFIL

Que el índice de perfil de la última capa de la carpeta de mezcla asfáltica, compactada, en cada línea de tendido de cada subtramo de doscientos (200) metros de longitud o fracción, haya sido de

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-007/06

catorce centímetros por kilómetro (14 cm / km) como máximo, a menos que el proyecto indique otro valor. El Contratista de Obra hará esta verificación conforme al Manual M-MMP-4-07-002, *Índice de Perfil*, dentro de las cuarenta y ocho (48) horas siguientes a la terminación de la compactación, considerando lo que a continuación se señala. La Secretaría evaluará diariamente los resultados que se obtengan.

H.2.1. Equipo

El Contratista de Obra dispondrá y mantendrá durante el tiempo que dure la obra, de un perfilógrafo tipo California que cumpla con lo indicado en el Manual M-MMP-4-07-002, *Índice de Perfil*. Antes de su utilización, el equipo se calibrará como se indica en ese Manual, pudiendo la Secretaría verificar la calibración en cualquier momento y si a su juicio, el perfilógrafo presenta deficiencias o no está bien calibrado, se suspenderá inmediatamente la evaluación en tanto que el Contratista de Obra lo calibre adecuadamente, corrija las deficiencias o lo remplace. En ningún caso se medirán para efecto de pago carpetas que no hayan sido verificadas.

H.2.2. Tramo de prueba

Para que el tramo de prueba a que se refiere la Fracción G.6. de esta Norma sea aceptado por la Secretaría, tendrá un índice de perfil de catorce centímetros por kilómetro (14 cm / km) como máximo.

H.2.3. Determinación del índice de perfil

H.2.3.1. La obtención del índice de perfil, en cada línea de tendido, se hará a lo largo de la línea imaginaria ubicada a noventa más menos veinte (90±20) centímetros de la orilla interior de la línea de tendido por evaluar. Las mediciones serán divididas en secciones consecutivas de doscientos (200) metros, con el propósito de establecer subtramos en los que se otorgue al Contratista de Obra un estímulo por mejoramiento de calidad o se le aplique una sanción por incumplimiento de calidad, respecto al precio unitario fijado en el contrato, según la calidad obtenida en la superficie terminada y de acuerdo con el criterio establecido en la Cláusula J. de esta Norma.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-007/06

H.2.3.2. Cuando la longitud de un subtramo construido en un día de trabajo, no alcance los doscientos (200) metros, será agrupado con el tramo inmediato que se construya el día siguiente. En este caso, la medición del índice de perfil se hará tan pronto como sea práctico y posible, pero no después de cuarenta y ocho (48) horas de terminado el último subtramo de ese día. Si el Contratista de Obra no es el responsable del tendido de un tramo subsecuente, no se medirá el índice de perfil en los cinco (5) últimos metros del tendido de su tramo.

H.2.3.3. Si el índice de perfil determinado en alguna línea de tendido de un subtramo de doscientos (200) metros o fracción, resulta menor de diez coma un centímetros por kilómetro (10,1 cm / km), el Contratista de Obra se hará acreedor a un estímulo por mejoramiento de calidad, calculado con base en el precio unitario de la carpeta asfáltica. En su caso, el estímulo se determinará mediante el factor que se establece en la Cláusula J. de esta Norma.

H.2.4. Índice de perfil promedio diario

H.2.4.1. Cada día de trabajo se determinará el índice de perfil promedio diario, obteniendo el promedio aritmético de todos los índices de perfil determinados ese día. Si el índice de perfil promedio diario resulta mayor de veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km), se suspenderá de inmediato la construcción de la carpeta asfáltica, hasta que el Contratista de Obra corrija la carpeta defectuosa, según se indica en el Inciso H.2.5. Para reanudar la construcción de la carpeta, el Contratista de Obra construirá otro tramo de prueba según lo indicado en la Fracción G.6. de esta Norma, como si se tratara del inicio de los trabajos. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

H.2.4.2. Para determinar el índice de perfil promedio diario se puede utilizar el formato que se muestra en la Tabla 1 de esta Norma, en el que, para un mismo día de trabajo y cada línea de tendido y subtramo, se anota el índice de

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-007/06

perfil obtenido. Se calcula el promedio aritmético de todos los índices de perfil obtenidos el mismo día y se anota en el último renglón del formato. Si el tramo tiene más de dos (2) líneas de tendido, al formato se le agregan las columnas que sean necesarias para completar el número de líneas de tendido. Los índices de perfil que se obtengan en subtramos que hayan sido corregidos como se indica en el Inciso H.2.5. de esta Norma, serán registrados en la columna correspondiente, pues los valores originales se conservarán sin alterar.

TABLA 1.- Formato para el cálculo del índice de perfil promedio diario

Fecha de construcción:

Tramo ^[1]		Subtramo ^[2]		I_p cm/km		I_{p_c} cm/km		
del km	al km	del km	al km	Línea de tendido 1	Línea de tendido 2	Fecha de obtención	Línea de tendido 1	Línea de tendido 2
+	+	+	+					
		+	+					
		+	+					
		+	+					
+	+	+	+					
		+	+					
		+	+					
		+	+					
+	+	+	+					
		+	+					
		+	+					
		+	+					

$\bar{I}_p =$

I_p = Índice de perfil original del subtramo y línea de tendido correspondientes

\bar{I}_p = Índice de perfil promedio diario. Promedio aritmético de todos los I_p obtenidos en un mismo día, (cm/km)

I_{p_c} = Índice de perfil después de corregido el subtramo y línea de tendido correspondientes

[1] = Tramo de 1 km o fracción

[2] = Subtramo de 200 m o fracción

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-007/06

H.2.5. Corrección de la superficie de la carpeta de mezcla asfáltica

H.2.5.1. El Contratista de Obra realizará las correcciones de la superficie de la carpeta de mezcla asfáltica que se requieran para obtener el índice de perfil adecuado.

H.2.5.2. Después de obtenido el índice de perfil de cada línea de tendido en un subtramo de doscientos (200) metros, todas aquellas áreas en las que el perfilograma presente una desviación igual a un (1) centímetro o mayor, en siete coma cinco (7,5) metros o menos, serán corregidas mediante fresado. Concluida la corrección, se obtendrá nuevamente el índice de perfil del subtramo para verificar el cumplimiento de lo aquí estipulado.

H.2.5.3. Una vez realizadas las correcciones individuales de todas las desviaciones a que se refiere el Párrafo anterior, cualquier subtramo de doscientos (200) metros que presente un índice de perfil mayor de veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km) en cualquiera de sus líneas de tendido, será corregido mediante alguno de los procedimientos que se indican a continuación u otros que apruebe la Secretaría. En cualquier caso, concluida la corrección se determinarán nuevamente los índices de perfil de todas las líneas de tendido del subtramo para verificar el cumplimiento de lo aquí estipulado.

a) Fresado continuo de la superficie de la carpeta de mezcla asfáltica, en tramos no menores de cincuenta (50) metros y a todo el ancho de la corona en carreteras de dos (2) carriles, o en todos los carriles de un mismo sentido en carreteras con carriles múltiples, para reducir el índice de perfil a veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km) o menos. Sobre la superficie fresada, se colocará un tratamiento superficial aprobado por la Secretaría, con un espesor de dos (2) centímetros como mínimo, a menos que el proyecto establezca la construcción de una carpeta de granulometría abierta o semiabierta.

b) Colocación sobre la carpeta de mezcla asfáltica, de una sobrecarpeta de tres (3) centímetros de espesor

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N CTR CAR-1-04-007/06

como mínimo, en tramos no menores de cincuenta (50) metros y a todo el ancho de la corona en carreteras de dos (2) carriles, o en todos los carriles de un mismo sentido en carreteras con carriles múltiples, elaborada con la misma mezcla utilizada en la carpeta, que cumpla con todo lo indicado en esta Norma y tenga un índice de perfil de veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km) como máximo.

H.2.5.4. Cuando el índice de perfil de alguna línea de tendido de un subtramo de doscientos (200) metros esté entre catorce coma uno y veinticuatro centímetros por kilómetro (14,1 a 24 cm / km), el Contratista de Obra podrá elegir entre corregir la superficie terminada como se indica en el Párrafo H.2.5.3., o aceptar una sanción por incumplimiento de calidad, calculada con base en el precio unitario de la carpeta asfáltica, mediante el factor que se establece en la Cláusula J. de esta Norma.

H.2.5.5. Todos los trabajos de corrección serán por cuenta y costo del Contratista de Obra, y previamente a su ejecución, los procedimientos de corrección de la superficie de la carpeta serán sometidos a la aprobación de la Secretaría. No se permitirá efectuar trabajos de corrección con equipos de impacto que puedan dañar la estructura del pavimento, ni con resanes superficiales adheridos. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que se ocasionen por motivo de las correcciones, serán imputables al Contratista de Obra.

H.2.5.6. Todos los trabajos de corrección de la superficie de la carpeta, se efectuarán antes de que se verifiquen sus líneas, pendientes y espesores, como se indica en la Fracción H.3. de esta Norma, salvo que la corrección se realice mediante una sobrecarpeta, en cuyo caso la verificación de los espesores se hará antes de colocarla.

H.3. LÍNEAS, PENDIENTES Y ESPESORES

Que el alineamiento, perfil, sección y espesor de la carpeta, cumplan con lo establecido en el proyecto, con las tolerancias que se indican en esta Fracción, como sigue:

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-007/06

- H.3.1.** Previamente a la construcción de la carpeta, en las estaciones cerradas a cada veinte (20) metros, se nivelará la superficie de la capa inmediata inferior, obteniendo los niveles en el eje y en ambos lados de éste, en puntos ubicados a una distancia (B) igual al semiancho de la corona de la carpeta ($A/2$) menos setenta (70) centímetros, a la mitad del espacio comprendido entre éstos y el eje ($B/2$), y en las orillas de la carpeta, como se muestra en la Figura 1 de esta Norma, sin considerar las ampliaciones en curvas, ni los carriles de aceleración o desaceleración, las ampliaciones en paraderos o las cuñas de transición en entronques a nivel. Cuando existan estos elementos, en las mismas secciones a cada veinte (20) metros de los carriles principales, adicionalmente se nivelarán los puntos en sus orillas, para el posterior cálculo de las pendientes transversales, como se indica en el Inciso siguiente.

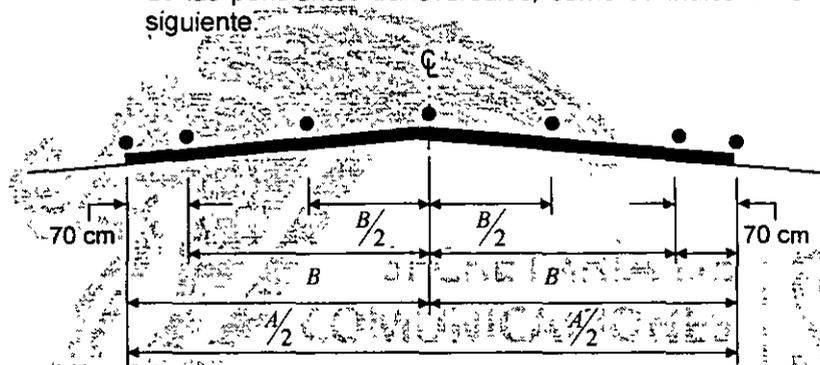


FIGURA 1.- Ubicación de los puntos por nivelar

- H.3.2.** Una vez compactada la carpeta, verificados sus índices de perfil y, en su caso, hechas las correcciones a que se refiere el Inciso H.2.5., se volverán a nivelar las mismas secciones que se indican en el Inciso H.3.1., determinando las elevaciones de los mismos puntos ahí indicados para obtener las pendientes transversales entre ellos, y se medirán, en cada sección, las distancias entre el eje y las orillas de la carpeta, para verificar que esas pendientes y distancias estén dentro de las tolerancias que se indican en la Tabla 2 de esta Norma.

TABLA 2.- Tolerancias para líneas y pendientes

Característica	Tolerancia
Ancho de la carpeta, del eje a la orilla	± 1 cm
Pendiente transversal	± 0,5%

H.3.3. Si para corregir la superficie de la carpeta se opta por colocar una sobrecarpeta como se señala en el Punto b) del Párrafo H.2.5.3. o por cualquier otro procedimiento aprobado por la Secretaría, que eleve esa superficie, antes de su ejecución se nivelarán las mismas secciones a que se refiere el Inciso H.3.1. de esta Norma, determinando las elevaciones de los mismos puntos ahí indicados para obtener los espesores de la carpeta antes de ser corregida.

H.3.4. Las nivelaciones se ejecutarán con nivel fijo y comprobación de vuelta, obteniendo los niveles con aproximación al milímetro. Las distancias horizontales se medirán con aproximación al centímetro.

H.3.5. A partir de las cotas obtenidas en las nivelaciones a que se refieren los Incisos H.3.1., H.3.2. y H.3.3. de esta Norma, según sea el caso, en todos los puntos nivelados se determinarán los espesores de la carpeta compactada, los que serán iguales al fijado en el proyecto o, para cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, cumplir con lo establecido en los Incisos H.3.6. y H.3.7. de esta Norma.

H.3.6. El espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, será igual a noventa y ocho centésimos (0,98) del espesor de proyecto o mayor:

$$\bar{e} \geq 0,98e$$

Donde:

e = Espesor de proyecto, (cm)

\bar{e} = Espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, (cm), obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}$$

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04 007/06

Donde:

e_i = Espesor obtenido en cada determinación, (cm)

n = Número de determinaciones hechas en el tramo

- H.3.7.** La desviación estándar de todos los espesores determinados en el tramo, será igual a diez centésimos (0,10) del espesor promedio o menor:

$$\sigma_e \leq 0,10\bar{e}$$

Donde:

σ_e = Desviación estándar correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, (cm), calculada con la siguiente fórmula:

$$\sigma_e = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}{n-1} \right)^{1/2}$$

\bar{e} , e_i y n tienen el significado indicado en el Inciso anterior.

H.4. RESISTENCIA A LA FRICCIÓN

- H.4.1.** Que la superficie de rodadura de la carpeta asfáltica compactada, haya tenido una resistencia a la fricción en condiciones de pavimento mojado, igual a seis décimas (0,6) o mayor, medida con el equipo *Mu-Meter*, a una velocidad de setenta y cinco (75) kilómetros por hora, por lo menos sobre la huella de la rodada externa de cada línea de tendido. El Contratista de Obra hará esta verificación conforme a la norma ASTM E 670. La prueba se hará sobre la superficie de rodadura compactada y, en su caso, corregida de acuerdo con lo indicado en el Inciso H.2.5. de esta Norma.

- H.4.2.** Cuando la resistencia a la fricción de una carpeta de mezcla asfáltica, sea menor de seis décimas (0,6) y el proyecto no establezca la construcción sobre ella de una carpeta de granulometría abierta o semiabierta, el Contratista de Obra, por su cuenta y costo, corregirá la superficie terminada mediante la colocación de una carpeta de un riego, conforme a lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1-04-008, *Carpetas por*

**CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS**

N CTR CAR-1-04-007/06

el Sistema de Riegos, en tramos no menores de cincuenta (50) metros y a todo el ancho de la corona en carreteras de dos (2) carriles, o en todos los carriles de un mismo sentido en carreteras con carriles múltiples. La corrección también podrá hacerse mediante alguno de los procedimientos indicados en los Puntos a) y b) del Párrafo H.2.5.3, en cuyo caso, una vez concluida, se determinarán nuevamente la resistencia a la fricción y los índices de perfil de todas las líneas de tendido del subtramo, para verificar el cumplimiento de lo estipulado tanto en el Inciso anterior como en la Fracción H.2. de esta Norma.

I. MEDICIÓN

Cuando la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en frío se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme a lo indicado en esta Norma, a satisfacción de la Secretaría, se medirá según lo señalado en la Cláusula E. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, para determinar el avance o la cantidad de trabajo realizado para efecto de pago, tomando como unidad el metro cúbico de carpeta terminada, según su tipo y para cada banco en particular, con aproximación a la unidad. El volumen de cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, se determinará mediante la siguiente fórmula:

$$V = L \times \bar{e} \times \bar{a}$$

Donde:

V = Volumen de la carpeta asfáltica de cada tramo de 1 km o fracción, (m³)

L = Longitud del tramo, (m)

\bar{e} = Espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, (m), obtenido como se indica en el Inciso H.3.6. de esta Norma.

\bar{a} = Ancho promedio de la carpeta asfáltica, obtenido con base en las distancias entre el eje y las orillas de la corona, determinadas en todas las secciones del tramo como se indica en el Inciso H.3.2. de esta Norma, (m).

La Secretaría medirá y pagará como máximo el volumen de la carpeta asfáltica que resulte del espesor de proyecto más un (1) centímetro por el ancho de proyecto más un (1) centímetro.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-007/06

Para el cálculo del volumen en el tramo medido se puede usar el formato que se muestra en la Tabla 3 de esta Norma.

TABLA 3.- Formato para el cálculo de los volúmenes, los estímulos o sanciones y los importes a pagar

Tramo ^[1]		L m	\bar{e} M	\bar{a} m	V m ³	PU \$	Importe \$ ^[2]	\bar{F}	E \$	
del km	al km									
+	+									
+	+									
+	+									
+	+									
+	+									
Sumas =							\$		\$	
Importe total =							\$		\$	

L = Longitud del tramo correspondiente

\bar{e} = Espesor promedio del tramo correspondiente (espesor de proyecto más 1 cm como máximo)

\bar{a} = Ancho promedio del tramo correspondiente (ancho de proyecto más 1 cm como máximo)

V = Volumen del tramo correspondiente ($V = L \times \bar{e} \times \bar{a}$)

PU = Precio unitario de la carpeta

\bar{F} = Factor promedio de estímulo o sanción del tramo correspondiente, obtenido de la Tabla 5

E = Estímulo o sanción del tramo correspondiente ($E = V \times PU \times \bar{F}$)

[1] = Tramo de 1 km o fracción

[2] = Importe de la carpeta (Importe = $V \times PU$)

J. BASE DE PAGO

Cuando la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en frío se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea medida de acuerdo con lo indicado en la Cláusula I. de esta Norma, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cúbico de carpeta terminada en cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, según su tipo y para cada banco en particular. Estos precios unitarios, conforme a lo indicado en la Cláusula F. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, incluyen lo que corresponda por:

- Valor de adquisición o producción de los materiales asfálticos para la carpeta y para el riego de liga, así como de los aditivos que se requieran. Limpieza del tanque en que se transporten, movimientos en la planta de producción y en el lugar de destino, carga al equipo de transporte, transporte al lugar de almacenamiento, descarga en el depósito, cargo por almacenamiento y todas las operaciones de calentamiento y bombeo requeridas.

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-007/06

- Desmonte y despalle de los bancos; extracción del material pétreo aprovechable y del desperdicio, cualesquiera que sean sus clasificaciones; cribados y desperdicios de los cribados; trituración parcial o total; lavado o eliminación del polvo superficial adherido a los materiales; cargas, descargas y todos los acarrees de los materiales y de los desperdicios; formación de los almacenamientos y clasificación de los materiales pétreos separándolos por tamaños.
- Instalación, alimentación y desmantelamiento de las plantas.
- Dosificación y mezclado de los materiales pétreos, asfálticos y aditivos.
- Barrido y limpieza de la superficie sobre la que se construirá la carpeta.
- Aplicación del riego de liga según lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1-04-005, *Riegos de Liga*.
- Cargas en la planta de la mezcla asfáltica al equipo de transporte o carga de los materiales a la mezcladora/extendora para la elaboración del mortero asfáltico, y transporte al lugar de tendido.
- Tendido y compactación de la mezcla asfáltica o tendido del mortero asfáltico.
- Los tiempos de los vehículos empleados en los transportes de todos los materiales durante las cargas y las descargas.
- La conservación de la carpeta asfáltica hasta que sea recibida por la Secretaría.
- Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

Quando procedan estímulos por mejoramiento de calidad o sanciones por incumplimiento de calidad, de acuerdo con los índices de perfil de la carpeta asfáltica, que se obtengan según se señala en la Fracción H.2., se pagará al Contratista de Obra una bonificación o se le hará una deducción, según corresponda, calculada para cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, medido como se indica en la Cláusula I. de esta Norma, mediante la siguiente fórmula:

$$E = V \times PU \times \bar{F}$$

Donde:

- E = Estímulo por pagar como bonificación cuando resulta positivo o sanción aplicada como deducción cuando resulta negativo, para cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, (\$)
- V = Volumen de la carpeta asfáltica del tramo, (m³)

NORMAS

N-CTR CAR-1-04-007/06

PU = Precio unitario de la carpeta asfáltica fijado en el contrato, ($\$/m^3$)

\bar{F} = Factor promedio de estímulo o sanción del tramo. Promedio aritmético de los factores de estímulo o sanción (F_j) para cada subtramo de doscientos (200) metros en cada línea de tendido, tomados de la Tabla 4 de esta Norma, (adimensional)

Para calcular el factor promedio de estímulo o sanción (\bar{F}) se puede utilizar el formato que se muestra en la Tabla 5, en el que, para cada línea de tendido y subtramo, se anota el factor de estímulo o sanción (F_j) tomado de la Tabla 4, de acuerdo con el índice de perfil (I_p) obtenido de la Tabla 1 y se calcula el promedio aritmético de todos los factores de estímulo o sanción (F_j) de cada tramo, que se anota en la última columna del formato, en el cuadro correspondiente. Para subtramos que hayan sido corregidos como se indica en el Inciso H.2.5. de esta Norma, el factor de estímulo o sanción (F_j) correspondiente se determina con base en el índice de perfil (I_{pc}) logrado después de la corrección. Si el tramo tiene más de dos (2) líneas de tendido, al formato se le agregan las columnas que sean necesarias para completar el número de líneas de tendido.

TABLA 4.- Factores de estímulo o sanción, según el índice de perfil

Índice de perfil * cm / km	Factores de estímulo o sanción (F_j)	
4,0 o menos	Estímulo	+ 0,05
4,1 a 5,5		+ 0,04
5,6 a 7,0		+ 0,03
7,1 a 8,5		+ 0,02
8,6 a 10,0		+ 0,01
10,1 a 14,0	0	
14,1 a 16,0	Sanción	- 0,02
16,1 a 18,0		- 0,04
18,1 a 20,0		- 0,06
20,1 a 22,0		- 0,08
22,1 a 24,0		- 0,10
Mayor de 24,0	CORREGIR	

* Para cada tramo de 200 m o fracción en cada línea de tendido

Asimismo, para calcular el estímulo o la sanción (E) de cada tramo, se puede usar la Tabla 3, en la que se anotan los factores promedio de estímulo o sanción (\bar{F}) correspondientes, calculados en la Tabla 5 de esta Norma.

**CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS**

N-CTR-CAR-1-04-007/06

TABLA 5.- Formato para el cálculo del factor promedio de estímulo o sanción de cada tramo

Mes: Año:

Tramo ^[1]		Subtramo ^[2]		Línea de tendido 1			Línea de tendido 2			\bar{F}
del km	al km	del km	al km	Día ^[3]	I_p cm/km	F_j	Día ^[3]	I_p cm/km	F_j	
+ -	+ -	+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							
+ -	+ -	+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							
+ -	+ -	+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							

I_p = Índice de perfil del subtramo y línea de tendido correspondientes, obtenido de la Tabla 1.
Para subtramos que hayan sido corregidos como se indica en el inciso H 2.5. de esta Norma, se utiliza el índice de perfil (I_{p_c}) logrado después de la corrección

F_j = Factor de estímulo o sanción para el subtramo y línea de tendido correspondientes, obtenido de la Tabla 4

\bar{F} = Factor promedio de estímulo o sanción. Promedio aritmético de los F_j del tramo correspondiente

[1] = Tramo de 1 km o fracción

[2] = Subtramo de 200 m o fracción

[3] = Día en el que se construyó la carpeta

K. ESTIMACIÓN Y PAGO

La estimación y pago de las carpetas asfálticas con mezcla en frío, se efectuará de acuerdo con lo señalado en la Cláusula G. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*.

L. RECEPCIÓN DE LA OBRA

Una vez concluida la construcción de la carpeta asfáltica con mezcla en frío, la Secretaría la aprobará y al término de la obra, cuando la carretera sea operable, la recibirá conforme a lo señalado en la Cláusula H. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, aplicando en su caso, las sanciones a que se refiere la Cláusula I. de la misma Norma.

LIBRO: CTR. CONSTRUCCIÓN

TEMA: CAR. Carreteras

PARTE: 1. CONCEPTOS DE OBRA

TÍTULO: 04. Pavimentos

CAPÍTULO: 008. Carpetas por el Sistema de Riegos

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los aspectos a considerar en la construcción de carpetas por el sistema de riegos para carreteras y autopistas.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Las carpetas por el sistema de riegos son las que se construyen mediante la aplicación de uno o dos riegos de un material asfáltico, intercalados con una, dos o tres capas sucesivas de material pétreo triturado de una composición granulométrica determinada, con el objeto de hacer resistente al derrapamiento y proteger contra el desgaste la superficie de rodamiento.

Las carpetas por el sistema de riegos se clasifican en carpetas de uno, de dos y de tres riegos. Las carpetas de un riego o la última capa de las carpetas de dos o tres riegos, pueden ser premezcladas o no.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las últimas versiones de las siguientes:

NORMAS	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras	N-LEG-3
Materiales Pétreos para Carpetas y Mezclas Asfálticas	N-CMT-4-04

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-008/00

Calidad de Materiales Asfálticos N-CMT-4-05-001

Riegos de Impregnación N-CTR-CAR-1-04-004

D. MATERIALES

D.1. Los materiales que se utilicen en la elaboración de carpetas por el sistema de riegos, serán del tipo y con las características establecidas en el proyecto. Además, los materiales pétreos procederán de los bancos indicados en el proyecto o aprobados por la Secretaría.

D.2. No se aceptará el suministro y colocación de materiales que no cumplan con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, ni aun en el supuesto de que serán mejorados posteriormente en el lugar de trabajo por el Contratista de Obra.

D.3. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la misma, se suspenderá inmediatamente el trabajo hasta que el Contratista de Obra las corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E. EQUIPO

El equipo que se utilice para la construcción de carpetas por el sistema de riegos, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, y conforme con el programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del Contratista de Obra su selección. Dicho equipo debe estar y ser mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y ser operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo hasta que el Contratista de Obra corrija las deficiencias o lo reemplace con el equipo adecuado. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04 008/00

En la selección del equipo el Contratista de Obra considerará lo siguiente:

E.1. ASPERSORES

Los aspersores serán capaces de establecer a una temperatura constante, un flujo uniforme del material asfáltico sobre la superficie por regar, en anchos variables y en dosificaciones controladas. Estarán adosados a barras de circulación que puedan ajustarse vertical y lateralmente, y equipados con medidores de presión, dispositivos adecuados para la medición del volumen aplicado, termómetro para medir la temperatura del material asfáltico dentro del tanque y bomba. El vehículo en que se monten, ya sea una petrolizadora u otro equipo autopropulsable, contará con un odómetro para medir la longitud del tramo que se riegue.

E.2. ESPARCIDORES

El Contratista de Obra contará con el número suficiente de esparcidores para cubrir de inmediato, con los materiales pétreos, todo el riego de material asfáltico recién aplicado. Pueden ser mecánicos autopropulsados, remolcados por camión o bien del tipo de compuerta colocada en la tapa de la caja de los camiones de volteo, que garanticen la aplicación uniforme y en la cantidad adecuada de los materiales pétreos. Estos esparcidores serán calibrados y operados de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

E.3. COMPACTADORES

Los compactadores serán ligeros, autopropulsados, reversibles y provistos de petos limpiadores para evitar que el material pétreo se adhiera a los rodillos. Pueden ser de tres (3) rodillos metálicos en dos (2) ejes, o de dos (2) o tres (3) ejes con rodillos en tandem con diámetro mínimo de un (1) metro (40").

E.4. BARREDORAS MECÁNICAS

Las barredoras mecánicas que se utilicen para la limpieza de las superficies tendrán una escoba rotatoria autopropulsada.

F. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

El transporte y el almacenamiento de todos los materiales son responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra y los realizará de tal forma que no sufran alteraciones que pudieran ocasionar deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en las Normas N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Carpetas y Mezclas Asfálticas* y N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, y sujetándose, en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

G. EJECUCIÓN

Además de lo señalado en la Cláusula D. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, para la construcción de carpetas por el sistema de riegos se tiene que considerar lo siguiente:

G.1. DOSIFICACIÓN DE MATERIALES

G.1.1. La dosificación de los materiales asfálticos y pétreos que se empleen en la elaboración de la carpeta por el sistema de riegos, se efectuará según lo establecido en el proyecto o lo indicado por la Secretaría.

G.1.2. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, las dosificaciones de los distintos tipos de materiales pétreos y/o del material asfáltico, utilizados en la elaboración de la carpeta por el sistema de riegos, difieren de las establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, se suspenderá inmediatamente el trabajo hasta que el Contratista de Obra las corrija por su cuenta y costo.

G.2. CONDICIONES CLIMÁTICAS

Los trabajos serán suspendidos en el momento en que se presenten situaciones climáticas adversas y no se reanudarán mientras éstas no sean las adecuadas, considerando que no se construirán carpetas por el sistema de riegos en las siguientes condiciones:

G.2.1. Sobre superficies con agua libre o encharcadas.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-008/00

- G.2.2. Cuando exista amenaza de lluvia o esté lloviendo.
- G.2.3. Cuando la velocidad del viento impida que la aplicación del material asfáltico sea uniforme.
- G.2.4. Cuando la temperatura de la superficie sobre la cual serán construidas esté por debajo de los quince (15) grados Celsius.
- G.2.5. Cuando la temperatura ambiente esté por debajo de los quince (15) grados Celsius y su tendencia sea a la baja. Sin embargo, pueden ser construidas cuando la temperatura ambiente esté por arriba de los diez (10) grados Celsius y su tendencia sea al alza. La temperatura ambiente será tomada a la sombra lejos de cualquier fuente de calor artificial.

G.3. TRABAJOS PREVIOS

- G.3.1. Inmediatamente antes de la construcción de la carpeta por el sistema de riegos, la superficie sobre la que se colocará deberá estar debidamente preparada, exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos de material asfáltico, sin irregularidades y reparados los baches que hubieran existido. No se permitirá su construcción sobre tramos que no hayan sido previamente aceptados por la Secretaría. Cuando se construya sobre una base, ésta debe estar impregnada de acuerdo con lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1-04-004, *Riegos de Impregnación*. Es responsabilidad del Contratista de Obra la protección o reparación del riego de impregnación en el lapso entre su aplicación y el inicio de la construcción de la carpeta.
- G.3.2. Previamente a la construcción de la carpeta por el sistema de riegos, las estructuras de la carretera o contiguas, tales como banquetas, guarniciones, camellones, parapetos, postes, pilas, estribos, caballetes y barreras separadoras, entre otras, que pudieran mancharse directa o indirectamente durante la aplicación del material asfáltico, se protegerán con papel u otro material similar, de manera que concluido el trabajo y una vez retirada la protección, se encuentren en las mismas condiciones de limpieza en que se hallaban.

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-008/00

- G.3.3.** Cuando se utilicen emulsiones asfálticas, para retrasar su rompimiento y mejorar la absorción de la superficie, ocasionalmente es necesario un riego de agua antes del riego del material asfáltico, sin embargo, este último no se iniciará sino hasta que el agua superficial se haya evaporado lo suficiente para que no existan encharcamientos.

G.4. APLICACIÓN DEL MATERIAL ASFÁLTICO

El material asfáltico, del tipo y con la dosificación establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría, debe ser aplicado uniformemente sobre la superficie por cubrir, tomando en cuenta lo siguiente:

- G.4.1.** En las juntas transversales, antes de iniciar un nuevo riego, se colocarán tiras de papel u otro material similar para proteger el riego existente, de tal manera que el nuevo riego se inicie desde dicha tira y al retirarse ésta, no quede un traslape de material asfáltico.
- G.4.2.** Se ajustará la altura de la barra de los aspersores para aplicar el material asfáltico uniformemente, con la dosificación establecida en el proyecto, de manera que la base del abanico que se forma al salir el material por un aspersor, cubra hasta la mitad de la base del abanico del aspersor contiguo (*cubrimiento doble*), o que la base del abanico de un aspersor cubra las dos terceras ($2/3$) partes de la base del abanico del aspersor contiguo (*cubrimiento triple*), como se muestra en la Figura 1 de esta Norma.
- G.4.3.** La aplicación del material asfáltico en una franja contigua a otra en la que previamente se haya construido la carpeta por el sistema de riegos, se hará de tal manera que el nuevo riego de material asfáltico se traslape con el de la franja anterior, en un medio ($1/2$) o dos tercios ($2/3$) del ancho de la base del abanico del aspersor extremo de la barra, según se trate de cubrimiento doble o triple, como se muestra en la Figura 1 de esta Norma, con el propósito de que la dosificación del producto asfáltico en la orilla de la franja precedente sea la indicada en el proyecto. No se permitirá que el nuevo riego cubra de material asfáltico y se traslape con los materiales pétreos de la franja contigua.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-008/00

- G.4.4.** Antes del tendido del material pétreo, el exceso del material asfáltico aplicado será removido de la superficie. Las deficiencias que por esta causa se presenten, deben ser corregidas por cuenta y costo del Contratista de Obra.

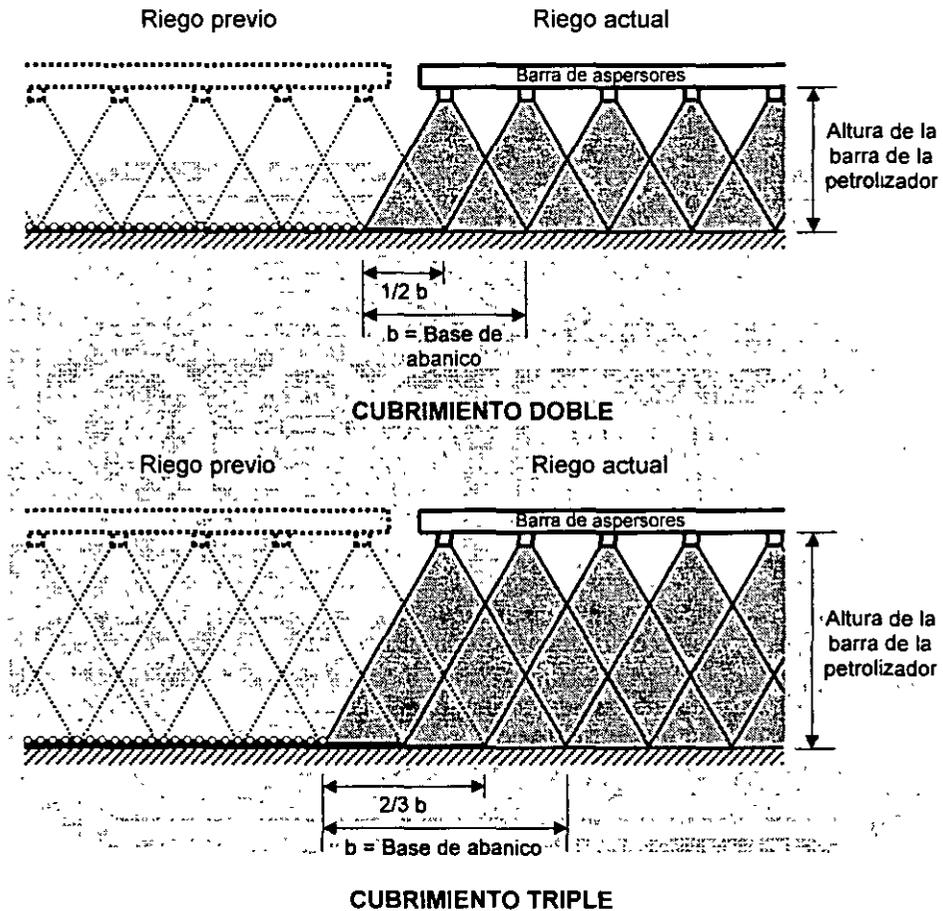


FIGURA 1.- Aplicación del material asfáltico

- G.4.5.** La cantidad, temperatura, ancho y longitud de aplicación del material asfáltico son responsabilidad del Contratista de Obra, tomando en cuenta que no se aplicará en tramos mayores de los que puedan ser cubiertos de inmediato con material pétreo.

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1 04-008/00

- G.4.6.** Cuando se trate de una carpeta de un riego o de la última capa de las carpetas de dos o tres riegos, que sea premezclada, el riego de material asfáltico se hará con una dosificación igual a la mitad de la establecida en el proyecto y la otra mitad será premezclada con el material pétreo.

G.5. TENDIDO DEL MATERIAL PÉTREO

De ser necesario, el día anterior al tendido o al premezclado del material pétreo, éste se puede lavar para eliminar o reducir el polvo que lo cubre y mejorar sus características de adhesión.

Para el tendido del material pétreo, solo o premezclado, se tomará en cuenta lo siguiente:

G.5.1. Carpetas de uno o dos riegos

G.5.1.1. Inmediatamente después de la aplicación del material asfáltico y sólo sobre la superficie regada con la dosificación correcta, se tenderá mecánicamente el material pétreo, del tipo y con la dosificación establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría, formando una capa de espesor uniforme y adicionando material o retirando el excedente, según sea el caso, para lograr la uniformidad adecuada. En zonas no accesibles para los esparcidores mecánicos se hará el tendido manualmente. Enseguida se pasará una rastra ligera con cepillo, para tener una mejor distribución del material y dejar la superficie exenta de ondulaciones, bordos y depresiones, y se planchará como se indica en la Fracción G.6. de esta Norma.

G.5.1.2. En su caso, en la aplicación del último riego, se atenderán los criterios señalados en la Fracción G.4. y en el Párrafo G.5.1.1. de esta Norma. Entre la aplicación del último riego de material asfáltico y la terminación de la capa correspondiente al material pétreo del riego precedente, es conveniente un lapso no menor de cuatro (4) días.

G.5.1.3. En ningún caso se aceptarán traslapes excesivos, zonas rayadas o no cubiertas. Cuando a juicio de la Secretaría la aplicación de los materiales pétreos no sea la adecuada, se suspenderá inmediatamente el trabajo

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04 008/00

hasta que el Contratista de Obra realice los ajustes necesarios para obtener una superficie con la calidad y acabados establecidos en el proyecto. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

G.5.2. Carpetas de tres riegos

G.5.2.1. Sobre la superficie preparada a que se refiere el Inciso G.3.1. de esta Norma, se tenderá mecánicamente el material pétreo del primer riego, del tipo y con la dosificación establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría, formando una capa de espesor uniforme y adicionando material o retirando el excedente, según sea el caso, para lograr la uniformidad adecuada. En zonas no accesibles para los esparcidores mecánicos se hará el tendido manualmente. Enseguida se pasará una rastra ligera con cepillo, para tener una mejor distribución del material y dejar la superficie exenta de ondulaciones, bordos y depresiones.

G.5.2.2. Inmediatamente después de tendido y rastreado el material pétreo del primer riego, se cubrirá con el material asfáltico conforme a lo indicado en la Fracción G.4. de esta Norma, cuidando que todo el ancho de la franja de material pétreo sea cubierto con la dosificación correcta de material asfáltico, sin excederse más allá de la mitad de la base del abanico del aspersor, de la orilla interior de la capa de material pétreo. Este riego se cubrirá inmediatamente con la segunda capa de material pétreo, como se indica en el siguiente Párrafo.

G.5.2.3. En el tendido de los materiales pétreos de los riegos subsecuentes, se atenderán los criterios señalados en el Inciso G.5.1. de esta Norma.

G.6. PLANCHADO DEL MATERIAL PÉTREO

Inmediatamente después de tendido y rastreado el material pétreo de carpetas de uno o dos riegos, como se indica en el Inciso G.5.1. de esta Norma, y con el propósito de que quede embebido en el material asfáltico, se acomodará mediante un planchado con un compactador ligero de rodillos metálicos, que se ejecute

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-008/00

longitudinalmente, de las orillas de la carpeta hacia su centro en las tangentes y en las curvas, de su lado interior al exterior, efectuando un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada, siempre a una velocidad lo suficientemente lenta para prevenir que se desplace o levante el material pétreo y evitando su deterioro o trituración por exceso de pasadas o por el uso de compactadores demasiado pesados. El planchado se completará el mismo día de la aplicación del material pétreo, terminándolo cuando haya roto la emulsión asfáltica o fraguado el asfalto rebajado. En el caso de las carpetas de tres riegos se procederá de la misma manera, con la excepción de que el primer planchado se ejecutará una vez que, sobre la primera capa de material pétreo, se hayan aplicado el primer riego de material asfáltico y la segunda capa de material pétreo.

G.7. TERMINADO

Una vez concluido el planchado de la última capa de la carpeta por el sistema de riegos y transcurrido un tiempo no menor de tres (3) días, durante el cual la carpeta estará cerrada a todo tipo de tránsito, o cuando la Secretaría juzgue que el material asfáltico tiene la consistencia adecuada que evite el desprendimiento excesivo del material pétreo, todo el material que no se haya adherido se recolectará dejando la superficie libre de material suelto, depositándolo en la forma y en el sitio indicados en el proyecto, donde quedará a disposición de la Secretaría.

G.8. CONSERVACIÓN DE LOS TRABAJOS

Es responsabilidad del Contratista de Obra la conservación de la carpeta por el sistema de riegos hasta que haya sido recibida por la Secretaría, considerando que solo se podrá recibir hasta que estén terminados todos los riegos parciales que integren la carpeta.

H. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

Además de lo establecido anteriormente en esta Norma, para que una carpeta por el sistema de riegos sea aceptada por la Secretaría, se verificará que:

- H.1.** Las dosificaciones de los diferentes materiales empleados correspondan a las indicadas en el proyecto o a las que haya aprobado la Secretaría.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-008/00

- H.2. El acabado final de la superficie de rodamiento no presente deformaciones, afloramiento del material asfáltico, pérdida sensible de material pétreo o cualquier defecto que, a juicio de la Secretaría, afecte la calidad y/o buen comportamiento de las carpetas construidas por este método.
- H.3. El ancho de la carpeta sea el establecido en el proyecto, con una tolerancia del eje a la orilla de más menos cinco (± 5) centímetros.

I. MEDICIÓN

Cuando la construcción de carpetas por el sistema de riegos se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sean ejecutadas conforme a lo indicado en esta Norma, a satisfacción de la Secretaría, se medirán según lo señalado en la Cláusula E. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, para determinar el avance o la cantidad de trabajo realizado para efecto de pago, tomando como unidad el metro cuadrado de carpeta construida según su tipo, con aproximación a la unidad y para cada banco de material pétreo en particular.

J. BASE DE PAGO

Cuando la construcción de carpetas por el sistema de riegos se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sean medidas de acuerdo con lo indicado en la Cláusula I. de esta Norma, se pagarán, según su tipo y para cada banco en particular, al precio fijado en el contrato para el metro cuadrado. Estos precios unitarios, conforme con lo indicado en la Cláusula F. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, incluyen lo que corresponda por: valor de adquisición o producción del material asfáltico, limpieza del tanque en que se transporte, movimientos en la planta de producción y en el lugar de destino, carga al equipo de transporte, transporte al lugar de almacenamiento, descarga en el depósito, cargo por almacenamiento y todas las operaciones de calentamiento y bombeo requeridas; desmonte y despalme de los bancos, extracción del material pétreo aprovechable y del desperdicio, cualesquiera que sean sus clasificaciones, instalación y desmantelamiento de la planta, alimentación de la planta, cribados y desperdicios de los cribados, trituración total, lavado o eliminación del polvo superficial adherido a los materiales, cargas, descargas y todos los acarreos locales necesarios para los tratamientos así como de los desperdicios y formación de los

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-008/00

almacenamientos; barrido y limpieza de la superficie sobre la que se construirá la carpeta; protección de las estructuras o parte de ellas, precauciones para no mancharlas con el material asfáltico y para evitar traslapes excesivos; cargas en el depósito del material asfáltico y en los almacenamientos de los materiales pétreos al equipo de transporte y acarreo al lugar de utilización y/o riego; aplicaciones del material asfáltico en la forma que fije el proyecto y, en su caso, su premezclado con el material pétreo; tendido y planchado de los materiales pétreos; rastreos; recolección, remoción, depósito en la forma y en el sitio indicados en el proyecto, del material pétreo excedente; los tiempos de los vehículos empleados en los transportes y riego de todos los materiales durante las cargas y las descargas; y todo lo necesario para la correcta ejecución del concepto:

K. ESTIMACIÓN Y PAGO

La estimación y pago de las carpetas construidas por el sistema de riegos, se efectuará de acuerdo con lo señalado en la Cláusula G. de la Norma N-LEG-3; *Ejecución de Obras*.

L. RECEPCIÓN DE LA OBRA

Una vez concluida la construcción de la carpeta, la Secretaría la recibirá conforme con lo señalado en la Cláusula H. de la Norma N-LEG-3; *Ejecución de Obras*, aplicando en su caso, las sanciones a que se refiere la Cláusula I. de la misma Norma.

LIBRO: CTR. CONSTRUCCIÓN
TEMA: CAR. Carreteras
PARTE: 1. CONCEPTOS DE OBRA
TÍTULO: 04. Pavimentos
CAPÍTULO: 009. Carpetas de Concreto Hidráulico

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los aspectos por considerar en la construcción de carpetas de concreto hidráulico para pavimentos de carreteras de nueva construcción.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Las carpetas de concreto hidráulico son las que se construyen mediante la colocación de una mezcla de agregados pétreos, cemento Portland y agua, para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Tienen además la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento.

Las carpetas de concreto hidráulico pueden construirse con base en:

B.1. LOSAS DE CONCRETO HIDRÁULICO CON JUNTAS

Son aquellas que se construyen mediante el colado de concreto hidráulico con juntas longitudinales y transversales, con o sin pasajuntas, para formar elementos rectangulares.

B.2. LOSAS DE CONCRETO HIDRÁULICO CON REFUERZO CONTINUO

Son aquellas que se construyen mediante el colado de concreto hidráulico sin juntas transversales y con acero de refuerzo

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR CAR.1 04-009/06

colocado longitudinalmente en forma continua con el objeto de resistir los esfuerzos de tensión, y asegurar que las grietas que se produzcan queden totalmente cerradas.

B.3. LOSAS DE CONCRETO PRESFORZADO

Son aquellas que se construyen con secciones de concreto hidráulico sujetas a compresión, mediante un sistema de presfuerzo, con relativamente pocas juntas transversales.

C. REFERENCIAS

Son referencias de esta Norma, la norma E.670 *Standard Test for Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter*, publicada por la *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, así como las Normas aplicables del Título 06. *Materiales para Losas de Concreto Hidráulico*, de la Parte 4. *Materiales para Pavimentos*, del Libro CMT. *Características de los Materiales*.

Además, esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Ejecución de Obras	SECRETARÍA LEG-3
Riegos de Impregnación	N-CTR-CAR-1-04-004
Criterios Estadísticos de Muestreo	M-CAL-1-02
Índice de Perfil	M-MMP-4-07-002

D. MATERIALES

D.1. Los materiales que se utilicen en la construcción de carpetas de concreto hidráulico, cumplirán con lo establecido en las Normas aplicables del Título 06. *Materiales para Losas de Concreto Hidráulico*, de la Parte 4. *Materiales para Pavimentos*, del Libro CMT. *Características de los Materiales*, salvo que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría. Los agregados pétreos procederán de los bancos indicados en el proyecto o aprobados por la Secretaría.

D.2. Si dados los requerimientos de la obra, es necesario modificar las características del concreto hidráulico, utilizando aditivos, éstos estarán establecidos en el proyecto o serán aprobados por la Secretaría. Si el Contratista de Obra propone la utilización de

NORMAS

N-CTR CAR-1-04-009/06

aditivos, lo hará mediante un estudio técnico que los justifique, sometiéndolo a la Secretaría para su análisis y aprobación. Dicho estudio ha de contener como mínimo, las especificaciones y los resultados de las pruebas de calidad, así como los procedimientos para el manejo, uso y aplicación de los aditivos.

- D.3.** No se aceptará el suministro y utilización de materiales que no cumplan con lo indicado en la Fracción D.1. de esta Norma, ni aun en el supuesto de que serán mejorados posteriormente en el lugar de su utilización por el Contratista de Obra.
- D.4.** Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas como se indica en la Fracción D.1. de esta Norma, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra las corrija o los remplace por otros adecuados, por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por éste motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E. EQUIPO

El equipo que se utilice para la construcción de carpetas de concreto hidráulico, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, conforme con el programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del Contratista de Obra su selección. Dicho equipo será mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y será operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra corrija las deficiencias, lo remplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E.1. PLANTA DE MEZCLADO

Contará como mínimo con:

- E.1.1.** Tolvas o silos para almacenar los agregados pétreos y el cemento Portland, protegidos de la lluvia y el polvo, con capacidad suficiente para asegurar la operación continua de

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

la planta por lo menos quince (15) minutos sin ser alimentadas, y divididas en compartimentos para almacenar los agregados pétreos por tamaños.

- E.1.2.** Dispositivos para dosificar los agregados pétreos por masa, con una aproximación de más menos uno (± 1) por ciento de la masa acumulada, o en más menos dos (± 2) por ciento de la masa individual de cada fracción, y sólo en casos excepcionales, cuando así lo apruebe la Secretaría, por volumen y que permitan un fácil ajuste de la mezcla en cualquier momento, para poder obtener la granulometría que indique el proyecto.
- E.1.3.** Dispositivos para dosificar el cemento Pórtland por masa, con una aproximación de más menos uno (± 1) por ciento de la cantidad requerida según el proporcionamiento.
- E.1.4.** Dispositivos para dosificar el agua, con una aproximación de más menos uno (± 1) por ciento de la cantidad requerida, y los aditivos con una aproximación de más menos tres (± 3) por ciento de la cantidad necesaria según el proporcionamiento. En el caso del agua y los aditivos líquidos, éstos pueden medirse por volumen con una precisión aceptable.
- E.1.5.** Cámara mezcladora equipada con un dispositivo para el control del tiempo de mezclado.
- E.1.6.** Un dispositivo de suma acumulada, sin restitución, para contar correctamente el número de bachas producidas durante su operación.

E.2. EXTENDEDORAS DE CONCRETO

Autopropulsadas, con la suficiente potencia y tracción para esparcir uniformemente en espesor y pendiente el concreto hidráulico sin desplazarlo, ya sea mediante una cuchilla oscilante o bien un transportador de banda o tornillo.

E.3. PAVIMENTADORAS

- E.3.1.** Autopropulsadas de cimbra deslizante, capaces de extender, vibrar, enrasar y terminar el concreto hidráulico colocado en una sola pasada, sin la necesidad de acabado manual, de tal

NORMAS

N CTR-CAR-1-04-009/06

manera que se obtenga una losa de concreto hidráulico uniforme que cumpla con las especificaciones del proyecto. Estarán equipadas con sensores de control automático de niveles para la línea guía de pavimentación y la pendiente, y tendrán la capacidad de insertar en forma automática las barras de amarre en las juntas longitudinales.

Los dispositivos externos que se utilicen como referencia de nivel para los sensores, estarán colocados en zonas limpias de piedras, basura o cualquier otra obstrucción que pudiera afectar las lecturas. Si durante la ejecución de los trabajos, los controles automáticos operan deficientemente, la Secretaría, a su juicio, podrá permitir al Contratista de Obra terminar el colado del día, mediante el uso del control manual de la pavimentadora; sin embargo, el colado se podrá reiniciar sólo cuando los controles automáticos funcionen adecuadamente.

E.3.2. Las pavimentadoras para la construcción de losas de concreto presforzado contarán con:

- Bandas para transportar el concreto fresco desde los camiones situados a un costado de la pavimentadora hasta el frente de ésta sin interferir con los tendones de presfuerzo.
- Sistema de vibradores de inmersión y de alta frecuencia colocados a la mitad de la separación entre los tendones longitudinales, provisto de un mecanismo para sumergir los vibradores y extraerlos en las intersecciones con los tendones transversales y en los extremos de las losas.

E.4. VIBRADORES

E.4.1. Vibradores de inmersión fijos

Los vibradores de inmersión fijos que formen parte de la pavimentadora, estarán espaciados a no más de sesenta (60) centímetros y equipados con unidades sincronizadas de vibración con una frecuencia en el aire no menor de ocho mil (8 000) ciclos por minuto, con el objeto de proporcionar una consolidación uniforme en el ancho y espesor total de la losa de concreto.

E.4.2. Vibradores de inmersión manuales

En zonas de juntas o de difícil acceso para los vibradores fijos, se pueden utilizar vibradores de inmersión manuales, con la capacidad suficiente para consolidar la losa en todo su espesor. Estos vibradores serán lo suficientemente rígidos para asegurar el control de la posición de operación de la cabeza de vibrado.

E.4.3. Vibradores superficiales

Los vibradores superficiales que se coloquen directamente sobre la superficie de la losa, tendrán una frecuencia de operación de tres mil quinientos a cuatro mil doscientos (3 500 a 4 200) ciclos en el aire.

E.5. RASTRA DE TEXTURIZADO

De tela de yute o de algodón, sin costuras y de dos (2) capas, la inferior de aproximadamente quince (15) centímetros más ancha que la superior. Humedecida para llevar a cabo el texturizado longitudinal, de manera que se produzca una superficie uniforme de textura abrasiva, a todo lo ancho del pavimento.

Para pavimentos con un ancho mayor de cinco (5) metros, la rastra estará montada en un puente que pueda deslizarse sobre la cimbra o bien como parte integral del equipo de texturizado.

Las dimensiones de la rastra serán tales que proporcione una franja de contacto de cuando menos un (1) metro de ancho sobre la superficie del pavimento.

E.6. TEXTURIZADORA

Operada de manera independiente a la pavimentadora y al equipo de curado. Contará con un dispositivo mecánico equipado con dientes de acero de cien (100) a ciento cincuenta (150) milímetros de longitud, con sección transversal de uno (1) por dos (2) milímetros aproximadamente, espaciados aleatoriamente entre veinte (20) y treinta (30) milímetros centro a centro y ajustable para formar pequeños surcos de tres (3) milímetros de profundidad, como mínimo, transversales al eje de la carretera.

E.7. EQUIPO DE CURADO

Diseñado para asegurar una aplicación uniforme de la membrana de curado sobre la carpeta de concreto. Contará con un tanque de almacenamiento dotado de un dispositivo interior de agitación para mantener el producto de curado completamente mezclado durante el proceso. La aplicación de la membrana de curado se realizará mediante el uso de rociadores mecánicamente operados a presión, equipados con boquillas que cuenten con un dispositivo tipo escudo o capuchón para evitar la desviación del rocío por efectos del viento.

E.8. EQUIPO DE CORTE

Con disco abrasivo o de diamante, del tamaño, la potencia y la capacidad que se requieran para formar las juntas mediante cortes con la profundidad mínima establecida en el proyecto.

E.9. UNIDADES DE AGUA A PRESIÓN

Provistas de boquillas capaces de producir una presión mínima de catorce (14) megapascuales ($\pm 143 \text{ kg/cm}^2$ aprox.).

E.10. COMPRESORES DE AIRE

Capaces de producir una presión mínima de seiscientos veinte (620) kilopascuales ($\pm 6 \text{ kg/cm}^2$ aprox.) provistos con los dispositivos necesarios para evitar la contaminación del aire con agua o aceite.

E.11. DISPOSITIVOS PARA LA COLOCACIÓN DE MATERIAL DE RELLENO PREFORMADO

Capaces de colocar el material preformado de una manera uniforme a todo lo largo de la junta, a la profundidad establecida en el proyecto, sin restirlo o punzarlo.

E.12. EQUIPO PARA LA INYECCIÓN DEL MATERIAL DE SELLADO

Consistente en bombas de extrusión con la suficiente capacidad para inyectar el volumen requerido de material de sellado hasta la profundidad adecuada, equipadas con una boquilla cuya forma ajuste dentro de las juntas, y con la cual se pueda formar una cama de ancho y profundidad uniforme entre las caras de las juntas.

E.13. FRESADORAS

Autopropulsadas, con la masa suficiente para corregir el acabado de las losas de concreto hidráulico mediante un fresado uniforme. Contarán con:

- Cabezas de corte de aproximadamente un (1) metro de ancho o más, montadas en marcos interiores que permitan controlar la profundidad del fresado.
- Discos de corte con diamantes para cortar las protuberancias o ranurar la superficie del pavimento, adosados a las cabezas de corte. Cada cabeza, con el ancho indicado anteriormente, tendrá entre cincuenta y cuatro (54) y cincuenta y nueve (59) discos, uniformemente distribuidos en todo su ancho. El tamaño, la cantidad y la pasta de adherencia de los diamantes, serán los adecuados para la dureza de los agregados pétreos del concreto por tratar.
- Cilindros hidráulicos para mantener constante la presión sobre las cabezas de corte.

F. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

El transporte y almacenamiento de todos los materiales son responsabilidad exclusiva del Contratista de Obra y los realizará de forma tal que no sufran alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra, tomando en cuenta lo establecido en las Normas aplicables del Título 06. *Materiales para Losas de Concreto Hidráulico*, de la Parte 4. *Materiales para Pavimentos*, del Libro CMT. *Características de los Materiales*. Se sujetarán, en lo que corresponda, a las leyes y reglamentos de protección ecológica vigentes.

G. EJECUCIÓN

G.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Para la construcción de carpetas de concreto hidráulico se considerará lo señalado en la Cláusula D. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*.

G.2. PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES

- G.2.1.** Los agregados pétreos, el cemento Pórtland y aditivos que se empleen en la elaboración de las carpetas de concreto hidráulico, se mezclarán con el proporcionamiento necesario

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

para producir un concreto hidráulico homogéneo, con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

G.2.2. El proporcionamiento se determinará en el laboratorio para obtener las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría. Esta determinación será responsabilidad del Contratista de Obra.

G.2.3. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, con las dosificaciones de los distintos tipos de agregados pétreos, cemento Portland y aditivos utilizados en la elaboración de carpetas de concreto hidráulico, no se obtiene un concreto hidráulico con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra las corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

G.3. CONDICIONES CLIMÁTICAS

Los trabajos serán suspendidos en el momento en que se presenten situaciones climáticas adversas y no se reanudarán mientras éstas no sean las adecuadas, considerando que no se construirán carpetas de concreto hidráulico:

G.3.1. Sobre superficies con agua libre o encharcada.

G.3.2. Cuando exista amenaza de lluvia o esté lloviendo.

G.3.3. Cuando la temperatura de la superficie sobre la cual serán construidas, esté por debajo de los cuatro (4) grados Celsius.

G.3.4. Cuando la temperatura ambiente sea de cuatro (4) grados Celsius y su tendencia sea a la baja. Sin embargo las carpetas de concreto hidráulico pueden ser construidas cuando la temperatura ambiente esté por arriba de dos (2) grados Celsius y su tendencia sea al alza. La temperatura ambiente será tomada a la sombra lejos de cualquier fuente de calor artificial.

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

G.3.5 Cuando la evaporación sobre la superficie de la losa sea mayor de un (1) kilogramo por metro cuadrado por hora, determinada de acuerdo con las recomendaciones de la *Portland Cement Association (PCA)*, a menos que se levanten rompevientos para proteger el concreto hidráulico y lo apruebe la Secretaría.

G.4. TRABAJOS PREVIOS

G.4.1. Inmediatamente antes de la construcción de la carpeta de concreto hidráulico, la superficie sobre la que se colocará estará debidamente terminada dentro de las líneas y niveles, exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos, sin irregularidades y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran existido. No se permitirá la construcción sobre superficies que no hayan sido previamente aceptadas por la Secretaría.

G.4.2. Si así lo indica el proyecto o lo aprueba la Secretaría, cuando la carpeta se construya sobre una capa de materiales pétreos, como una subbase, ésta se impregnará de acuerdo con lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1-04-004, *Riegos de Impregnación* o se colocará sobre ella una membrana de polietileno. Es responsabilidad del Contratista de Obra establecer el lapso entre la impregnación y el inicio de la construcción de la carpeta.

G.4.3. Los acarreos del concreto y los materiales hasta el sitio de su utilización, se harán de tal forma que el tránsito sobre la superficie donde se construirá la carpeta, se distribuya sobre el ancho total de la misma, evitando la concentración en ciertas áreas y, por consecuencia, su deterioro.

G.5. ELABORACIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO

G.5.1. El procedimiento que se utilice para la elaboración del concreto hidráulico es responsabilidad del Contratista de Obra, quien tendrá los cuidados necesarios para el manejo de los materiales a lo largo de todo el proceso, para que el concreto cumpla con los requerimientos de calidad establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría y atenderá lo indicado en las Normas aplicables del Título 06. *Materiales para Losas de Concreto Hidráulico*, de la Parte 4. *Materiales para Pavimentos*, del Libro CMT. *Características de los Materiales*.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

G.5.2. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, la calidad del concreto hidráulico difiere de la establecida en el proyecto o aprobada por la Secretaría, se suspenderá inmediatamente la producción en tanto que el Contratista de Obra la corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

G.5.3. Durante el proceso de producción no se cambiará de un tipo de concreto a otro, hasta que las tolvas de la planta hayan sido vaciadas completamente y los depósitos de alimentación de los agregados pétreos sean cargados con el nuevo material.

G.6. TRAMO DE PRUEBA

Sobre la superficie donde se construirá la carpeta de concreto hidráulico, el Contratista de Obra ejecutará previamente un tramo de prueba en todo el ancho de la corona o de la franja por construir, con una longitud de doscientos (200) metros, con la finalidad de evaluar el procedimiento y los equipos que utilizarán, considerando que:

G.6.1. La construcción del tramo de prueba se hará cumpliendo con todo lo establecido en esta Norma.

G.6.2. Una vez terminada la carpeta del tramo de prueba, se verificará que cumpla con lo establecido en la Cláusula H de esta Norma. En caso negativo, el Contratista de Obra construirá el número de tramos de prueba necesarios hasta que cumpla con lo indicado en dicha Cláusula.

G.6.3. Si el tramo de prueba construido cumple con lo indicado en el Inciso anterior, podrá considerarse como parte de la obra y será objeto de medición y pago, de lo contrario no se medirá ni pagará y la Secretaría, a su juicio, determinará si es necesario o no que el Contratista de Obra retire el tramo de prueba por su cuenta y costo.

G.7. PASAJUNTAS Y BARRAS DE AMARRE

G.7.1. Las pasajuntas y barras de amarre para losas de concreto hidráulico con juntas, se colocarán de acuerdo con lo indicado en el proyecto o aprobado por la Secretaría.

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

G.7.2. Las pasajuntas que se utilicen en las juntas transversales de contracción, serán barras lisas con las características indicadas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría y con sus extremos libres de rebabas cortantes. Se colocarán antes del colado del concreto hidráulico, mediante silletas o canastas metálicas de sujeción que las aseguren en la posición correcta durante el colado y el vibrado del concreto, sin impedir sus movimientos longitudinales. Una vez colocadas, la superficie expuesta de las pasajuntas se someterá a un tratamiento antiadherente, con grasa, una funda de plástico u otro procedimiento aprobado por la Secretaría, para garantizar el libre movimiento longitudinal de las losas en la junta. Las pasajuntas que se pongan en las juntas transversales de construcción, de expansión y de emergencia, serán iguales a las que se utilicen en las juntas de contracción y se colocarán con el mismo alineamiento y espaciamiento.

G.7.3. Las barras de amarre que se coloquen en las juntas longitudinales, serán corrugadas, con las características indicadas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, y se colocarán mediante silletas, o insertadas por vibración si se usa equipo de cimbra deslizante. En una longitud de cuarenta y cinco (45) centímetros antes y después de una junta transversal, no se colocarán barras de amarre.

G.8. ACERO DE REFUERZO

G.8.1. En losas de concreto hidráulico con refuerzo continuo

El refuerzo continuo se puede hacer con varillas de acero o mallas prefabricadas electrosoldadas, colocadas a la altura y con los traslapes que indique el proyecto o apruebe la Secretaría, utilizando los dispositivos adecuados para asegurar la continuidad del refuerzo. En algunos casos, las varillas se pueden colocar y alinear con un equipo especial ubicado frente a la pavimentadora, el cual guía y posiciona las varillas con el espaciamiento y la elevación de proyecto, mientras se coloca el concreto.

G.8.2. En losas de concreto presforzado

Los tendones necesarios para las losas de concreto presforzado, se colocarán sobre asientos de apoyo situados en las posiciones que indique el proyecto o apruebe la

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

Secretaría. Los tendones transversales en las zonas de curva, se apoyarán en medias cimbras, colocadas a lo largo de la cara interior de la franja por pavimentar.

G.9. COLADO DEL CONCRETO HIDRÁULICO

- G.9.1.** Después de elaborado el concreto hidráulico, será colocado extendiéndolo y consolidándolo con una pavimentadora autopropulsada, de tal manera que se obtenga una capa de material de espesor uniforme. Sin embargo, en áreas irregulares, el concreto puede extenderse y terminarse a mano.
- G.9.2.** El colado se hará en una forma continua, utilizando un procedimiento que minimice las paradas y arranques de la pavimentadora.
- G.9.3.** Cuando el colado sea suspendido por más de treinta (30) minutos, se procederá a construir una junta transversal de emergencia, como se indica en el Inciso G.13.4. de esta Norma.
- G.9.4.** Cada franja de concreto hidráulico se colará cubriendo como mínimo el ancho total del carril o, de preferencia, el ancho total de la calzada y sus acotamientos.
- G.9.5.** No se permitirá el colado del concreto hidráulico si existe segregación.
- G.9.6.** Al final de cada jornada y con la frecuencia necesaria, se limpiarán perfectamente todas aquellas partes de la pavimentadora que presenten residuos de concreto hidráulico.
- G.9.7.** La longitud de colado del concreto hidráulico es responsabilidad del Contratista de Obra, tomando en cuenta que no se colará en tramos mayores de los que puedan ser terminados y curados de inmediato, así como aserrados oportunamente.

G.10. VIBRADO

- G.10.1.** Inmediatamente después de colado el concreto hidráulico, se consolidará mediante vibrado.

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

G.10.2. El vibrado se hará uniformemente en todo el volumen de la carpeta, utilizando vibradores mecánicos, cuidando que no entren en contacto con la cimbra.

G.10.3. Para el caso de áreas no accesibles a los vibradores de las pavimentadoras, se emplearán vibradores de inmersión manuales.

G.10.4. Cuando la pavimentadora sea detenida, los vibradores no operarán por más de cinco (5) segundos después del paro.

G.11. TEXTURIZADO

Salvo que el proyecto indique otra cosa, el acabado de la carpeta de concreto hidráulico, se hará pasando sobre su superficie la rastra de texturizado y la texturizadora, o bien, mediante el método de denudado químico, que consiste en rociar un retardante de fraguado sobre la superficie del concreto fresco y, después de que la masa de concreto ha endurecido, aplicar un cepillado enérgico con un dispositivo de cerdas metálicas para eliminar el mortero de la superficie.

En cualquier caso, el acabado superficial proporcionará una superficie de rodadura con la resistencia a la fricción establecida en la Fracción H.5. de esta Norma, como mínimo.

G.12. CURADO

Después de terminado el texturizado, cuando el concreto empiece a perder su brillo superficial, con el equipo de curado se aplicará el material que indique el proyecto o apruebe la Secretaría para formar la membrana de curado en la superficie de la carpeta. En el caso de juntas aserradas, sus caras expuestas serán curadas inmediatamente después de que se concluya el corte.

G.13. JUNTAS

G.13.1. En el caso de carpetas de concreto hidráulico con juntas, una vez que el concreto haya endurecido lo suficiente para que no se desportille y antes de que se formen grietas naturales por contracción, se aserrará la carpeta para formar una junta como las mostradas en las Figuras 1 a 3 de esta Norma. Los cortes se ajustarán al alineamiento, dimensiones y características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

NORMAS

N CTR CAR-1-04 009/06

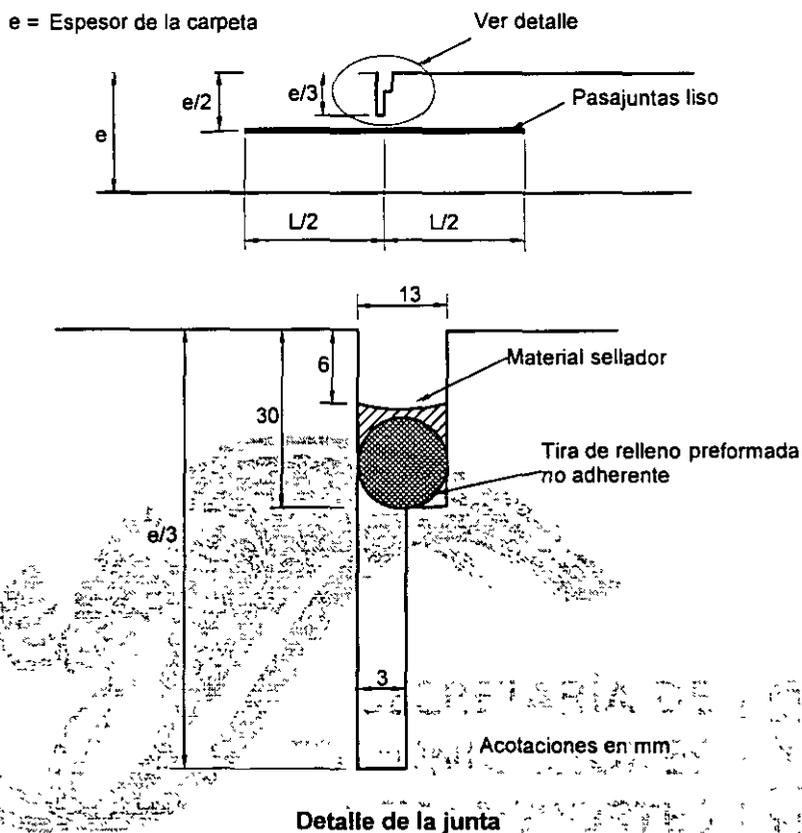


FIGURA 1.- Corte y sellado de juntas de contracción (Tipo A) con pasajuntas

G.13.2. Primero se aserrarán las juntas transversales de contracción e inmediatamente después las longitudinales. Es responsabilidad del Contratista de Obra elegir el momento propicio para efectuar el aserrado. Las losas que se agrieten por aserrado inoportuno serán demolidas y reemplazadas, o reparadas si la Secretaría así lo aprueba, por cuenta y costo del Contratista de Obra. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

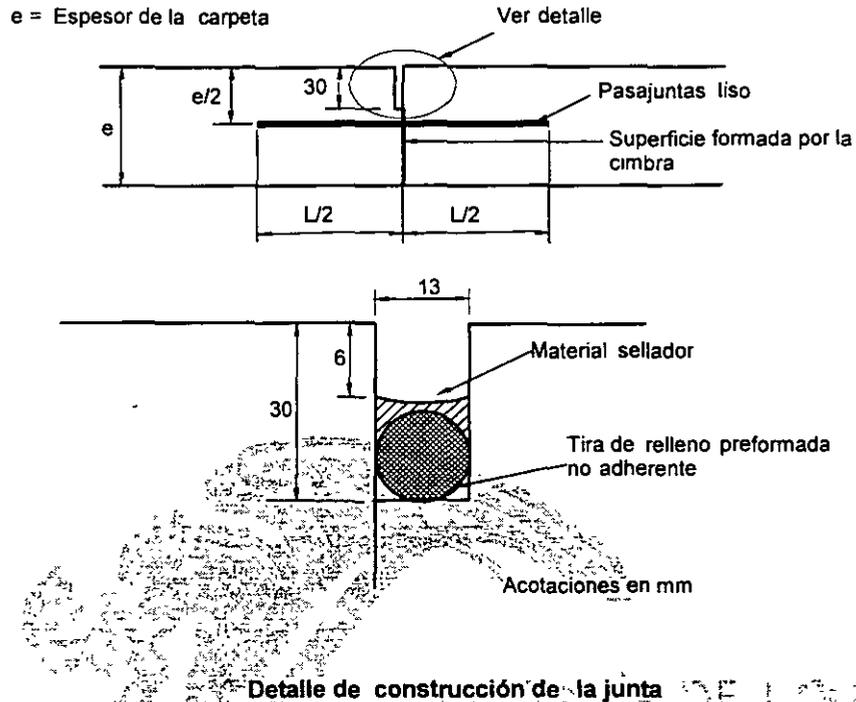


FIGURA 3.- Corte y sellado de juntas transversales de construcción o de emergencia (Tipo C) con pasajuntas

G.13.3. A menos que el proyecto indique otra cosa o lo apruebe la Secretaría, cuando se requiera hacer la junta con cortes en dos etapas (escalonados), el segundo corte no se realizará antes de setenta y dos (72) horas después del colado.

G.13.4. En el sitio prestablecido para terminar el colado del día y coincidiendo siempre con la ubicación de una junta transversal de contracción, se formará una junta de construcción como la mostrada en la Figura 3 de esta Norma (Tipo C), hincando en el concreto fresco una frontera metálica o cimbra que garantice la perpendicularidad del plano de la junta con el plano de la superficie de la losa y se removerá el concreto fresco excedente. Esta frontera o cimbra contará con orificios que permitan la instalación de pasajuntas en todo lo

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

ancho de la losa, con el alineamiento y espaciamiento que indique el proyecto o apruebe la Secretaría. Para garantizar la consolidación correcta del concreto en las esquinas y bordes de la junta, se utilizarán vibradores de inmersión manuales.

G.13.5. Cuando por causas de fuerza mayor sea necesario suspender el colado por más de treinta (30) minutos, se construirá una junta transversal de emergencia como la mostrada en la Figura 3 de esta Norma (Tipo C). La localización de esta junta se establecerá en función del tramo que se haya colado a partir de la última junta transversal de contracción trazada. Si el tramo colado es menor de un tercio ($\frac{1}{3}$) de la longitud de la losa, se removerá el concreto fresco para hacer coincidir la localización de la junta de emergencia con la de contracción inmediata anterior. En caso de que la emergencia ocurra en el tercio medio de la losa, se hará la junta de emergencia como se indica en el inciso anterior, cuidando que la distancia de ésta a cualquiera de las dos juntas de contracción adyacentes no sea menor de uno coma cinco (1,5) metros. Si la emergencia ocurre en el último tercio de la longitud de la losa, la junta de emergencia se hará dentro del tercio medio de la losa y se removerá el concreto fresco excedente.

G.13.6. La dimensión de las losas en el sentido longitudinal será la establecida en el proyecto con una tolerancia de más menos un (± 1) centímetro, coincidiendo siempre el aserrado de las juntas transversales con el punto medio longitudinal de las pasajuntas. La alineación de las juntas longitudinales será la indicada en el proyecto, con una tolerancia de más menos un (± 1) centímetro.

G.14. CONSERVACIÓN DE LOS TRABAJOS

Es responsabilidad del Contratista de Obra la conservación de la carpeta de concreto hidráulico hasta que haya sido recibida por la Secretaría, cuando la carretera sea operable.

H. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Además de lo establecido anteriormente en esta Norma, para que la carpeta de concreto hidráulico, de cada tramo de un (1) kilómetro de longitud o fracción, se considere terminada y sea aceptada por la Secretaría, con base en el control de calidad que ejecute el Contratista de Obra, mismo que podrá ser verificado por la Secretaría cuando lo juzgue conveniente, se comprobará:

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

H.1. CALIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO

H.1.1. Que los agregados pétreos, el cemento Portland y aditivos utilizados en el concreto hidráulico, hayan cumplido con las características establecidas como se indica en la Fracción D.1. de esta Norma.

H.1.2. Que las características del concreto hidráulico fresco hayan cumplido con las establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

H.1.3. Que la resistencia a la tensión (T) a los veintiocho (28) días de edad en especímenes cilíndricos del concreto hidráulico, determinada en corazones extraídos al azar mediante un procedimiento basado en tablas de números aleatorios, conforme a lo indicado en el Manual M-CAL-1-02, *Criterios Estadísticos de Muestreo*, haya cumplido con lo establecido en el proyecto o lo aprobado por la Secretaría, considerando que:

H.1.3.1. El número de corazones por extraer se determinará aplicando la siguiente fórmula:

$$c = \frac{A}{600}$$

Donde:

c = Número de corazones por extraer, aproximado a la unidad superior

A = Superficie del tramo, (m²)

H.1.3.2. Los corazones se extraerán sin dañar la parte contigua de los mismos.

H.1.3.3. Tan pronto se concluya la extracción de los corazones, se rellenarán los huecos con el mismo tipo de concreto hidráulico utilizado en la carpeta, enrasando su superficie con la original de la carpeta.

H.1.3.4. La resistencia a la tensión promedio de cada cinco (5) corazones consecutivos, será igual a la resistencia establecida en el proyecto o mayor.

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

H.1.3.5. Cuando menos cuatro (4) de los cinco (5) corazones a que se refiere el Párrafo anterior, tendrán una resistencia a la tensión igual al noventa (90) por ciento de la resistencia establecida en el proyecto o mayor.

H.1.3.6. En caso de que la resistencia a la tensión del concreto hidráulico no cumpla con lo establecido en los Párrafos H.1.3.4. y H.1.3.5. de esta Norma, el Contratista de Obra, previa aprobación de la Secretaría, podrá elegir entre demoler y remplazar la carpeta en el tramo defectuoso, por su cuenta y costo, o aceptar una sanción por incumplimiento de calidad, respecto al precio unitario fijado en el contrato, debida a la resistencia insuficiente del concreto hidráulico y de acuerdo con el criterio establecido en la Cláusula J. de esta Norma.

H.2. CALIDAD DE OTROS MATERIALES

H.2.1. Para losas de concreto hidráulico con juntas

H.2.1.1. Que las pasajuntas y barras de amarre hayan cumplido con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

H.2.1.2. Que la elevación y espaciamiento de las pasajuntas no haya diferido de los indicados en el proyecto en más de cinco (5) milímetros, y que la desviación angular del eje de cada pasajunta, determinada entre sus extremos, no haya sido mayor de un (1) milímetro respecto a la dirección teórica. Esta comprobación se hará de la siguiente manera:

- a) En las silletas o canastas de sujeción con las pasajuntas, colocadas en el tramo de prueba a que se refiere la Fracción G.6. de esta Norma y antes del colado del concreto hidráulico, se comprobará que la posición de las pasajuntas y su alineamiento cumplan con lo establecido en este Párrafo y de ser así se procederá al colado, de lo contrario el colado no se iniciará en tanto que el Contratista de Obra corrija o reemplace las silletas o canastas para dar cumplimiento a lo aquí estipulado.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

- b) Una vez colado y vibrado el concreto del tramo de prueba, se removerá el concreto hasta la junta transversal de contracción inmediata anterior al sitio donde se concluyó el colado y se comprobará nuevamente la posición y el alineamiento de las pasajuntas en esa junta, para verificar que no hayan sufrido desplazamientos durante el proceso de construcción y aprobar el diseño de las siletas o canastas de sujeción, de lo contrario, el Contratista de Obra modificará el diseño y construirá el número de tramos de prueba necesarios hasta que se cumpla con lo indicado en este Párrafo.
- c) Una vez aprobado el diseño de las siletas o canastas de sujeción, durante la construcción de la carpeta de concreto hidráulico se verificará que las que se utilicen tengan las características de las aprobadas y que sean colocadas correctamente antes del colado del concreto.
- d) Cuando la Secretaría lo juzgue conveniente, se harán las comprobaciones que se indican en los Puntos a) y b) de este Párrafo, en cualquier tramo de construcción de la carpeta.

H.2.1.3. Que el material de curado para las losas, así como las tiras de relleno preformadas y el material sellador que se utilicen en las juntas, hayan cumplido con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

H.2.2. Para losas de concreto hidráulico con refuerzo continuo o presforzado

Que el acero de refuerzo continuo o los tendones de acero para presfuerzo hayan cumplido con las características establecidas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría y que hayan sido habilitados y colocados correctamente.

H.3. ÍNDICE DE PERFIL

Que el índice de perfil de la carpeta de concreto hidráulico, en cada línea de colado de cada subtramo de doscientos (200) metros de longitud o fracción, haya sido de catorce centímetros por kilómetro (14 cm / km) como máximo, a menos que el proyecto indique otro valor. El Contratista de Obra hará esta verificación

CTR. CONSTRUCCIÓN

CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

conforme al Manual M-MMP-4-07-002, *Índice de Perfil* dentro las cuarenta y ocho (48) horas siguientes al colado, considerando lo que a continuación se señala. La Secretaría evaluará diariamente los resultados que se obtengan.

H.3.1. Equipo

El Contratista de Obra dispondrá y mantendrá durante el tiempo que dure la obra, de un perfilógrafo tipo California que cumpla con lo indicado en el Manual M-MMP-4-07-002, *Índice de Perfil*. Antes de su utilización, el equipo se calibrará como se indica en ese Manual, pudiendo la Secretaría verificar la calibración en cualquier momento y si a su juicio, el perfilógrafo presenta deficiencias o no está bien calibrado, se suspenderá inmediatamente la evaluación en tanto que el Contratista de Obra lo calibre adecuadamente, corrija las deficiencias o lo reemplace. En ningún caso se medirán para efecto de pago carpetas que no hayan sido verificadas.

H.3.2. Tramo de prueba

Para que el tramo de prueba a que se refiere la Fracción G.6. de esta Norma sea aceptado por la Secretaría, tendrá un índice de perfil de catorce centímetros por kilómetro (14 cm./km) como máximo.

H.3.3. Determinación del índice de perfil

H.3.3.1. La obtención del índice de perfil, en cada línea de colado, se hará a lo largo de la línea imaginaria ubicada a noventa más menos veinte (90 ± 20) centímetros de la orilla interior de la línea de colado por evaluar. Las mediciones serán divididas en secciones consecutivas de doscientos (200) metros, con el propósito de establecer subtramos en los que se otorgue al Contratista de Obra un estímulo por mejoramiento de calidad o se le aplique una sanción por incumplimiento de calidad, respecto al precio unitario fijado en el contrato, según la calidad obtenida en la superficie terminada y de acuerdo con el criterio establecido en la Cláusula J. de esta Norma.

H.3.3.2. Cuando la longitud de un subtramo construido en un día de trabajo, no alcance los doscientos (200) metros, será agrupado con el tramo inmediato que se construya el día

NORMAS

N CTR-CAR 1-04-009/06

siguiente. En este caso, la medición del índice de perfil se hará tan pronto como sea práctico y posible, pero no después de cuarenta y ocho (48) horas de terminado el último subtramo de ese día. Si el Contratista de Obra no es el responsable del colado de un tramo subsecuente, no se medirá el índice de perfil en los cinco (5) últimos metros del colado de su tramo.

H.3.3.3. Si el índice de perfil determinado en alguna línea de colado de un subtramo de doscientos (200) metros, resulta menor de diez coma un centímetros por kilómetro (10,1 cm / km), el Contratista de Obra se hará acreedor de un estímulo por mejoramiento de calidad, calculado con base en el precio unitario de la carpeta de concreto hidráulico. En su caso, el estímulo se determinará mediante el factor que se establece en la Cláusula J. de esta Norma

H.3.4. Índice de perfil promedio diario

H.3.4.1. Cada día de trabajo se determinará el índice de perfil promedio diario, obteniendo el promedio aritmético de todos los índices de perfil determinados ese día. Si el índice de perfil promedio diario, resulta mayor de veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km), se suspenderá de inmediato la construcción de la carpeta de concreto hidráulico, hasta que el Contratista de Obra corrija la carpeta defectuosa, según se indica en el Inciso H.3.5. Para reanudar la construcción de la carpeta, el Contratista de Obra construirá otro tramo de prueba según lo indicado en la Fracción G.6. de esta Norma, como si se tratara del inicio de los trabajos. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

H.3.4.2. Para determinar el índice de perfil promedio diario se puede utilizar el formato que se muestra en la Tabla 1 de esta Norma, en el que, para un mismo día de trabajo y cada línea de colado y subtramo, se anota el índice de perfil obtenido. Se calcula el promedio aritmético de todos los índices de perfil obtenidos el mismo día y se anota en el último renglón del formato. Si el tramo tiene más de dos (2) líneas de colado, al formato se le

**CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS**

N-CTR-CAR-1-04-009/06

agregan las columnas que sean necesarias para completar el número de líneas de colado. Los índices de perfil que se obtengan en subtramos que hayan sido corregidos como se indica en el Inciso H.3.5. de esta Norma, serán registrados en la columna correspondiente, pues los valores originales se conservarán sin alterar.

TABLA 1.- Formato para el cálculo del índice de perfil promedio diario

Fecha de construcción:

Tramo ^[1]		Subtramo ^[2]		<i>I_p</i> cm/km		<i>I_{p_c}</i> cm/km		
del km	al km	del km	al km	Línea de colado 1	Línea de colado 2	Fecha de obtención	Línea de colado 1	Línea de colado 2
+	+	+	+					
		+	+					
		+	+					
		+	+					
		+	+					
+	+	+	+					
		+	+					
		+	+					
		+	+					
		+	+					
+	+	+	+					
		+	+					
		+	+					
		+	+					
		+	+					

$\bar{I}_p =$

I_p = Índice de perfil original del subtramo y línea de colado correspondientes

\bar{I}_p = Índice de perfil promedio diario. Promedio aritmético de todos los *I_p* obtenidos en un mismo día, (cm/km)

I_{p_c} = Índice de perfil después de corregido el subtramo y línea de colado correspondientes

[1] = Tramo de 1 km o fracción

[2] = Subtramo de 200 m o fracción

H.3.5. Corrección de la superficie de la carpeta de concreto hidráulico

H.3.5.1. El Contratista de Obra realizará las correcciones de la superficie de la carpeta de concreto hidráulico que se requieran para obtener el índice de perfil adecuado.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

H.3.5.2. Después de obtenido el índice de perfil de cada línea de colado en un subtramo de doscientos (200) metros, todas aquellas áreas en las que el perfilograma presente una desviación igual a un (1) centímetro o mayor, en siete coma cinco (7,5) metros o menos, serán corregidas mediante fresado. Concluida la corrección, se obtendrá nuevamente el índice de perfil del subtramo para verificar el cumplimiento de lo aquí estipulado.

H.3.5.3. Una vez realizadas las correcciones individuales de todas las desviaciones a que se refiere el Párrafo anterior, cualquier subtramo de doscientos (200) metros que presente un índice de perfil mayor de veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km) en cualquiera de sus líneas de colado, será corregido mediante alguno de los procedimientos que se indican a continuación u otros que apruebe la Secretaría. En cualquier caso, concluida la corrección se determinarán nuevamente los índices de perfil de todas las líneas de colado del subtramo para verificar el cumplimiento de lo aquí estipulado.

a) Fresado continuo de la superficie de la carpeta de concreto hidráulico, en tramos no menores de cincuenta (50) metros y a todo el ancho de la corona en carreteras de dos (2) carriles, o en todos los carriles de un mismo sentido en carreteras con carriles múltiples, para reducir el índice de perfil a veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km) o menos.

b) Remoción de la carpeta de concreto hidráulico y su reemplazo por una nueva, que cumpla con todo lo indicado en esta Norma y tenga un índice de perfil de veinticuatro centímetros por kilómetro (24 cm / km) como máximo.

H.3.5.4. Cuando el índice de perfil de alguna línea de colado de un subtramo de doscientos (200) metros esté entre catorce coma uno y veinticuatro centímetros por kilómetro (14,1 a 24 cm / km), el Contratista de Obra podrá elegir entre corregir la superficie terminada como se indica en el Párrafo H.3.5.3., o aceptar una sanción por incumplimiento de calidad, calculada con base en el precio unitario de la carpeta de concreto hidráulico,

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

mediante el factor que se establece en la Cláusula J. de esta Norma.

H.3.5.5. Todos los trabajos de corrección serán por cuenta y costo del Contratista de Obra, y previamente a su ejecución, los procedimientos de corrección de la superficie de la carpeta serán sometidos a la aprobación de la Secretaría. No se permitirá efectuar trabajos de corrección con equipos de impacto que puedan dañar la estructura del pavimento, ni con resanes superficiales adheridos. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que se ocasionen por motivo de las correcciones, serán imputables al Contratista de Obra.

H.3.5.6. Todos los trabajos de corrección de la superficie de la carpeta, se efectuarán antes de que se verifiquen sus líneas, pendientes y espesores, como se indica en la Fracción H.4. de esta Norma, salvo que la corrección se realice mediante un procedimiento aprobado por la Secretaría, que eleve esa superficie, en cuyo caso, la verificación de los espesores se hará antes de ejecutarlo.

H.4. LÍNEAS, PENDIENTES Y ESPESORES

Que el alineamiento, perfil, sección y espesor de la carpeta, cumplan con lo establecido en el proyecto, con las tolerancias que se indican en esta Fracción, como sigue:

H.4.1. Previamente a la construcción de la carpeta, en las estaciones cerradas a cada veinte (20) metros, se nivelará la superficie de la capa inmediata inferior, obteniendo los niveles en el eje y en ambos lados de éste, en puntos ubicados a una distancia (B) igual al semiancho de la corona de la carpeta ($A/2$) menos setenta (70) centímetros, a la mitad del espacio comprendido entre éstos y el eje ($B/2$), y en las orillas de la carpeta, como se muestra en la Figura 4 de esta Norma, sin considerar las ampliaciones en curvas, ni los carriles de aceleración o desaceleración, las ampliaciones en paraderos o las cuñas de transición en entronques a nivel. Cuando existan estos elementos, en las mismas secciones a cada veinte (20) metros de los carriles principales, adicionalmente se nivelarán los puntos en sus orillas, para el posterior cálculo de las pendientes transversales, como se indica en el Inciso siguiente.

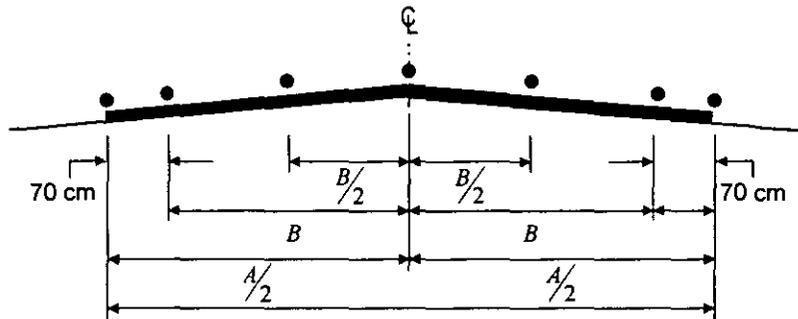


FIGURA 4.- Ubicación de los puntos por nivelar

H.4.2. Una vez vibrada la carpeta, verificados sus índices de perfil y, en su caso, hechas las correcciones a que se refiere el Inciso H.3.5, se volverán a nivelar las mismas secciones que se indican en el Inciso H.4.1, determinando las elevaciones de los mismos puntos ahí indicados para obtener las pendientes transversales entre ellos, y se medirán, en cada sección, las distancias entre el eje y las orillas de la carpeta, para verificar que esas pendientes y distancias estén dentro de las tolerancias que se indican en la Tabla 2 de esta Norma.

TABLA 2.- Tolerancias para líneas y pendientes

Característica	Tolerancia
Ancho de la carpeta, del eje a la orilla	±1 cm
Pendiente transversal	± 0,5%

H.4.3. Si para corregir la superficie de la carpeta se opta por un procedimiento aprobado por la Secretaría, que eleve esa superficie, antes de su ejecución, se nivelarán las mismas secciones a que se refiere el Inciso H.4.1. de esta Norma, determinando las elevaciones de los mismos puntos ahí indicados para obtener los espesores de la carpeta antes de ser corregida.

H.4.4. Las nivelaciones se ejecutarán con nivel fijo y comprobación de vuelta, obteniendo los niveles con aproximación al milímetro. Las distancias horizontales se medirán con aproximación al centímetro.

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1 04-009/06

H.4.5. A partir de las cotas obtenidas en las nivelaciones a que se refieren los Incisos H.4.1., H.4.2. y H.4.3. de esta Norma, según sea el caso, en todos los puntos nivelados se determinarán los espesores de la carpeta vibrada, los que serán iguales al fijado en el proyecto o, para cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, cumplir con lo establecido en los Incisos H.4.6. y H.4.7. de esta Norma.

H.4.6. El espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, será igual a noventa y ocho centésimos (0,98) del espesor de proyecto o mayor:

$$\bar{e} \geq 0,98e$$

Donde:

e = Espesor de proyecto, (cm)

\bar{e} = Espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, (cm), obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}$$

Donde:

e_i = Espesor obtenido en cada determinación, (cm)

n = Número de determinaciones hechas en el tramo

H.4.7. La desviación estándar de todos los espesores determinados en el tramo, será igual a diez centésimos (0,10) del espesor promedio o menor:

$$\sigma_e \leq 0,10\bar{e}$$

Donde:

σ_e = Desviación estándar correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, (cm), calculada con la siguiente fórmula:

$$\sigma_e = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}{n-1} \right)^{1/2}$$

\bar{e} , e_i y n tienen el significado indicado en el Inciso anterior.

H.5. RESISTENCIA A LA FRICCIÓN

H.5.1. Que la superficie de rodadura de la carpeta de concreto construida, haya tenido una resistencia a la fricción en condiciones de pavimento mojado, igual a seis décimas (0,6) o mayor, medida con el equipo *Mu-Meter*, a una velocidad de setenta y cinco (75) kilómetros por hora, por lo menos sobre la huella de la rodada externa de cada línea de colado. El Contratista de Obra hará esta verificación conforme a la norma ASTM E 670. La prueba se hará sobre la superficie de rodadura texturizada y en su caso, corregida de acuerdo con lo indicado en el Inciso H.3.5. de esta Norma.

H.5.2. Cuando la resistencia a la fricción sea menor de seis décimas (0,6), el Contratista de Obra, por su cuenta y costo, corregirá la superficie terminada como se indica en los Puntos a) o b) del Párrafo H.3.5.3. En cualquier caso, concluida la corrección se determinarán nuevamente la resistencia a la fricción y los índices de perfil de todas las líneas de colado del subtramo, para verificar el cumplimiento de lo estipulado tanto en el inciso anterior como en la Fracción H.3. de esta Norma.

I. MEDICIÓN

Cuando la construcción de carpetas de concreto hidráulico se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme a lo indicado en esta Norma, a satisfacción de la Secretaría, se medirá según lo señalado en la Cláusula E de la Norma N-LEG-3 *Ejecución de Obras*, para determinar el avance o la cantidad de trabajo realizado para efecto de pago, tomando como unidad el metro cúbico de carpeta terminada, según su tipo y para cada banco en particular, con aproximación a la unidad. El volumen de cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, se determinará mediante la siguiente fórmula:

$$V = L \times \bar{e} \times \bar{a}$$

Donde:

- V = Volumen de la carpeta de concreto hidráulico de cada tramo de 1 km o fracción, (m³)
- L = Longitud del tramo, (m)
- \bar{e} = Espesor promedio correspondiente a todas las determinaciones hechas en el tramo, (m), obtenido como se indica en el Inciso H.4.6. de esta Norma.

**CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS**

N-CTR-CAR-1-04-009/06

\bar{a} = Ancho promedio de la carpeta de concreto hidráulico, obtenido con base en las distancias entre el eje y las orillas de la corona, determinadas en todas las secciones del tramo como se indica en el Inciso H.4.2. de esta Norma, (m)

La Secretaría medirá y pagará como máximo el volumen de la carpeta de concreto hidráulico que resulte del espesor de proyecto más un (1) centímetro por el ancho de proyecto más un (1) centímetro.

Para el cálculo del volumen en el tramo medido se puede usar el formato que se muestra en la Tabla 3 de esta Norma.

TABLA 3.- Formato para el cálculo de los volúmenes, los estímulos o sanciones y los importes a pagar

Tramo ⁽¹⁾		L m	\bar{e} m	\bar{a} m	V m ³	PU \$	Importe \$ ⁽²⁾	FRT	\overline{FIP}	E \$
del km	al km									
+	+									
+	+									
+	+									
+	+									
+	+									
Sumas =						\$				\$
Importe total =						\$				\$

- L = Longitud del tramo correspondiente
- e = Espesor promedio del tramo correspondiente (espesor de proyecto más 1 cm como máximo)
- a = Ancho promedio del tramo correspondiente (ancho de proyecto más 1 cm como máximo)
- V = Volumen del tramo correspondiente ($V = L \times e \times a$)
- PU = Precio unitario de la carpeta
- \overline{FIP} = Factor promedio de estímulo o sanción según el índice de perfil del tramo correspondiente, calculado con se indica en la Fracción J.1. de esta Norma, considerando que el factor de estímulo sólo se aplicará a los tramos que no estén sujetos a sanción por resistencia insuficiente del concreto hidráulico ($FRT = 0$)
- FRT = Factor de sanción debida a la resistencia insuficiente del concreto hidráulico en el tramo correspondiente, determinado como se indica en la Fracción J.2. de esta Norma
- E = Estímulo o sanción del tramo correspondiente [$E = V \times PU \times (\overline{FIP} - FRT)$]
- [1] = Tramo de 1 km o fracción
- [2] = Importe de la carpeta (Importe = V x PU)

J. BASE DE PAGO

Cuando la construcción de carpetas de concreto hidráulico se contrate a precios unitarios por unidad de obra terminada y sea medida de acuerdo con lo indicado en la Cláusula I. de esta Norma, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cúbico de carpeta terminada

NORMAS

N CTR-CAR-1-04-009/06

en cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, según su tipo y para cada banco en particular. Estos precios unitarios, conforme a lo indicado en la Cláusula F. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, incluyen lo que corresponda por:

- Valor de adquisición, incluyendo mermas y desperdicios, del cemento Pórtland y los aditivos; del acero para pasajuntas, barras de amarre, refuerzo o presfuerzo, así como para las silletas o canastas de sujeción, o los dispositivos y asientos que se requieran; de las tiras de relleno preformadas y del material sellador para las juntas; del material para el curado de las losas y, en su caso, de la membrana de polietileno. Limpieza de los vehículos en que se transporten estos materiales, movimientos en el lugar de destino, carga al equipo de transporte, transporte al lugar de almacenamiento, descarga y cargo por almacenamiento.
- Desmonte y despálme de los bancos; extracción del material pétreo aprovechable y del desperdicio; cualesquiera que sean sus clasificaciones; cribados y desperdicios de los cribados; trituración parcial o total; lavado o eliminación del polvo superficial adherido a los materiales; cargas, descargas y todos los acarreos de los materiales y de los desperdicios; formación de los almacenamientos y clasificación de los agregados pétreos separándolos por tamaños.
- Instalación, alimentación y desmantelamiento de las plantas.
- Permisos de explotación de bancos de agua, así como la extracción, carga y acarreo al lugar de utilización del agua.
- Dosificación y mezclado de los agregados pétreos, cemento Pórtland, agua y aditivos.
- Barrido y limpieza de la superficie sobre la que se construirá la carpeta.
- Cargas en la planta del concreto hidráulico al equipo de transporte o carga de los materiales al vehículo mezclador para la elaboración del concreto hidráulico, y su transporte al lugar del colado.
- Habilitación y colocación de las pasajuntas y sus silletas o canastas de sujeción, de las barras de amarre o del acero para el refuerzo o presfuerzo, con los dispositivos y asientos que se requieran.
- Colado, vibrado, texturizado y curado del concreto.

CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

- Aserrado y sellado de las juntas.
- Los tiempos de los vehículos empleados en los transportes de todos los materiales, durante las cargas y las descargas.
- La conservación de la carpeta de concreto hidráulico hasta que sea recibida por la Secretaría.
- Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

Cuando procedan estímulos por mejoramiento de calidad o sanciones por incumplimiento de calidad, de acuerdo con la resistencia a la tensión del concreto y con los índices de perfil de la carpeta, que se obtengan según se señala en el Inciso H.1.3. y en la Fracción H.3., respectivamente, se pagará al Contratista de Obra una bonificación o se le hará una deducción, según corresponda, calculada para cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, medido como se indica en la Cláusula I. de esta Norma, mediante la siguiente fórmula:

$$E = V \times PU \times (\overline{FIP} - FRT)$$

Donde

E = Estímulo por pagar como bonificación cuando resulta positivo o sanción aplicada como deducción cuando resulta negativo, para cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, (\$).

V = Volumen de la carpeta de concreto hidráulico del tramo, (m³)

PU = Precio unitario de la carpeta de concreto hidráulico fijado en el contrato, (\$/m³)

\overline{FIP} = Factor promedio de estímulo o sanción según el Índice de perfil del tramo, determinado como se indica en la Fracción J.1. de esta Norma, (adimensional)

FRT = Factor de sanción debida a la resistencia insuficiente del concreto hidráulico en el tramo, determinado como se indica en la Fracción J.2. de esta Norma, (adimensional)

Para calcular el estímulo o la sanción (E) de cada tramo, se puede usar la Tabla 3, en la que se anotan el factor promedio de estímulo o sanción (\overline{FIP}) según el índice de perfil y el factor de sanción debida a la resistencia insuficiente del concreto hidráulico (FRT), de cada tramo.

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

El factor de estímulo según el índice de perfil sólo se aplicará a los tramos que no estén sujetos a sanción por resistencia insuficiente del concreto hidráulico (cuando $FRT = 0$)

J.1. FACTOR PROMEDIO DE ESTÍMULO O SANCIÓN SEGÚN EL ÍNDICE DE PERFIL

El factor promedio de estímulo o sanción según el índice de perfil del tramo (\overline{FIP}) es el promedio aritmético de los factores de estímulo o sanción (FIP_j) para cada subtramo de doscientos (200) metros en cada línea de colado, tomados de la Tabla 4. Para su cálculo se puede utilizar el formato que se muestra en la Tabla 5, en el que, para cada línea de colado y subtramo, se anota el factor de estímulo o sanción (FIP_j) tomado de la Tabla 4, de acuerdo con el índice de perfil (I_p) obtenido de la Tabla 1 y se calcula el promedio aritmético de todos los factores de estímulo o sanción (FIP_j) de cada tramo, que se anota en la última columna del formato, en el cuadro correspondiente. Para subtramos que hayan sido corregidos como se indica en el Inciso H.3.5. de esta Norma, el factor de estímulo o sanción (FIP_j) correspondiente se determina con base en el índice de perfil (I_{pc}) logrado después de la corrección. Si el tramo tiene más de dos (2) líneas de colado, al formato se le agregan las columnas que sean necesarias para completar el número de líneas de colado.

TABLA 4.- Factores de estímulo o sanción según el índice de perfil

Índice de perfil * cm / km	Factores de estímulo o sanción (FIP_j)	
4,0 o menos	Estímulo	+ 0,05
4,1 a 5,5		+ 0,04
5,6 a 7,0		+ 0,03
7,1 a 8,5		+ 0,02
8,6 a 10,0		+ 0,01
10,1 a 14,0	0	
14,1 a 16,0	Sanción	- 0,02
16,1 a 18,0		- 0,04
18,1 a 20,0		- 0,06
20,1 a 22,0		- 0,08
22,1 a 24,0		- 0,10
Mayor de 24,0	CORREGIR	

* Para cada tramo de 200 m o fracción en cada línea de colado

**CTR. CONSTRUCCIÓN
CAR. CARRETERAS**

N-CTR-CAR-1-04-009/06

TABLA 5.- Formato para el cálculo del factor promedio de estímulo o sanción según el índice de perfil, de cada tramo

Mes: Año:

Tramo ^[1]		Subtramo ^[2]		Línea de colado 1			Línea de colado 2			\overline{FIP}
del km	al km	del km	al km	Día ^[3]	I_p cm/km	FIP_j	Día ^[3]	I_p cm/km	FIP_j	
+	+	+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							
+	+	+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							
+	+	+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							
		+	+							

I_p = Índice de perfil del subtramo y línea de colado correspondientes, obtenido de la Tabla 1.
Para subtramos que hayan sido corregidos como se indica en el Inciso H.3.5. de esta Norma, se utiliza el índice de perfil (I_p) logrado después de la corrección

FIP_j = Factor de estímulo o sanción para el subtramo y línea de colado correspondientes, obtenido de la Tabla 4

\overline{FIP} = Factor promedio de estímulo o sanción. Promedio aritmético de los FIP_j del tramo correspondiente

[1] = Tramo de 1 km o fracción

[2] = Subtramo de 200 m o fracción

[3] = Día en el que se construyó la carpeta

J.2. FACTOR DE SANCIÓN POR RESISTENCIA INSUFICIENTE

El factor de sanción (FRT) que proceda según la resistencia a la tensión (T) del concreto hidráulico en cada tramo de un (1) kilómetro o fracción, medido como se indica en la Cláusula I. de esta Norma, se determina como sigue:

J.2.1. Se calcula el promedio de las resistencias obtenidas en el tramo, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\overline{T} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}$$

NORMAS

N-CTR-CAR-1-04-009/06

Donde:

\bar{T} = Promedio de las resistencias a la tensión obtenidas en el tramo, (MPa)

T_i = Resistencias a la tensión individuales de los corazones probados, (MPa)

n = Número de corazones probados

J.2.2. Se obtiene la desviación estándar como sigue:

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n-1}}$$

Donde:

σ_T = Desviación estándar de las resistencias a la tensión obtenidas en el tramo, (MPa)

T_i , \bar{T} y n tienen el significado indicado en el inciso anterior.

J.2.3. Se calcula el coeficiente de variación aplicando la siguiente fórmula:

$$C_v = \frac{\sigma_T}{\bar{T}}$$

Donde:

C_v = Coeficiente de variación, (adimensional)

\bar{T} y σ_T tiene el significado indicado en los Incisos J.2.1. y J.2.2. de esta Norma, respectivamente.

J.2.4. Se obtiene la resistencia relativa equivalente, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$T_{RE} = \frac{\left(\frac{\bar{T}}{T'} - 0,8 \right) \cdot 0,2}{C_v} + 0,8$$

Donde:

T_{RE} = Resistencia relativa equivalente, (adimensional)

T' = Resistencia de proyecto, (MPa)

\bar{T} y C_v tiene el significado indicado en los Incisos J.2.1. y J.2.3. de esta Norma, respectivamente.

J.2.5. Se determina el factor de sanción por resistencia insuficiente (*FRT*) utilizando la gráfica mostrada en la Figura 5 de esta Norma, donde se localiza el valor de la resistencia relativa equivalente (T_{RE}) en la escala horizontal y se lleva una línea vertical hasta interceptar la curva correspondiente al número de especímenes probados (n); de la intersección se lleva una línea horizontal hasta interceptar la escala vertical, donde se lee el factor de sanción que se aplicará, aproximado a cinco centésimas (0,05). Cuando el valor de T_{RE} sea menor de setenta y cinco centésimas (0,75), no se aceptará la carpeta de concreto hidráulico y el Contratista de Obra tendrá que reponer el tramo defectuoso por su cuenta y costo, a satisfacción de la Secretaría.

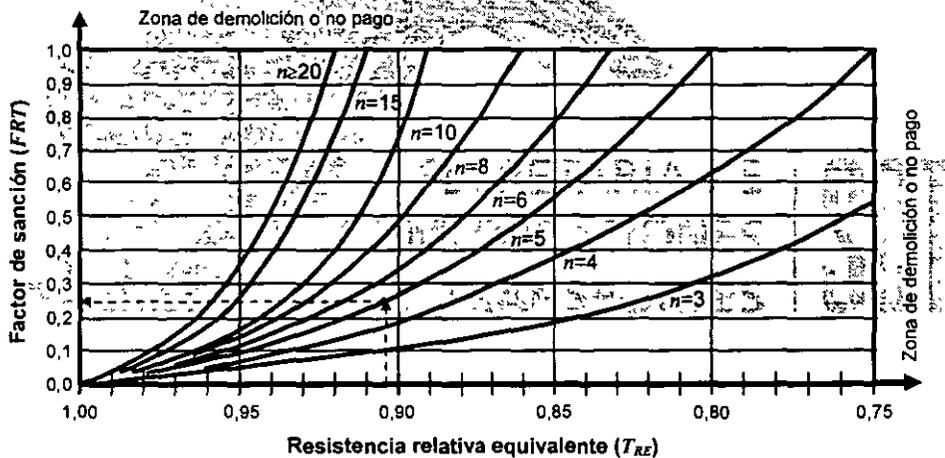


FIGURA 5.- Gráfica para determinar el factor de sanción por resistencia insuficiente (*FRT*)

K. ESTIMACIÓN Y PAGO

La estimación y pago de las carpetas de concreto hidráulico, se efectuará de acuerdo con lo señalado en la Cláusula G. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*.

L. RECEPCIÓN DE LA OBRA

Una vez concluida la construcción de la carpeta de concreto hidráulico, la Secretaría la aprobará y al término de la obra, cuando la carretera sea operable, la recibirá conforme a lo señalado en la Cláusula H. de la Norma N-LEG-3, *Ejecución de Obras*, aplicando en su caso, las sanciones a que se refiere la Cláusula I. de la misma Norma.



TEMA 1

FUNDAMENTOS DE CONTROL Y CONFIABILIDAD

1.1 Introducción

OBJETIVO DEL CONTROL

Obtener una obra totalmente apegada a las características y especificaciones de un proyecto, en la que los materiales utilizados presentan una calidad uniforme, de ahí que se espera que su comportamiento y durabilidad cumplan el período de servicio previsto.

CONTENIDO DEL MÓDULO

En este módulo se tratarán los conceptos fundamentales, filosofía, atributos, responsabilidades, herramientas de aplicación, criterios de muestreo, procedimientos de prueba, interpretación de resultados, normas de calidad y cada una de las aplicaciones de este sistema en los materiales de mayor uso en carreteras.

GENERALIDADES

Un sistema de control de calidad, permite optimizar el aprovechamiento de los recursos del constructor, entre los que se cuenta el personal profesional, técnico y mano de obra; los materiales de construcción y su almacenamiento; los equipos e instalaciones de construcción y/o producción; los vehículos de transporte de materiales, así como los combustibles y lubricantes para la operación de la empresa constructora.

También permite la producción de materiales y de construcción se realicen conforme el programa establecido, reduciendo los retrasos y los tiempos perdidos, así como los desperdicios de materiales.

Estos logros del sistema, significan ahorros de dinero y de tiempo al constructor, y hacer propuestas económicas atractivas a sus clientes, traduciéndose en más y mejores contratos, así como formarse un prestigio y asegurar el crecimiento de su empresa y su permanencia en el mercado.

Sin embargo, la mayoría de las empresas constructoras no se interesan por aplicar un sistema de control por lo que prefieren quedar a expensas de lo que dictamine el cliente o contratante sobre lo que sea aceptable de los trabajos efectuados, y corregir o sustituir lo inaceptable.

Esta perspectiva, conducirá a que las empresas nacionales obtengan cada vez menos contratos, menores ganancias y a mediano plazo, tiendan a desaparecer.

De acuerdo con la evolución de otros países con mayor desarrollo, sólo prevalecerán empresas que demuestren tener los medios tecnológicos, físicos y financieros para hacer las obras con calidad y con economía.

El control de calidad representa el único medio de que se dispone para que las empresas logren consolidarse, crecer y aumentar sus utilidades.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

A partir de la invención del automóvil se vislumbró la necesidad de realizar caminos para permitir el transporte de personas y bienes. En México, el gobierno federal creó la Comisión Nacional de Caminos para el desarrollo de los primeros caminos, la cual en 1925 inició sus funciones.

En esos años no se contaba con conocimiento de cómo hacer un camino, por lo que fue necesario contratar empresas norteamericanas por lo que únicamente utilizaron la mano de obra local y los materiales disponibles para ejecutar las vías.

Tampoco se conocía el comportamiento de materiales y se utilizaba sólo materiales disponibles en los lugares por donde se levantaban caminos a la vez que no había control de los materiales y el proceso constructivo.

Al ampliarse los programas la Comisión Nacional de Caminos se convirtió en la Secretaría en Comunicaciones y Obras Públicas (SCOP), y los ingenieros pronto aprendieron las técnicas de las empresas transnacionales y con ello obtener sus propias experiencias.

El nacimiento de la Mecánica de Suelos y sus primeras aplicaciones en caminos, dieron como resultado la selección de materiales a utilizar, considerando sus propiedades índice y su comportamiento mecánico, el que se determinaba con la aplicación de pruebas y ensayos, con equipos especiales.

Así nacieron los primeros laboratorios de materiales para caminos, en los cuales se estudiaban los materiales locales y definir en qué tramo del camino era posible utilizando. También se idearon procedimientos para medir y controlar el acomodo de los materiales, por lo que se empezaron a aplicar los primeros controles de calidad en estas obras.

En 1957 se editaron las primeras especificaciones Generales de Construcción de la SCOP; en ellas se recogió toda la experiencia tecnológica disponible en esa época, al grado que se consideraron como un elemento indispensable para obtener carreteras de calidad uniforme.

Los laboratorios de control de calidad de la Secretaría (extinta SCOP) fueron los responsables de que las carreteras construidas en esos años tuvieran la calidad y el comportamiento de servicio, lo cual le permitió al país su integración y desarrollo entre 1930 y 1970.

Sin embargo, el desarrollo nacional ya no permitió al Gobierno ejecutar las obras con sus propios recursos, lo que condujo al nacimiento de muchas empresas constructoras nacionales.

Esta transferencia se realizó en forma paulatina, por lo que la Secretaría tuvo necesidad de asegurar la calidad de los trabajos de las "nuevas" constructoras, imponiéndoles que el control de calidad se siguiera efectuando sus laboratorios.

Dicha circunstancia temporal de apoyo no fue entendida, tanto por las empresas constructoras, como por los ingenieros responsables de la propia dependencia, lo que dio lugar a un atraso "cultural" sobre la responsabilidad de la calidad que se sigue manteniendo hasta la fecha.

Es decir, las empresas constructoras no consideraron que el apoyo del laboratorio de la Secretaría era transitorio, mientras ellas alcanzaban la capacidad técnica necesaria para responsabilizarse de la ejecución y de la calidad de la obra contratada. Por su parte, los ingenieros responsables de la Secretaría no fueron suprimiendo este apoyo con el tiempo, para exigir la calidad de la obra al constructor, para fines de aceptación y pago.

Esta situación es la causa de que muchas empresas creen que no necesitan el apoyo de un laboratorio propio para el control de calidad de las obras a su cargo, ya que el laboratorio del contratante hace esta labor, y también que algunos ingenieros del dueño de la obra, piensen que

es suficiente con los resultados de calidad del laboratorio de la Secretaría, por lo que no exigen a las constructoras que cuenten con su propio laboratorio.

INTERRELACIÓN CON LAS ETAPAS DE UNA OBRA

Puede afirmarse que el control de calidad tiene relación directa con todas y cada una de las etapas de una obra.

En el caso de una carretera, la gestión de calidad debe empezar desde su planeación, pasando posteriormente por la programación, estudio, proyecto, construcción, operación y finalmente por su mantenimiento a lo largo de su período de servicio. En cada etapa, es necesaria la aplicación de los conceptos del control de calidad.

El control de calidad tiene también relación con todas las fases restantes de la construcción. A continuación se comenta de manera resumida la injerencia del control en las más importantes:

- Los materiales industrializados que normalmente se emplean en carreteras, como el cemento Pórtland, acero refuerzo, asfalto, pintura para señalamiento, etc. requieren en su proceso de producción se aplique un sistema adecuado de control de calidad.
- El estudio y selección de bancos de materiales para terracerías y capas de pavimento, así como la definición de tratamientos para que cumplan con las especificaciones del proyecto, son aspectos propios del control.
- El diseño de mezclas, y el proporcionamiento de concreto hidráulico para que se apeguen al proyecto de una obra, también son parte de un control de calidad.
- El corte y terrapleo de suelos para alojar la carretera, requiere la aplicación de un control para asegurar su estabilidad.
- La producción de materiales por trituración y cribado, utiliza el monitoreo constante de sus características para obtener la calidad requerida.
- El tendido y compactación de capas de pavimento se realiza con apoyo de elementos de control de calidad.
- La excavación del suelo para asentar la cimentación de las obras de drenaje y de los puentes debe controlarse para no alterar las condiciones del estudio y proyecto correspondientes.
- La elaboración de mezcla asfáltica para formar las capas de pavimento, y la de rodamiento del camino, implican un estricto control de la dosificación y de las temperaturas de los materiales.
- La producción de concreto hidráulico utiliza un control de la relación agua-cemento y de la dosificación de los agregados pétreos, para asegurar la trabajabilidad del concreto y la resistencia del proyecto.
- La construcción de los elementos que componen una estructura para un puente, ya sea de concreto reforzado o metálico, necesita un seguimiento de la colocación, y en su caso compactación y curado de los materiales utilizados.
- La aplicación de riegos de asfalto y de tratamientos superficiales para el mantenimiento de pavimentos, debe ser efectuado con una dosificación precisa, una vez realizado el diseño de materiales correspondiente.

Como puede verse, el control de calidad tiene una aplicación universal en las etapas de una obra y particularmente en el proceso de construcción y mantenimiento de carreteras.

SITUACIÓN ACTUAL Y LIMITACIONES

En el medio nacional se vive una situación crítica para las obras carreteras, porque no se están asegurando el comportamiento y los períodos de servicio previstos, Esto es porque las constructoras no están capacitadas para aplicar sistemas de control de calidad eficientes durante la

ejecución, y por otra parte la Secretaría se ha visto en la necesidad de reducir significativamente la capacidad de operación de sus laboratorios, lo que aunado al incremento de los trabajos a su cargo, no le permite atender la calidad de sus obras como anteriormente lo hacía.

Por tanto, resultan deficientes los trabajos de control de calidad que realizan las empresas. Si a lo anterior se le agrega de la aplicación de la Ley de Obra Pública y Servicios relacionados con la misma, las obras son que presentan la propuesta económica mas baja, la calidad de las obras ha quedado relegada, por debajo del cumplimiento del programa de ejecución y del ejercicio presupuestal

PERSPECTIVAS DE LA CALIDAD

El avance tecnológico en materia de carreteras a nivel internacional, y la aplicación de nuevos y mejores equipos de construcción y producción, productos y materiales, ha estado trascendiendo las fronteras del país, permitiendo hacer frente a las condiciones más rigurosas en las carreteras y autopistas.

Además la SCT llevan a cabo la actualización de su normativa técnica , en la cual se incluyen las innovaciones tecnológicas de vanguardia aplicables a nuestro medio, lo que permitirá contar con recursos adecuados para construir y mantener las carreteras con mayores perspectivas de comportamiento y duración.

Existen otros elementos que permiten tener confianza de que se esperan cambios a corto plazo en la implementación y en la aplicación de mejores y más eficientes controles de calidad. La comprensión y aplicación de nuevos conceptos como normas de aseguramiento de calidad, acreditamiento de laboratorios, certificación de productos y calibración de pruebas, permitirán en el mediano plazo, cambios en la práctica actual del control de la construcción de carreteras.

1.2 Fundamentos de calidad

DEFINICIONES

Para comprender el tema es necesario repasar las definiciones de calidad y de control.

Se define la CALIDAD como: "UN CONJUNTO DE ATRIBUTOS INHERENTES A UN PRODUCTO"

En la definición debe entenderse que por simplificación, únicamente se indica el término producto; sin embargo, puede tratarse de una obra, de un servicio o de una persona. Además, como sinónimo de atributo, pueden considerarse también los términos característica, cualidad, etc.

El término inherente denota que es intrínseco o propio del producto; es decir, que sus características no pueden ser cambiadas, a menos que posteriormente sufriera alteraciones o transformaciones.

De acuerdo con esta definición, el término calidad no indica que el producto sea bueno o malo, sino que tiene una serie de atributos que lo identifica, por lo que para estimar si es bueno o malo, sería entonces necesario compararlo con valores conocidos y previamente probados.

De esta forma, al término calidad habría que anteponerle un adjetivo calificativo para ubicarlo para una cierta utilidad. Entonces podremos decir que un determinado producto tiene una "excelente", "buena", "regular", "mala" o "pésima" calidad para ser utilizado.

Cuando se habla de un producto de calidad, se supone que está referido a un producto de alta calidad.

Como ejemplos, a continuación se citan los atributos típicos de algunos:

- Mesa: largo, ancho, altura, forma, tipo de materiales de que está construida, etc.
- Llanta: diámetro exterior e interior, ancho de rodada, dibujo y profundidad de la zona de rodado, tipo de hule y vulcanizado, etc.
- Material pétreo: tamaño máximo, graduación de tamaños de sus partículas, forma de las partículas, dureza, densidad, porosidad, etc.

Por lo que se refiere al control de calidad, a continuación se indica su definición:

CONTROL DE CALIDAD ES UN CONJUNTO DE ACCIONES QUE PERMITEN OBTENER PRODUCTOS CON CARACTERÍSTICAS UNIFORMES Y DE ACUERDO CON UN DISEÑO.

Al efectuar un control de calidad es necesario contar con un diseño del producto a lograr, en que se han establecido características, así como la materia prima para su manufactura. Estas características se toman como referencia para evaluar si los productos cumplen o satisfacen los requisitos de diseño.

En una obra vial, no es posible controlar la calidad si no se ha establecido el proyecto correspondiente, ni las especificaciones particulares de todos y los elementos y materiales que componen la obra.

El objetivo del control es obtener productos con características uniformes, es decir, productos de calidad uniforme, porque la confianza que se generará en el cliente con el uso del producto, depende de la uniformidad de sus características.

Para una obra vial, la uniformidad de calidad de los materiales, elementos y acabados, proporcionarán a los usuarios de la obra, en general un nivel de servicio constante al transitarla con comodidad y seguridad, pero permitirá asegurar que la obra tenga en su totalidad un comportamiento y durabilidad uniformes.

En una obra vial, el conjunto de acciones para lograr una calidad uniforme le corresponde al constructor, ejecutarlas quien también es el único que tiene posibilidad de mantener un nivel uniforme de la calidad de los trabajos y conforme con lo estipulado en el proyecto.

Para tratar de explicar el proceso del control de calidad, se comentará una analogía como ejemplo sobre la conducción de un vehículo en una carretera:

Supóngase que se trata de conducir un vehículo de un punto A a un punto B sobre un carril de circulación, a una velocidad constante. El objetivo es llevar el vehículo hasta el punto B sin que se presenten invasiones en el carril contrario ni salidas del camino.

El conductor cuenta para lograr el objetivo, con la visión del carril por recorrer y con el volante para contrar la dirección. Supóngase además que una segunda persona acompaña al operador y en su visión del camino, el vehículo tiene la oportunidad de dar avisos continuos al conductor sobre el rumbo que lleva, por lo que para que efectúe las correcciones necesarias con el volante.

En esta situación, el acompañante sólo tiene posibilidad de avisar al conductor sobre las desviaciones en que incurra el vehículo por la conducción del operador, pero no puede por sí mismo corregirlas porque no tiene el volante en sus manos.

En esta analogía se presentan las siguientes similitudes en relación al control de calidad:

- El vehículo es la capacidad disponible del constructor para efectuar una obra.

- El punto B es la obra
- El conductor es el constructor
- El volante es la capacidad para corregir desviaciones durante el proceso constructivo
- El acompañante es el laboratorio de control de calidad del constructor
- El carril de circulación indica los límites en los que hay que llevar el proceso constructivo para cumplir con el proyecto
- El efectuar ajustes de la dirección del vehículo con el volante, es el control de calidad

Como puede observarse en esta analogía, el control de calidad es el conjunto de acciones que realiza el conductor para no salirse del carril de circulación y llevar el vehículo al objetivo planteado, pero esta misión sólo la puede lograr él mismo. De la misma forma, el control de calidad de una obra es el conjunto de acciones que realiza el constructor para no salirse de las especificaciones del proyecto y pueda lograr la obra contratada con la calidad requerida, lo que únicamente está a cargo de él mismo (figura núm. 2).

El papel del laboratorio de control de calidad, proporciona información sobre cómo va la calidad de la obra pero carece de posibilidad para corregir desviaciones porque no tiene el volante en sus manos.

Conviene hacer notar que la calidad de una obra, depende de la materia prima utilizada, de los equipos de trabajo disponibles y del procedimiento constructivo o productivo aplicado. Pero también depende del personal participante en el proceso de producción o de construcción, en cuanto a su conocimiento técnico, adiestramiento, experiencia y motivación en el trabajo.

Otro aspecto es la evaluación oportuna y confiable de la calidad para corregir desvíos, afinar el proceso.

De esta forma, el control de calidad para garantizar que se está obteniendo lo requerido en el menor tiempo, y sin desperdicio de materiales.

Los beneficios que otorga un eficiente control de calidad son:

- Ahorros de tiempo y de recursos
- Óptimo aprovechamiento de equipos
- Evitar discusiones con el contratante
- Mejorar sus propuestas económicas en las licitaciones
- Mejorar su capacidad y prestigio para lograr otros contratos
- Incursionar en otros mercados, nacionales e internacionales
- Aumentar sus utilidades

ATRIBUTOS DEL CONTROL DE CALIDAD

Para hacer eficiente un sistema de control de calidad, es necesario conocer los atributos o factores que lo caracterizan. Un control de calidad no puede denominarse como tal si no es confiable, oportuno y económico. A continuación se comentará cada una de las cualidades del sistema.

Confiabilidad

La medición debe efectuarse en muestras representativas. Entre más grande sea la muestra, mayor será la seguridad de que los resultados y se aproximarán a los valores reales de los productos.

Los procedimientos deben ser lo más estandarizado posible, es decir, que puedan aplicarse en diferentes laboratorios, sin incurrir en errores atribuibles al propio procedimiento de prueba.

Los equipos y herramientas que se utilicen deben estar calibrados con referencia a unidades patrón de medición.

La confiabilidad se basa en normas de aseguramiento de calidad, como las ISO 9000.

Los aspectos de confiabilidad se abordarán con mayor detalle en el siguiente capítulo de este tema.

Oportunidad

El proceso productivo o constructivo requiere información sobre los resultados de la calidad obtenida, y de las causas de la desviación de la calidad requerida, en forma constante y oportuna, para que puedan efectuarse los ajustes o correcciones necesarias en la materia prima o en el propio proceso, porque cuanto mayor sea el volumen producido con defectos, mayor será la pérdida de tiempo, desperdicios y recursos adicionales necesarios para lograr que este volumen sea aceptable.

En el medio de la calidad, es totalmente aplicable el siguiente dicho popular:

HACER BIEN LAS COSAS DESDE LA PRIMERA VEZ.

Para que no se presente un avance notable en la producción o con la construcción con defectos, el control de calidad debe ser lo más oportuno posible.

Para lograr la condición de oportunidad, el sistema debe enfocarse a:

- *Sólo evaluar las características más significativas de la calidad*
- *Contar con el personal profesional y técnico calificado*
- *Contar con los recursos físicos necesarios para la toma de muestras, y para la medición de la calidad*
- *Utilizar herramientas estadísticas que se adapten al sistema aplicado, para inferir con rapidez el estado en que se encuentra el proceso productivo*
- *Contar con la independencia y autorización suficientes para acceder a todas y cada una de las fases del proceso productivo con objeto de detectar anomalías y condiciones de trabajo que incidan en una calidad deficiente*
- *Aplicar medios de comunicación expeditos y confiables que permitan enterar en forma directa al o a los responsables del proceso, sobre la calidad obtenida y las medidas que habrá que aplicar para corregir desvíos, a efecto de que puedan ser atendidas*

La falta en control de calidad es la causa por la cual las empresas productivas no han generado la confianza suficiente y en consecuencia alentar su desarrollo y capacidad.

Esto propicia un "círculo vicioso" porque no aporta resultados y soluciones oportunas, limitándole los recursos que podría requerir para ser más eficiente.

Economía

En la terminología del tema, se denominan **COSTOS DE LA NO CALIDAD** todos aquellos gastos que tiene una empresa productiva, que se asocian a las deficiencias de la calidad, tales como pérdidas de tiempo o retrasos, desperdicios de materia prima, reutilización de equipo y maquinaria,

reprocesamiento de productos terminados, adquisición, y aplicación de otros materiales para mejorar los productos defectuosos, etc...

Estos costos de la mala calidad no los absorben las empresas a través de la reducción de sus utilidades, sino más bien quedan integrados en los costos del producto final, por lo que son finalmente pagados por los consumidores o clientes.

En el caso de las obras públicas, como el de carreteras, los costos de la mala calidad de las empresas se transfieren a la sociedad, ya que un mal comportamiento y disminuciones de la durabilidad de los trabajos realizados, implicarán de nuevas inversiones para corregir los defectos antes del período de servicio previsto.

Dentro de los costos de la no calidad, los gastos que efectúa una empresa para controlar y mejorar su proceso productivo, los cuales pueden estar dirigidos a diversos tipos de acciones. Estas acciones se ha acostumbrado dividir las en dos grupos:

- *Acciones de supervisión*, entre las que se encuentran la revisión de la materia prima, auditoria de procesos administrativos, control del proceso productivo, supervisión del trabajo efectuado por otros, etc.
- *Acciones de prevención*, entre los que se pueden citar el entrenamiento y capacitación del personal profesional, técnico y de producción, mantenimiento de la maquinaria de producción, aplicación de herramientas estadísticas, adopción e implantación de métodos para la mejora continua, etc.

Las empresas se preocupan porque se realicen acciones de supervisión, antes de ocuparse por las de prevención.

Sin embargo, las acciones de supervisión se realizan permanentemente durante el proceso productivo, por lo que su efecto es de tipo correctivo y su costo podría ir en aumento hasta tener un supervisor por cada empleado productivo, aunque su beneficio no podría ser similar al del recurso invertido.

Por el contrario, se ha demostrado que las acciones de prevención, reditúan más y tienen mejores efectos a favor del control y mejora de la calidad, por lo que es más conveniente invertir en este tipo de acciones.

La experiencia de muchas empresas permite recomendar que la inversión de dinero en acciones tanto de supervisión como de prevención, logran reducir notablemente los costos de la no calidad (desperdicios, pérdidas de tiempo, etc.), haciendo rentable la inversión realizada.

De hecho una inversión consistente e importante en estas acciones, ha dado como resultado que empresas trasnacionales, puedan ostentar que sus productos están manufacturados con procesos y controles de calidad que les permiten lograr "cero defectos".

No obstante, es evidente que aunque los defectos disminuyan en un proceso obteniéndose ahorros significativos, los gastos efectuados en acciones de supervisión y prevención pudieran llegar a superar los ahorros obtenidos, de tal forma que en cualquier proceso sería necesario buscar un equilibrio de gastos de la no calidad. En la fig. 3 se observa el efecto del aumento y reducción de los costos de la mala calidad, con relación al efecto de invertir en acciones de supervisión y de prevención.

Como se ha visto, la aplicación de un sistema de control de calidad conlleva a un ahorro significativo de recursos, aunque para ello habría que invertir en el propio sistema. Esto lleva a las siguientes conclusiones:

1. EN UN PROCESO PRODUCTIVO, LOGRAR PRODUCTOS DE MALA CALIDAD Y HETEROGÉNEOS TIENE UN ALTO COSTO, PERO LOGRARLOS CON BUENA CALIDAD Y UNIFORMES TAMBIÉN TIENE UN COSTO, AUNQUE REDITUABLE.

2. ALCANZAR PRODUCTOS CON BASE EN ACCIONES DE SUPERVISIÓN PERMITE MANTENER EL PROCESO PRODUCTIVO CONTROLADO, POR LO QUE LA CALIDAD SE MANTIENE CON UNIFORMIDAD.

3. LA UTILIZACIÓN DE ACCIONES DE PREVENCIÓN EN EL PROCESO PRODUCTIVO, PERMITE MANTENER CONSISTENTEMENTE CONTROLADA LA PRODUCCIÓN, REDUCIR LOS COSTOS ASOCIADOS A LA MALA CALIDAD, Y MEJORAR LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS.

4. UNA COMBINACIÓN APROPIADA DE ACCIONES DE SUPERVISIÓN Y DE PREVENCIÓN, PERMITE ABATIR SIGNIFICATIVAMENTE LOS COSTOS DE LA MALA CALIDAD, HASTA LOGRAR REDUCIRLOS A UN MÍNIMO.

Puede resumirse que un sistema de control de calidad tiene como atributos principales la confiabilidad, la oportunidad y la economía, para que pueda ser eficiente en un proceso de producción o de construcción.

OTRAS ATRIBUCIONES Y RESPONSABILIDADES RELACIONADAS CON LA CALIDAD

Existen otros elementos relacionados con la calidad, que se comentarán a continuación:

Verificación de calidad

En todo proceso de producción o de construcción, resulta deseable verificar la calidad de los productos obtenidos o de la obra ejecutada.

Generalmente esta actividad puede quedar a cargo del dueño de la obra o del contratante, pero también ser realizada por una empresa de supervisión contratada por el dueño.

Para asegurarse de que la calidad de la materia prima que utilizará es la que requiere.

Generalmente, todos los productos industrializados tienen una calidad determinada, que es consistente con su propio control de calidad, por lo que pudiera no requerirse una verificación de calidad. La confianza que se la tenga a la materia prima, definirá si será necesario que el propio productor revise su calidad.

La verificación de calidad se caracteriza porque siempre se aplica a productos totalmente terminados y no necesariamente habría que analizar todas las características que definen su calidad, sino sólo los que resulten más significativos. También es notable que las frecuencias de muestreo sean mucho menores en esta actividad, comparadas con las que se aplican en sistemas de control de calidad.

Aseguramiento de calidad

Se define como un conjunto de acciones planeadas, sistematizadas y documentadas, necesarias para tener una confianza razonable de que todos los materiales y elementos de un producto o una obra, se comportarán satisfactoriamente durante el tiempo que deben conservarse en servicio.

Un sistema de aseguramiento de calidad contiene una serie de elementos cuya aplicación garantiza que el producto o la obra tendrán la calidad requerida en el diseño o proyecto.

La metodología universal más recomendable para implementar y aplicar un aseguramiento de calidad, está en las normas internacionales denominadas ISO 9000, y que han sido adoptadas por numerosos países y empresas para "asegurar" la calidad de sus productos.

Con la aplicación de un sistema de aseguramiento de calidad en las obras, se incrementa la confiabilidad y seguridad de la obra, a la vez que se reducen los costos de construcción, de operación y mantenimiento, por lo que se aumenta la disponibilidad de los equipos y sistemas.

En otras áreas de manufactura ha sido común el empleo de aseguramiento de calidad, con mucho éxito. Además, existen empresas transnacionales que revisan los sistemas implantados con la metodología ISO 9000, y verifican continuamente que se apliquen consistentemente en sus procesos de producción.

Si una empresa cumple con las Normas ISO, estas empresas le extienden un Certificado ISO, el cual es reconocido internacionalmente como sinónimo de alta calidad. De esta forma, se ha fomentado en países de alto desarrollo económico y de alta cultura de calidad, que los productos que consumen y que las empresas que contratan, tengan como requisito indispensable la certificación ISO.

Es importante indicar que los sectores gubernamentales responsables de las obras públicas en México, tienen la autoridad necesaria para exigir que se contraten los trabajos a ejecutar con empresas certificadas con ISO 9000, aunque esto se tenga que realizar en forma paulatina.

Es indudable que dicha certificación garantiza que las empresas tengan un sistema cuya aplicación asegura que su proceso obtenga productos de calidad uniforme, y de acuerdo con un diseño, por lo que la certificación es sinónimo de confianza para los consumidores.

1.3 Confiabilidad

La tercera parte del tema, está dedica a la confiabilidad, por ser el aspecto que permite considerar que los resultados de la medición de la calidad a través de muestras representativas de la producción, son lo más apegados a los valores reales para tomar decisiones en el ajuste y control del proceso productivo.

Para explicar la importancia de la confiabilidad en un sistema de control de calidad, se comentarán los riesgos que pueden presentarse en la evaluación de la calidad de materiales.

En una evaluación de materiales, pueden presentarse los siguientes casos:

- 1. Que se cuente con un material de buena calidad, y que al aplicar el muestreo y las pruebas de medición de calidad, el sistema de control dé por resultado que el material es bueno y por tanto se acepte para ser utilizado.*
- 2. Que el material sea de mala calidad, pero se considere bueno al aplicar el muestreo y la medición de la calidad, por lo que se acepte su empleo.*
- 3. Que el material sea de buena calidad, pero que al evaluarlo a través del sistema aplicado, se considere malo, por lo que se decida rechazarlo.*

4. Que el material sea de mala calidad, y que al aplicar el muestreo y la medición de la calidad se infiera que es malo, por lo que se rechace su uso.

Del análisis de estos casos, puede verse que los núms. 1 y 4 permiten una toma de decisiones confiable, porque se aceptan buenos materiales y se están rechazando malos materiales. Mientras que los casos 2 y 3 son situaciones indeseables al permitir el uso de malos materiales y rechazar buenos materiales.

Para que no sucedan los casos 2 y 3, un sistema de control de calidad tiene que estar respaldado eficientemente por un laboratorio que efectúe muestreos y la medición de la calidad, apoyado en un equipo de trabajo muy capacitado, aplicando criterios estadísticos de muestreo y evaluación.

En esta sección se tratarán con detalle todos los elementos de que se disponen para obtener confianza en la medición de calidad.

Los elementos más importantes al respecto se indican a continuación, y enseguida se comentará la información relevante de cada uno:

- Representatividad de la producción
- Estandarización o precisión de pruebas
- Preparación y manejo de muestras
- Evaluación estadística de resultados
- Calibración de equipos
- Evaluación y acreditamiento de laboratorios
- Certificación de productos

Representatividad de la producción

Para analizar la calidad de la producción es necesario obtener muestra representativas de los lotes producidos, de los materiales utilizados, y/ o del trabajo realizado.

Es importante hacer notar que entre más grande es el tamaño de la muestra mayor será el grado de seguridad de que los resultados tenderán a los valores reales.

También será conveniente señalar que en un proceso continuo de producción, la toma de muestras se tiene que efectuar en forma continua, por lo habrá que definir la frecuencia del muestreo.

Para que no se presente un muestreo "sesgado", que podría dar como resultado que las muestras no fueran representativas de la calidad real del lote, es necesario que el muestreo se apoye en técnicas estadísticas basadas en tablas de números aleatorios.

Aunque es posible utilizar algún texto de probabilidad y estadística para definir los lugares de muestreo, para el caso de materiales y elementos de las obras camineras; se puede efectuar este trabajo apoyado en la Norma M-CAL-1-02/01 Criterios Estadísticos de Muestreo, la cual forma parte de la nueva normativa técnica que la SCT actualiza a través del Instituto Mexicano del Transporte.

Estandarización o precisión de pruebas

Para medir la calidad, es necesario que los requisitos de un material, o parte de un producto u obra, estén referenciados a un procedimiento con el cual se obtenga o mida cada característica de interés.

Un procedimiento de prueba debe garantizar que sea lo suficientemente "estándar" para que los resultados que se obtengan con su aplicación, resulten confiables.

La "estandarización" de una prueba permite que su aplicación pueda realizarse en muestras del mismo material por distintas personas y equipos, en lugares diferentes, obteniendo la confianza de que sus resultados serán aproximadamente iguales.

Sin embargo, entre más estándar sea la prueba, lo anterior tenderá a cumplirse con mayor confiabilidad.

Para establecer el grado de confiabilidad se han establecido los parámetros siguientes y sus definiciones:

Repetibilidad (r).- Es la expresión cuantitativa del error aleatorio asociado cuando un laboratorista ejecutante de una prueba, en un laboratorio determinado, obtiene resultados sucesivos con el mismo aparato, bajo condiciones constantes de operación y sobre el mismo material de prueba. La repetibilidad o diferencia promedio de resultados de un procedimiento, aplicado por un laboratorista en un mismo material, tenderá a cero a medida en que el método de prueba sea más estandarizado.

Reproducibilidad (R).- Es la expresión cuantitativa del error aleatorio asociado cuando varios laboratoristas trabajando en diferentes instalaciones, obtienen resultados individuales sobre un material idéntico de prueba, aplicando el mismo método y aparatos que cumplen iguales requisitos. De igual manera, la reproducibilidad o diferencia promedio de resultados de un procedimiento aplicado por diferentes laboratoristas en un mismo material, tenderá a cero, a medida que esté más estandarizado el método de prueba.

Generalmente los valores que se obtienen de repetibilidad son más reducidos que los que se alcanzan por reproducibilidad, porque es de esperarse mayor dispersión de resultados, cuando intervienen dos o más personas, aplicando el mismo procedimiento de prueba.

Cuando se establece un procedimiento de prueba, generalmente se deben detallar en un documento los siguientes aspectos:

- Objetivo de la prueba
- Equipos y materiales a utilizar
- Preparación de la muestra
- Descripción del procedimiento
- Cálculo e interpretación de resultados
- Errores comunes y cuidados especiales
- Precisión de la prueba
- Bibliografía particular y normas de referencia

Para definir la precisión de una prueba, se efectúa una serie de experimentos que un laboratorista y un grupo de laboratoristas apliquen el procedimiento permitan que descrito, y se definan los valores de repetibilidad y reproducibilidad.

Si se obtienen valores bajos, se puede considerar que el procedimiento es reproducible y por tanto, confiable para los fines que se persigan. Por el contrario, si los valores son muy grandes, entonces será necesario precisar más el procedimiento, y repetir la experimentación para obtener valores de precisión adecuados.

Una vez establecida en un procedimiento de prueba, su precisión o estandarización, entonces los valores indicados servirán para verificar que el o los laboratoristas sigan la aplicación del procedimiento, de tal manera que si presentan valores de repetibilidad y reproducibilidad mayores a los indicados en el método, significará que existe alguna diferencia en la aplicación o en el equipo utilizado, o en el cálculo de resultados, que habrá que detectar y corregir hasta que se logren resultados dentro de las tolerancias de la precisión del método.

Los parámetros de la precisión de los métodos de prueba son muy útiles para que los resultados que se obtengan, sean confiables.

Sin embargo, es muy común que el personal profesional y técnico de los laboratorios consideren que la información que obtienen es infalible, y que no hay posibilidad de equivocarse, por lo que sus resultados de calidad son inapelables.

Esto también se debe al desconocimiento de la estandarización y de sus parámetros, porque curiosamente en los procedimientos de prueba para el área de carreteras del país, en ninguno se indica la precisión que se alcanza.

Para ubicar la trascendencia de la precisión de pruebas, conviene comentar a manera de ejemplo, que en 1995 la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, desarrolló un programa a nivel nacional para conocer el grado de confiabilidad de los laboratorios que dependen de los Centros SCT, y que apoyan la verificación de calidad de las obras a su cargo, este programa abarcó las pruebas que se aplican a los materiales más comunes se en las obras carreteras, como los suelos y materiales pétreos para terracerías y pavimentos, asfaltos y mezclas asfálticas, y el concreto hidráulico.

Los resultados obtenidos en un parámetro de calidad de un material utilizado en el programa. Como puede observarse, los resultados fueron muy diferentes, de manera que dependiendo de la ubicación del valor límite de aceptación, para algunos laboratorios el material hubiera sido aceptable, mientras que para otros hubiera sido rechazado.

Las causas más comunes que se presentan en la dispersión de resultados, se señalan a continuación:

- Aplicación inadecuada de los procedimientos
- Equipos desgastados y obsoletos para la ejecución de pruebas
- Calibración diferente en los equipos de medición
- Instalaciones inadecuadas para la realización de pruebas
- Falta de materiales y herramientas de laboratorio

Los laboratorios tienen obligación de atender la solución de dichas causas, para que los resultados de calidad que obtengan permitan emitir juicios sobre el proceso productivo o constructivo, con la confianza de que reflejan fielmente la calidad del producto o del material a utilizar en una carretera

Preparación y manejo de muestras

Uno de los aspectos que son parte de un procedimiento de prueba, es la preparación y el manejo de muestras en el a nivel de laboratorio.

Los cuidados que generalmente se establecen para esta etapa de trabajo permiten que las muestras no vayan a ser modificadas en sus atributos originales, para que al aplicar la medición de su calidad mediante los procedimientos de prueba, se obtengan resultados confiables.

Las recomendaciones que se indican en los procedimientos de prueba, deben atenderse en su totalidad, para asegurar que no se presenten alteraciones ni modificaciones de la muestra original.

Así, la identificación de cada submuestra debe hacerse de tal manera que no se presenten confusiones que propicien que los resultados de calidad de una muestra se estén considerando para otra muestra, lo que finalmente provocaría una toma de decisiones equivocada.

III.4 Evaluación estadística de resultados

En un proceso de control de calidad, resulta importante evaluar adecuadamente los resultados a través de medir las características de los productos o materiales, porque de esta evaluación dependerán las acciones que se apliquen para corregir o mantener el mismo proceso.

Para llevar a cabo una evaluación adecuada, se cuenta con la *Probabilidad y Estadística*, que es una rama de las matemáticas aplicadas que trata sobre la recolección, organización, análisis e interpretación de datos, y deducir de ellos las leyes que rigen ciertos fenómenos, o para formular predicciones.

La comprensión de la probabilidad y estadística es fundamental para aplicar un sistema de control de calidad, de ahí la necesidad de estudiar sus conceptos básicos y de las técnicas más útiles para analizar resultados, sacar conclusiones e inferir las causas que originan estos resultados.

La determinación de las medidas de tendencia central (modo, mediana y promedio) así como las de dispersión (rango, variancia y desviación estándar), en el análisis de los datos de calidad durante el monitoreo de un proceso, permiten ubicar la calidad de la producción o de la construcción dentro de las tolerancias de aceptación establecidas en un diseño o proyecto.

El uso de *Cartas de Control* para monitorear el proceso productivo es indispensable para la aplicación de un sistema de control de calidad.

De esta forma, es posible separar las causas de variación aleatorias propias del estado normal del proceso, de las de variación asignables originadas por efectos externos al proceso.

A partir de la detección de estas causas, el responsable del control deberá identificar los agentes externos y las condiciones que generan deficiencias en la calidad, para indicar acciones que las nulifiquen o las minimicen.

El siguiente paso en la cadena del control de calidad sería que el responsable del proceso productivo lleve a cabo las acciones recomendadas para hacer efectivo el cambio u orientación del proceso.

La aplicación sistemática de la medición y evaluación estadística de la calidad, finalmente dará por resultado que la producción o construcción se encauce a obtener productos u obras de calidad uniforme, que cumplan con los requisitos del diseño.

Es importante que un sistema de control disponga y aplique una evaluación estadística de los resultados de calidad para que la inferencia que de ella se obtenga sea lo más confiable posible.

Calibración de equipos

La medición de la calidad se requiere el empleo de aparatos y dispositivos cuyas características físicas y condiciones de operación se apeguen a la descripción indicada en cada procedimiento de prueba.

Eso es necesario para asegurar que los procedimientos de prueba sean reproducibles, y la medición de la calidad pueda efectuarse de manera confiable,

Para medir alguna propiedad de materiales, con base en *unidades del sistema internacional*, los aparatos deben referenciarse a los patrones de medida que se dispongan en el país.

Este aspecto se regular por la *Ley Federal de Normalización y Metrología*, en la cual se establece que le corresponde al *Centro Nacional de Metrología (CENAM)*, contar con todos los patrones nacionales de medida del Sistema Internacional de Unidades para efectuar los trasposos de medición, que generalmente es común denominar a esta actividad "calibración".

El CENAM es la entidad encargada de acreditar los laboratorios de calibración, y de extender las certificaciones para el trasposo de las unidades de medida de los patrones nacionales.

Las actividades de los laboratorios de calibración, se regulan mediante la *Norma Mexicana NMX-EC-11025-IMNC-2000 Requisitos generales para la competencia de los Laboratorios de ensayo y calibración*.

Calibrar un equipo de prueba significa revisar sus unidades de medición, a través de una celda de carga que a su vez ha sido previamente calibrada con un patrón primario a fin de establecer la incertidumbre de las mediciones y la capacidad del equipo.

Hay que considerar que el uso continuo de los equipos y su traslado a otros lugares, puede conducir a que se descalibren, de ahí que sea necesaria calibrarlos periódicamente. En la práctica es conveniente que la calibración sea cada año como mínimo.

Otro aspecto que es importante considerar en la calibración de los equipos de prueba, es la verificación y revisión periódica de las dimensiones, peso, temperatura de prueba, tiempo, etc., que deben tener para cumplir con las condiciones de prueba establecidos en los procedimientos correspondientes

Evaluación y acreditación de laboratorios

Un cambio fundamental en la implantación de sistemas de control de calidad en la industria de la construcción, es la acreditación de laboratorios, por la *Ley Federal de Metrología y Normalización*.

A partir de la puesta en vigor de esta Ley, se han creado organismos que son básicos para la promover de la mejora de la calidad.

Por lo que se refiere a la construcción, resulta muy importante la creación del organismo *Entidad Mexicana de Acreditamiento (EMA)*, la cual tiene a su cargo la evaluación de los laboratorios de diversas áreas de producción y servicios, entre los que incluyen los que apoyan la construcción de obras civiles.

La EMA depende de la *Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI)*, y está conformado por representantes de las dependencias federales y estatales que realizan obras civiles, así como por empresas de la iniciativa privada, interesadas en beneficiarse con la implantación de estos nuevos sistemas de calidad.

Las Normas Mexicanas, reconocidas con las siglas NMX, que son normas voluntarias de aplicación nacional para apoyar la ejecución de las obras públicas y privadas.

Se considera así porque no tiene una aplicación obligatoria. a menos que las partes que la invoquen mediante un contrato, haga que su aplicación sea obligatoria para los trabajos objeto de ese contrato.

La propia Ley Federal de Normalización y Metrología indica que todas las dependencias y organismos estatales del Gobierno Federal, deben obligarse al empleo de normas mexicanas cuando sean aplicables a los trabajos a su cargo, como a la contratación de laboratorios de prueba y de calibración acreditados por la EMA.

En la práctica, este ordenamiento no se ha cumplido porque las normas Mexicanas en vigor solo cubren parcialmente los requisitos de calidad que se exigen para los materiales, equipos y servicios de obras públicas.

Actualmente la EMA ha acreditado poco más de 50 laboratorios en concreto hidráulico y en el área de pavimentación, donde la EMA sólo ha acreditado a no más de cinco laboratorios a nivel nacional.

Esta situación no ha permitido que las dependencias oficiales que realizan obras de pavimentación únicamente contraten laboratorios acreditados, o exijan a las empresas constructoras contratadas que solo empleen laboratorios acreditados.

Conviene comentar que las normas que se exigen para evaluar los laboratorios interesados en acreditarse, se basan en las *normas internacionales de aseguramiento de calidad, universalmente reconocidas como las Normas ISO 9000.*

Que los laboratorios definan, documenten e implanten un sistema de calidad interno para el desarrollo de sus actividades, basado en las recomendaciones de las Normas ISO de aseguramiento de calidad.

También hay que señalar que las normas ISO se han estado aplicando en otras áreas de fabricación, manufactura, industrial y de servicios del país con mucho éxito. Las empresas de estas áreas han logrado el reconocimiento de la aplicación de sus sistemas de calidad, mediante la certificación de empresas internacionales reconocidas en sistemas de calidad.

Observaciones: agregar temario, bibliografía, citas e imágenes que ejemplifique el tema

2.7 Pruebas de calidad para asfaltos normales

PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO

Esta sección describe, en términos generales, las pruebas necesarias para determinar y medir las siguientes propiedades viscosidad, penetración, punto de inflamación, endurecimiento y envejecimiento, ductilidad, solubilidad y peso específico. Las normas de la ASTM que describen en detalle el equipo y los procedimientos relacionados con cada ensayo.

VISCOSIDAD

Las especificaciones de los trabajos de pavimentación requieren, generalmente, ciertos valores de viscosidad a temperaturas de 60°C (140°F) y 135°C (275°F).

La viscosidad a 60°C (140°F) es la viscosidad usada para clasificar el cemento asfáltico. Ella representa la viscosidad del cemento asfáltico a la temperatura mas alta que el pavimento puede llegar a experimentar durante su servicio La viscosidad a 135°C (275°F) corresponde, aproximadamente, a la viscosidad del asfalto durante el mezclado y la colocación. El conocer la consistencia de un asfalto dado a estas dos temperaturas ayuda a determinar si el asfalto es apropiado o no para el pavimento que esta siendo diseñado.

La prueba de viscosidad a 60°C (140°F) utiliza un viscosímetro de tubo capilar (Figura 2.10), el cual consiste en un tubo calibrado de vidrio que mide el flujo del asfalto. El viscosímetro es colocado en un baño de agua con temperatura controlada y es pre-calentado a 60°C (140°F). Luego se vierte, en el extremo ancho del viscosímetro, una muestra de cemento asfáltico calentada a la misma temperatura (Figura 2.11).

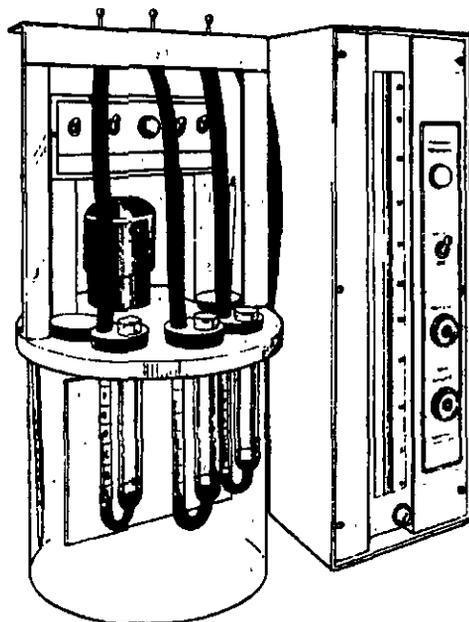


FIGURA 2.10 - Viscosímetro de Tubo Capilar en un Baño de Temperatura Constante.

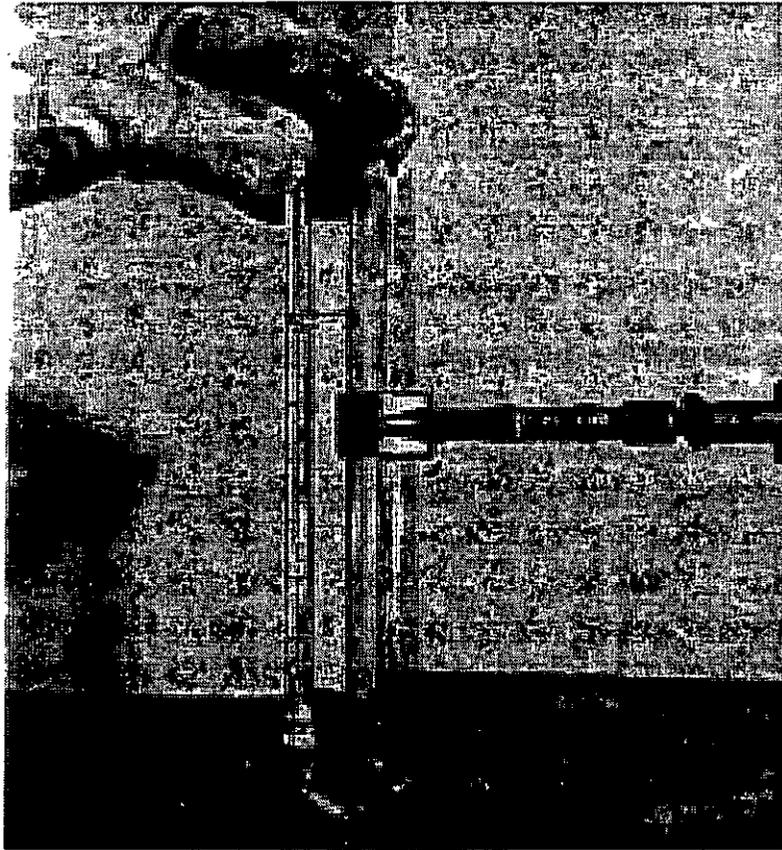


FIGURA 2.11 - Colocando una Muestra de Cemento Asfáltico en un Viscosímetro

A una temperatura de 60°C (140°F), es necesario aplicar un vacío parcial al extremo pequeño del tubo para pasar el asfalto a través del mismo, debido a que el cemento asfáltico es muy viscoso y no puede fluir fácilmente a través de la estrecha abertura del tubo capilar. El tiempo que el asfalto toma para pasar de una marca a otra del tubo es registrado, a medida que este comienza a fluir. Este tiempo es convertido fácilmente a poises, siendo la unidad normal de medida para viscosidad de asfaltos. El ensayo de viscosidad a 135°C (275°F) es similar al ensayo descrito anteriormente; sin embargo, debe haber ciertas variaciones debido a que la temperatura es mas alta. En primer lugar, es necesario usar un aceite claro en el baño con temperatura controlada debido a que el agua se evaporaría a 135°C (275°F). En segundo lugar, se utiliza un viscosímetro que no requiera de la aplicación de vacío debido a que el cemento asfáltico posee suficiente fluidez a 135°C (275°F). Por último, la medida de viscosidad utilizada es convertida a centistokes en vez de poises, debido que el flujo a través del tubo es inducido por gravedad y no por vacío.

PENETRACIÓN

El ensayo de penetración es otra medida de consistencia. La prueba esta incluida en las especificaciones basadas en viscosidad para impedir que sean usados los cementos asfálticos que tengan valores inapropiados de penetración a 25°C (77°F). La prueba normal de penetración consiste, como primera medida, en estabilizar una muestra de cemento asfáltico a una temperatura de 25°C (77°F) en un baño de agua con temperatura controlada. Seguidamente, una aguja de dimensiones prescritas se coloca sobre la superficie de la muestra bajo una carga de 100 gramos y por un tiempo exacto de 5 segundos (Figura 2.12). La distancia que la aguja penetra en el cemento asfáltico es registrada en unidades de 0.1 mm. La cantidad de estas unidades es llamada la "penetración" de la muestra.

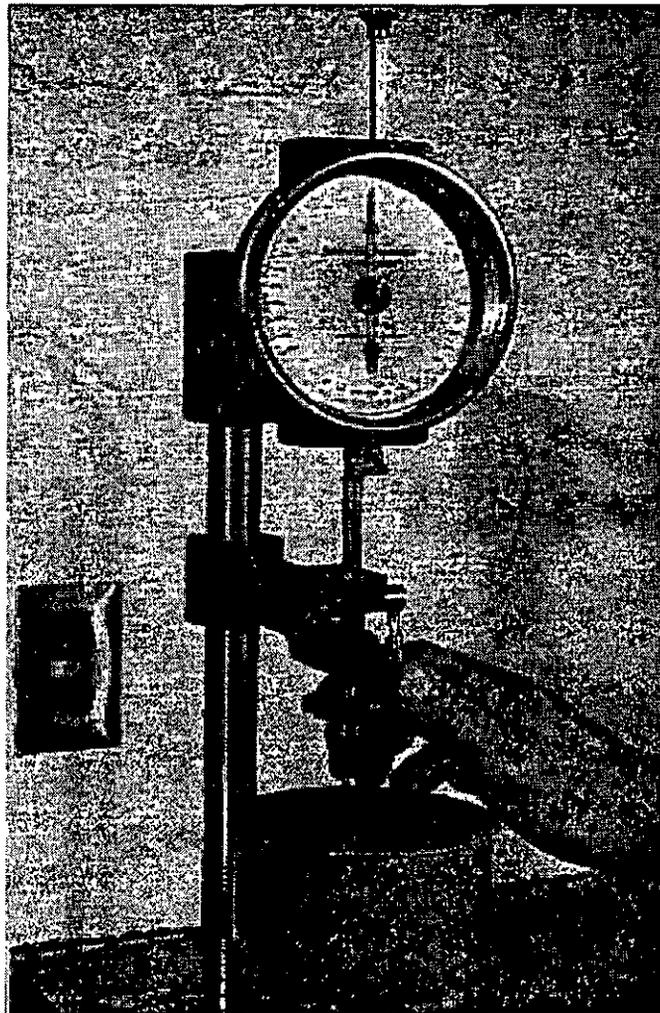


FIGURA 2.12 - Ensayo de Penetración.

PUNTO DE INFLAMACIÓN

El punto de inflamación de un cemento asfáltico es la temperatura mas baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un "destello" en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación no debe ser confundido con el punto de combustión, el cual es la temperatura mas baja a la cual el cemento asfáltico se inflama y se quema. El punto de inflamación consiste, tan solo, en la combustión instantánea de las fracciones volátiles que se están separando del asfalto.

El punto de inflamación de un cemento asfáltico se determina para identificar la temperatura máxima a la cual este puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame. Esta información es muy importante debido a que el cemento asfáltico es generalmente calentado en su almacenaje con el fin de mantener una viscosidad lo suficiente baja para que el material pueda ser bombeado.

El procedimiento básico para determinar el punto de inflamación consiste en calentar, gradualmente, una muestra de cemento asfáltico en una copa de latón mientras se esta aplicando una pequeña llama sobre la superficie de la muestra (Figura 2.13). La temperatura a la cual se presentan destellos instantáneos de vapores sobre la superficie se denomina punto de inflamación. El Ensayo de Copa Abierta de Cleveland es el procedimiento mas comúnmente usado para determinar el punto de inflamación. Sin embargo, el Ensayo de Pensky-Martens es a veces usado. Ambos sirven el mismo propósito.

PRUEBA DE PELÍCULA DELGADA EN HORNO (TFO) Y PRUEBA DE PELÍCULA DELGADA EN HORNO ROTATORIO (RTFO)

Estas pruebas no son verdaderas pruebas. Solamente son procedimientos que exponen una muestra de asfalto a unas condiciones que aproximan las ocurridas durante las operaciones de plantas de mezclado en caliente. Las pruebas de viscosidad y penetración, efectuadas sobre las muestras obtenidas después de los ensayos de TFO o RTFO, son usadas para medir el endurecimiento anticipado, del material, durante la construcción y durante el servicio del pavimento.

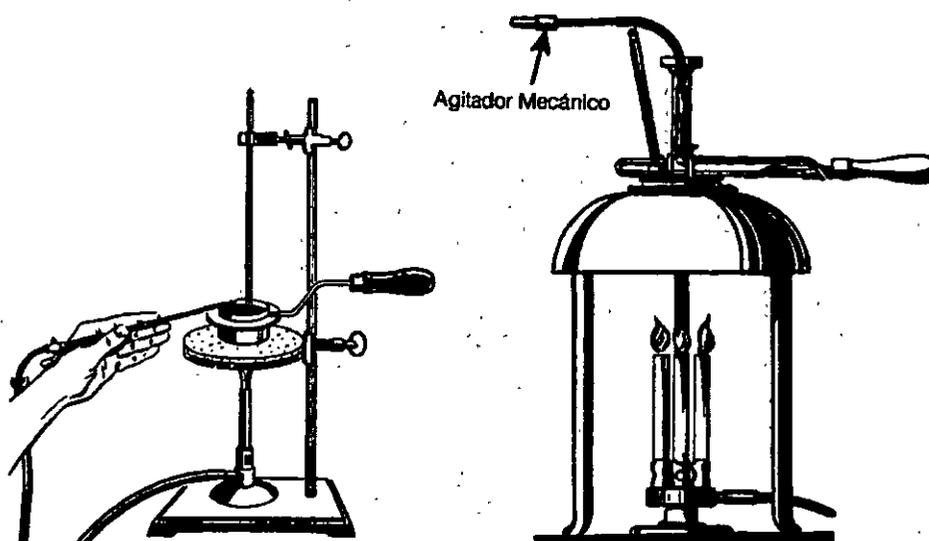


FIGURA 2.13 - Pruebas de Punto de Inflamación: (izquierda) Ensayo de Copa Abierta de Cleveland, (derecha) Ensayo de Pensky-Martens.

El procedimiento de TFO consiste en colocar una cantidad exacta de cemento asfáltico en un platillo de fondo plano tal que la muestra cubra el fondo del platillo con un espesor aproximado de 3 mm (1/8 pulgada). La muestra y el platillo se colocan, luego, en un plato rotatorio dentro de un horno (Figura 2.14), y se mantiene una temperatura de 163°C (325°F) por cinco horas. En seguida se ensaya la muestra envejecida y endurecida artificialmente, para determinar su valor de viscosidad y/o penetración.

El procedimiento de RTFO ha sido desarrollado por las agencias ubicadas en el Oeste de los Estados Unidos. Tiene el mismo propósito del ensayo TFO pero utiliza equipos y procedimientos diferentes.

Como puede apreciarse en la Figura 2.15, el equipo requerido por la prueba RTFO incluye un horno especial y unas botellas especialmente diseñadas para contener la muestra del ensayo. La muestra de cemento asfáltico se coloca en la botella, y luego se pone, de costado, en un soporte rotatorio, el cual hace girar continuamente la botella dentro del horno (mantenido a 163°C (325°F)). La rotación de la botella expone continuamente el cemento asfáltico en forma de películas delgadas. La abertura de la botella pasa, durante cada rotación completa, por un chorro de aire que remueve de la botella cualquier acumulación de vapores.

Las ventajas del ensayo de RTFO sobre el ensayo de TFO consisten en que el horno del RTFO permite acomodar un mayor número de muestras y que el tiempo requerido para endurecer las muestras es menor.

Ductilidad

La ductilidad es una medida de cuanto puede ser estirada una muestra de asfalto antes de que se rompa en dos. La ductilidad es medida mediante una prueba de "extensión", en donde una probeta de cemento asfáltico es extendida o estirada a una velocidad y una temperatura específica (Figura 2.16). El estiramiento continúa hasta que el hilo de cemento asfáltico se rompa. La longitud del hilo de material en el momento del corte se mide en centímetros y se denomina ductilidad de la muestra.

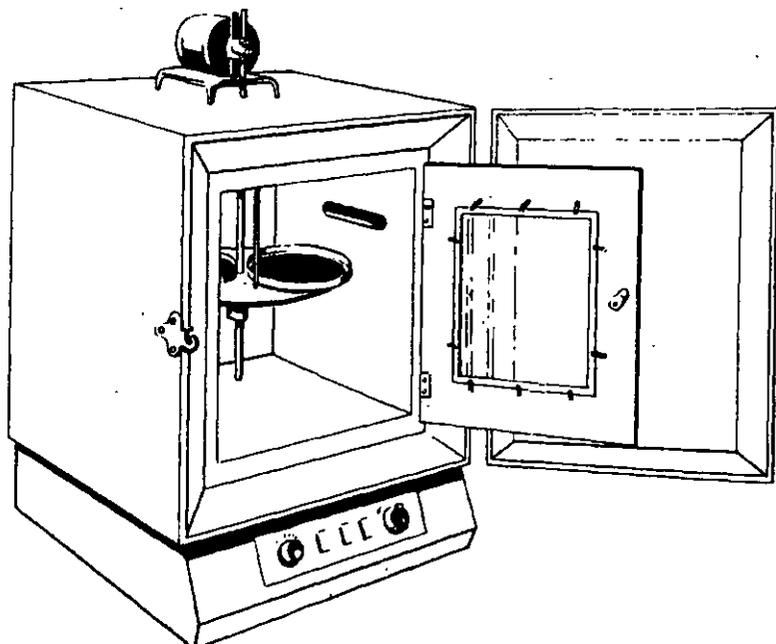


FIGURA 2.14 - Prueba de Película Delgada en Horno.

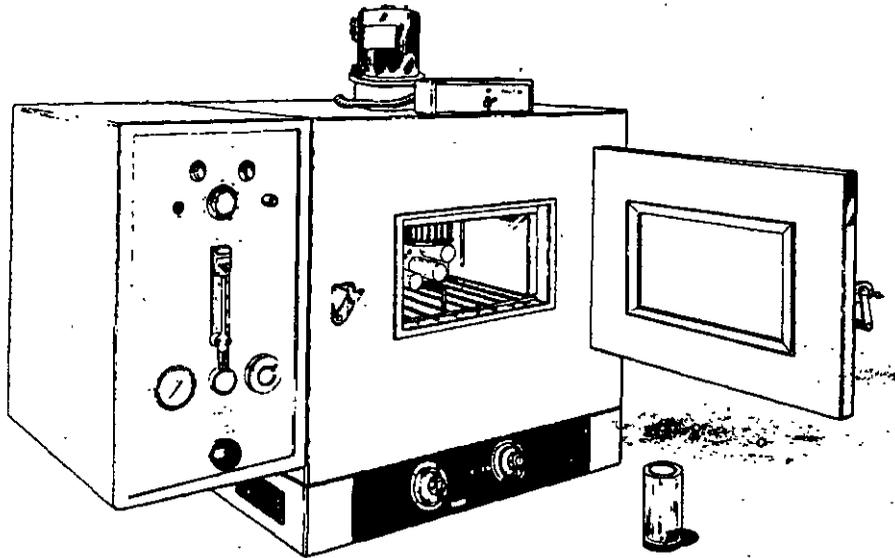


FIGURA 2.15 - Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio.

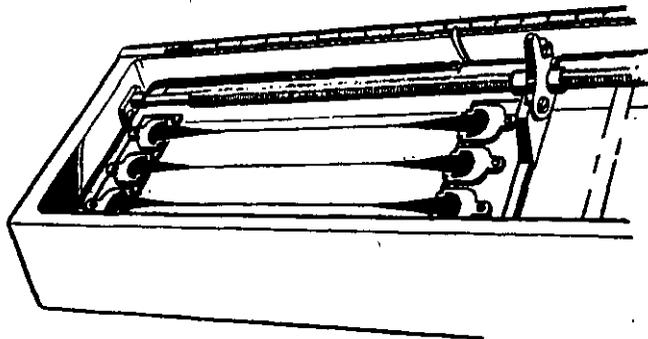


FIGURA 2.16 - Prueba de Ductilidad.

SOLUBILIDAD

El ensayo de solubilidad es un procedimiento para medir la pureza de un cemento asfáltico. Una muestra es sumergida en un solvente (tricloroetileno) en donde se disuelven sus componentes cementantes activos. Las impurezas como las sales, el carbono libre, y los contaminantes inorgánicos, no se disuelven sino que se

depositan en forma de partícula. Estas impurezas insolubles son luego filtradas fuera de la solución y medidas como una proporción de la muestra original.

PESO ESPECÍFICO

El peso específico es la proporción del peso de cualquier volumen de material al peso de un volumen igual de agua, ambos a una temperatura determinada. Como ejemplo, una sustancia con un peso específico de 1.6 pesa 1.6 veces mas que el agua.

El peso específico de un cemento asfáltico no se indica, normalmente, en las especificaciones de la obra. De todas maneras, hay dos razones importantes por las cuales se debe conocer el peso específico del cemento asfáltico usado:

- El asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando es enfriado. Esto significa que el volumen dado de una cierta cantidad de cemento asfáltico será mayor a altas temperaturas. Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones - de temperatura-volumen, las cuales serán discutidas mas adelante.
- El peso específico de un asfalto es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos (espacios de aire) de un pavimento compactado.

El peso específico es determinado, generalmente, usando el método del picnómetro (Figura 2.17) (AASHTO T 228). Los resultados para el asfalto, como para el agua, se expresan normalmente en términos de peso específico a una temperatura dada. Esto se debe a que el peso específico varía con la expansión y la contracción del cemento asfáltico, a diferentes temperaturas. (Ejemplo: Peso específico 1.05 a 15.6°115.6°C (60°160°F) significa que el peso específico del cemento asfáltico ensayado es de 1.05 cuando el cemento asfáltico y el agua están a una temperatura de 15.6°C (60°F)).

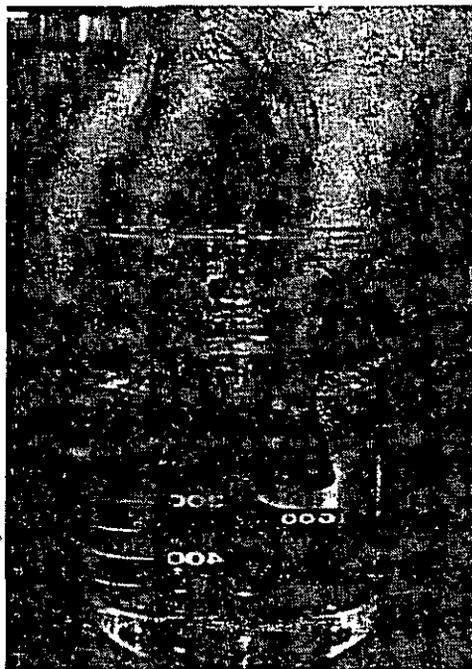


FIGURA 2.17 - Determinación del Peso Específico usando un Picnómetro (AASHTO T 228).

MANEJO, ALMACENAMIENTO, Y MUESTREO DE ASFALTO

El historial de seguridad para el manejo, almacenamiento y muestreo de asfalto es bueno. De todas maneras, ha habido accidentes que han ocasionado daños a propiedad, lesiones personales y pérdida de vida. Para prevenir tales desgracias, todo el mundo debe conocer y seguir buenas prácticas de seguridad. Cuando ocurre un accidente, cada quien debe saber cómo reaccionar y cual tratamiento de primeros auxilios es el apropiado.

El inspector debe estar al tanto de las fuentes potenciales de contaminación que puedan existir en el lugar donde el asfalto es manejado o almacenado. El inspector también debe ser capaz de identificar y evitar prácticas que conduzcan a la contaminación de muestras, debido a que él mismo puede verse obligado a tomar muestras de asfalto para ensayos. Finalmente, el inspector debe entender los cambios que ocurren en el volumen de asfalto cuando este es calentado o enfriado. Estos conocimientos son especialmente importantes, cuando se comparan cantidades de asfalto a diferentes temperaturas.

SEGURIDAD EN EL MANEJO DEL ASFALTO CALIENTE

En una planta de asfalto las temperaturas usualmente exceden los 150°C (300°F). Las superficies de metal de los equipos de la planta generalmente oscilan entre los 65°C (150°F) y los 95°C (200°F). En consecuencia, cualquier contacto momentáneo con el asfalto caliente o con el equipo de la planta, incluyendo tanques, tuberías, secadores, calderas, y casas de calderas, puede quemar severamente la piel expuesta. Cuatro precauciones generales contra estas dolorosas, y a veces desfigurantes quemaduras son:

- Esté consciente de donde están localizados los riesgos de quemaduras.
- Use las áreas designadas para caminar y manténgase alejado de situaciones peligrosas.
- Siempre use la ropa adecuada de trabajo.
- Conozca y siga todos los procedimientos de seguridad relacionados con el manejo de material y equipo caliente.

En caso de que ocurra una quemadura, siga las siguientes normas generales para el tratamiento:

En el caso de quemaduras locales de asfalto en la piel, aplique agua fría o una bolsa de hielo para reducir el calor del asfalto y la piel.

- En el caso donde las quemaduras cubran más del 10 por ciento del cuerpo (aproximadamente el área de piel de un brazo o de media pierna) aplique agua tibia en vez de agua fría. El agua tibia reducirá la temperatura del asfalto y de la piel sin causar un shock, el cual puede ser inducido si se aplica agua fría o hielo a quemaduras mayores.
- No remueva el asfalto de la piel.
- No cubra el área afectada con una venda.
- Asegúrese que un médico revise la quemadura inmediatamente.

El sulfuro de hidrógeno es un producto de la reacción entre el hidrógeno y el azufre presentes, naturalmente, en el asfalto. En concentraciones bajas, el sulfuro de hidrógeno no es peligroso; sin embargo, en concentraciones altas, como las encontradas en tanques de almacenamiento y otras áreas encerradas, puede ser letal. Para prevenir demasiada exposición a los vapores de sulfuro de hidrógeno:

- Mantenga su cara alejada, por lo menos un metro, de las escotillas de los tanques de asfalto.
- Mantenga su cara en dirección contraria al viento al estar cerca de las escotillas abiertas.
- Evite respirar los vapores cuando abra las tapas de las escotillas o cuando obtenga muestras.

En caso de demasiada exposición a los vapores de sulfuro de hidrógeno: Mueva la víctima a un área de aire fresco.

- Administre oxígeno si la víctima respira con dificultad.
- Comience respiración artificial si la víctima deja de respirar.
- Haga que la víctima sea examinada inmediatamente por un médico.

ALMACENANDO ASFALTO

En una planta estacionaria de asfalto, el asfalto es almacenado en tanques aislados y calientes, cuya capacidad promedio es de 76,000 litros (20,000 galones). Los tanques montados en remolques pequeños son usados para plantas portátiles. Su capacidad es generalmente la mitad de la de los tanques fijos o estacionarios.

Los tanques de almacenamiento están equipados con espirales térmicas de vapor, espirales de aceite caliente, o calentadores de gas o eléctricos, con el fin de mantener el asfalto con suficiente fluidez para que pueda ser bombeado con facilidad. Existen ciertas precauciones que deben tomarse, respecto a las temperaturas en los tanques, para poder garantizar la seguridad:

- Verifique y registre periódicamente las temperaturas en los tanques.
- Use solamente el instrumento adecuado cuando mida la temperatura en los tanques.
- Evite tomar lecturas de temperatura cerca de los espirales de calentamiento, cerca de la pared del tanque o cerca del fondo del tanque. Dichas lecturas son, generalmente, imprecisas.
- Desde el punto de vista de seguridad es deseable almacenar el asfalto a una temperatura muy por debajo del punto de inflamación. Recuerde que los valores reportados en el ensayo de punto de inflamación son específicos de los procedimientos del ensayo y no representan, necesariamente, las atmósferas de vapor existentes en el tanque. En consecuencia, el punto de inflamación del asfalto en el lugar de almacenaje puede variar, considerablemente, respecto al punto de inflamación determinado en el laboratorio. La Figura 2.18 presenta normas que sirven de guía para el almacenamiento y manejo de varios tipos y grados de asfalto. Aun cuando no están destinadas a ser estrictas, las normas sirven para indicar temperaturas seguras de almacenaje, siendo a la vez eficaces para mantener la fluidez del asfalto, cumplir con regulaciones ambientales, y cumplir con las especificaciones de las agencias.

- Revise regularmente los tanques de almacenamiento y los espirales para ver si hay señales de daño o escape.

Los camiones y los vagones de ferrocarril que generalmente transportan asfalto pueden ser usados, a veces, para transportar otros productos del petróleo. Debido a esto, a veces se encuentran residuos no-asfálticos en los tanques a ser cargados con el asfalto; residuos que pueden contaminar la carga de asfalto. Esta contaminación puede resultar, no solamente, en un asfalto que no cumpla con especificaciones, sino también en un aumento en el peligro de incendio o explosión. Investigaciones previas han mostrado que muchos asfaltos que están fuera de especificaciones tienen puntos de inflamación muy bajos. Por ejemplo, 0.1 por ciento de aceite diesel en el cemento asfáltico puede disminuir el punto de inflamación tanto como 27°C (50°F) (ensayo de Pensky-Martens), y aumentar la penetración tanto como 10 puntos. Dicha contaminación asciende solamente a una parte por mil, pero los efectos en las propiedades del asfalto son grandes. Para minimizar estos peligros, refiérase a la Figura 2.19 cuando este cargando asfalto en tanques previamente usados para transportar otros productos.

MUESTREANDO ASFALTO

La única manera de saber si el cemento asfáltico entregado en la planta cumple con las especificaciones, es tomar muestras del material y hacerlas ensayar en el laboratorio. Las muestras deben ser representativas del cargamento total para poder obtener resultados confiables. Es muy probable que se obtengan resultados engañosos en los ensayos si las muestras están alteradas o contaminadas. Tales resultados podrían ser usados para rechazar un cargamento completo de cemento asfáltico, aun cuando el asfalto este cumpliendo con las especificaciones. La Sección 4.5 contiene detalles sobre el muestreo de asfalto.

RELACIONES TEMPERATURA-VOLUMEN

El asfalto se expande cuando se calienta y se contrae cuando se enfría. Estos cambios en volumen pueden causar confusión porque la base de los pagos y los registros de la obra es el volumen de asfalto a 15°C (59°F), sin importar la temperatura a la cual el asfalto es transportado y almacenado. Por consiguiente, cuando son entregados 19,000 litros (5,019 galones) de asfalto a 150°C (302°F), su volumen a 15°C (59°F) debe ser calculado y registrado.

El cálculo necesario es simple, y solo requiere la siguiente información:

- La temperatura del asfalto.
- El peso específico del asfalto.

La temperatura del asfalto y su peso específico son utilizados para localizar el factor de corrección en una de las tablas de la Figura 2.20. Estas tablas han estado en uso por lo menos durante las últimas tres décadas y son la única información disponible, hoy en día, para corregir temperaturas por encima de 150°C (302°F). Sin embargo, la precisión de las tablas no esta garantizada.

Una vez que el inspector conozca la temperatura del asfalto y el factor de corrección adecuado, deberá proceder a usar la siguiente formula para calcular el volumen de asfalto a 15°C (59°F):

$$V = V_t (CF)$$

Tipo y Grado	Referencia	Punto de Inflamación Mínimo °F (°C)	Temperatura de Almacenaje °F (°C)
AC-2.5	AASHTO M226	325 (163)	320 (160)
-5		350 (177)	330 (166)
-10		425 (219)	345 (174)
-20		450 (232)	350 (177)
-40		450 (232)	350 (177)
AR-1000	AASHTO M226	400 (205)	325 (163)
-2000		425 (219)	335 (168)
-4000		440 (227)	350 (177)
-8000		450 (232)	350 (177)
-16000		460 (238)	350 (177)
Pen 40-50	AASHTO M20	450 (232)	350 (177)
60-70		450 (232)	350 (177)
85-100		450 (232)	350 (177)
120-150		425 (219)	350 (177)
200-300		350 (177)	335 (168)
MC-30	AASHTO M82	100 (38)	130 (54)
-70		100 (38)	150 (71)
-250		150 (66)	195 (91)
-800		150 (66)	210 (99)
-3000		150 (66)	210 (99)
RC-70	AASHTO M81	—	160 (71)
-250		80 (27)	195 (91)
-800		80 (27)	210 (99)
-3000		80 (27)	210 (99)
SC-70	ASTM D 2026	150 (66)	160 (71)
-250		175 (79)	195 (91)
-800		200 (93)	210 (99)
-3000		225 (107)	210 (99)
Todos los Grados de Asfalto Emulsificado	AASHTO M140 & 208	—	180 (82)

FIGURA 2.18 - Guía de Temperatura para Almacenamiento y Manejo de Productos Asfálticos.

Ultimo Producto en el Tanque	Producto a ser Cargado			
	Cemento Asfáltico	Asfalto Diluido	Emulsión Catiónica	Emulsión Aniónica
Cemento Asfáltico	Puede Cargarse	Puede Cargarse	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse
Asfalto Diluido	Vaciar Completamente*	Puede Cargarse	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse
Emulsión Catiónica	Vaciar Completamente*	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse	Puede Cargarse	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse
Emulsión Aniónica	Vaciar Completamente*	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse	Puede Cargarse
Crudo de Petróleo y aceites combustibles residuales	Vaciar Completamente*	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse	Vaciar Tanque hasta que ninguna cantidad pueda registrarse
Cualquier otro producto que no este mencionado arriba	El tanque debe ser limpiado	El tanque debe ser limpiado	El tanque debe ser limpiado	El tanque debe ser limpiado

*Cualquier material remanente ocasionará condiciones peligrosas

FIGURA 2.19 - Guía para Cargar Productos Asfálticos.

Donde:

$$\begin{aligned} V &= \text{Volumen a } 15^{\circ}\text{C (59}^{\circ}\text{F)} \\ V_t &= \text{Volumen a la temperatura dada} \\ CF &= \text{Factor de Corrección de la Figura 2.20} \end{aligned}$$

El siguiente ejemplo ilustra como se deben hacer los cálculos.

EJEMPLO:

Un camión acaba de entregar 19,000 litros (5,019 galones) de asfalto a una temperatura de 150°C (302°F). El peso específico del asfalto es 0.970. Cual será el volumen de asfalto a una temperatura de 15°C (59°F)?

Debido a que el peso específico del asfalto es mayor que 0.967, los factores de la Columna A (Figura 2.20) son usados para encontrar el factor de corrección. Para 150°C, el factor de corrección encontrado en las tablas es de 0.9177.

Entonces,

$$\begin{aligned} V &= 19,000 \text{ litros} \times 0.9177 \text{ ó} \\ &5,019 \text{ galones} \times 0.9177 \\ &= 17,436 \text{ litros ó } 4,606 \text{ galones} \end{aligned}$$

Por consiguiente, el volumen del asfalto a 15°C (59°F) es de 17,436 litros (4,606 galones).

Useo factores de la columna A para asthos con densidad API de 14.9° o menor, a 60°F, o con un peso específico 60/60°F de 0.967 o mayor.
 Useo factores de la columna B para asthos con densidades API de 15° a 34.9°, a 60°F, o con un peso específico 60/60°F de 0.850 a 0.966.

Temperatura Observada	Factor de Corrección de Volumen para 60°F A, B	Temperatura Observada	Factor de Corrección de Volumen para 60°F A, B	Temperatura Observada	Factor de Corrección de Volumen para 60°F A, B	Temperatura Observada	Factor de Corrección de Volumen para 60°F A, B
75	1.0241	158	0.9940	158	0.9940	158	0.9940
74	1.0237	157	0.9936	157	0.9936	157	0.9936
73	1.0231	156	0.9932	156	0.9932	156	0.9932
72	1.0225	155	0.9928	155	0.9928	155	0.9928
71	1.0217	154	0.9925	154	0.9925	154	0.9925
70	1.0211	153	0.9921	153	0.9921	153	0.9921
69	1.0205	152	0.9917	152	0.9917	152	0.9917
68	1.0200	151	0.9914	151	0.9914	151	0.9914
67	1.0194	150	0.9910	150	0.9910	150	0.9910
66	1.0188	149	0.9907	149	0.9907	149	0.9907
65	1.0183	148	0.9905	148	0.9905	148	0.9905
64	1.0179	147	0.9903	147	0.9903	147	0.9903
63	1.0175	146	0.9901	146	0.9901	146	0.9901
62	1.0172	145	0.9900	145	0.9900	145	0.9900
61	1.0169	144	0.9899	144	0.9899	144	0.9899
60	1.0166	143	0.9898	143	0.9898	143	0.9898
59	1.0163	142	0.9897	142	0.9897	142	0.9897
58	1.0161	141	0.9896	141	0.9896	141	0.9896
57	1.0159	140	0.9895	140	0.9895	140	0.9895
56	1.0157	139	0.9894	139	0.9894	139	0.9894
55	1.0155	138	0.9893	138	0.9893	138	0.9893
54	1.0153	137	0.9892	137	0.9892	137	0.9892
53	1.0152	136	0.9891	136	0.9891	136	0.9891
52	1.0151	135	0.9890	135	0.9890	135	0.9890
51	1.0150	134	0.9889	134	0.9889	134	0.9889
50	1.0149	133	0.9888	133	0.9888	133	0.9888
49	1.0148	132	0.9887	132	0.9887	132	0.9887
48	1.0147	131	0.9886	131	0.9886	131	0.9886
47	1.0146	130	0.9885	130	0.9885	130	0.9885
46	1.0145	129	0.9884	129	0.9884	129	0.9884
45	1.0144	128	0.9883	128	0.9883	128	0.9883
44	1.0143	127	0.9882	127	0.9882	127	0.9882
43	1.0142	126	0.9881	126	0.9881	126	0.9881
42	1.0141	125	0.9880	125	0.9880	125	0.9880
41	1.0140	124	0.9879	124	0.9879	124	0.9879
40	1.0139	123	0.9878	123	0.9878	123	0.9878
39	1.0138	122	0.9877	122	0.9877	122	0.9877
38	1.0137	121	0.9876	121	0.9876	121	0.9876
37	1.0136	120	0.9875	120	0.9875	120	0.9875
36	1.0135	119	0.9874	119	0.9874	119	0.9874
35	1.0134	118	0.9873	118	0.9873	118	0.9873
34	1.0133	117	0.9872	117	0.9872	117	0.9872
33	1.0132	116	0.9871	116	0.9871	116	0.9871
32	1.0131	115	0.9870	115	0.9870	115	0.9870
31	1.0130	114	0.9869	114	0.9869	114	0.9869
30	1.0129	113	0.9868	113	0.9868	113	0.9868
29	1.0128	112	0.9867	112	0.9867	112	0.9867
28	1.0127	111	0.9866	111	0.9866	111	0.9866
27	1.0126	110	0.9865	110	0.9865	110	0.9865
26	1.0125	109	0.9864	109	0.9864	109	0.9864
25	1.0124	108	0.9863	108	0.9863	108	0.9863
24	1.0123	107	0.9862	107	0.9862	107	0.9862
23	1.0122	106	0.9861	106	0.9861	106	0.9861
22	1.0121	105	0.9860	105	0.9860	105	0.9860
21	1.0120	104	0.9859	104	0.9859	104	0.9859
20	1.0119	103	0.9858	103	0.9858	103	0.9858
19	1.0118	102	0.9857	102	0.9857	102	0.9857
18	1.0117	101	0.9856	101	0.9856	101	0.9856
17	1.0116	100	0.9855	100	0.9855	100	0.9855
16	1.0115	99	0.9854	99	0.9854	99	0.9854
15	1.0114	98	0.9853	98	0.9853	98	0.9853
14	1.0113	97	0.9852	97	0.9852	97	0.9852
13	1.0112	96	0.9851	96	0.9851	96	0.9851
12	1.0111	95	0.9850	95	0.9850	95	0.9850
11	1.0110	94	0.9849	94	0.9849	94	0.9849
10	1.0109	93	0.9848	93	0.9848	93	0.9848
9	1.0108	92	0.9847	92	0.9847	92	0.9847
8	1.0107	91	0.9846	91	0.9846	91	0.9846
7	1.0106	90	0.9845	90	0.9845	90	0.9845
6	1.0105	89	0.9844	89	0.9844	89	0.9844
5	1.0104	88	0.9843	88	0.9843	88	0.9843
4	1.0103	87	0.9842	87	0.9842	87	0.9842
3	1.0102	86	0.9841	86	0.9841	86	0.9841
2	1.0101	85	0.9840	85	0.9840	85	0.9840
1	1.0100	84	0.9839	84	0.9839	84	0.9839
0	1.0099	83	0.9838	83	0.9838	83	0.9838
76	0.9951	224	0.9439	224	0.9439	224	0.9439
75	0.9955	223	0.9442	223	0.9442	223	0.9442
74	0.9958	222	0.9446	222	0.9446	222	0.9446
73	0.9962	221	0.9449	221	0.9449	221	0.9449
72	0.9965	220	0.9452	220	0.9452	220	0.9452
71	0.9969	219	0.9456	219	0.9456	219	0.9456
70	0.9972	218	0.9459	218	0.9459	218	0.9459
69	0.9976	217	0.9462	217	0.9462	217	0.9462
68	0.9979	216	0.9466	216	0.9466	216	0.9466
67	0.9983	215	0.9469	215	0.9469	215	0.9469
66	0.9986	214	0.9472	214	0.9472	214	0.9472
65	0.9989	213	0.9476	213	0.9476	213	0.9476
64	0.9992	212	0.9479	212	0.9479	212	0.9479
63	0.9995	211	0.9482	211	0.9482	211	0.9482
62	0.9997	210	0.9486	210	0.9486	210	0.9486
61	0.9999	209	0.9489	209	0.9489	209	0.9489
60	1.0000	208	0.9493	208	0.9493	208	0.9493
59	1.0003	207	0.9496	207	0.9496	207	0.9496
58	1.0007	206	0.9499	206	0.9499	206	0.9499
57	1.0010	205	0.9502	205	0.9502	205	0.9502
56	1.0014	204	0.9506	204	0.9506	204	0.9506
55	1.0017	203	0.9509	203	0.9509	203	0.9509
54	1.0021	202	0.9513	202	0.9513	202	0.9513
53	1.0024	201	0.9516	201	0.9516	201	0.9516
52	1.0028	200	0.9520	200	0.9520	200	0.9520
51	1.0031	199	0.9523	199	0.9523	199	0.9523
50	1.0035	198	0.9526	198	0.9526	198	0.9526
49	1.0038	197	0.9529	197	0.9529	197	0.9529
48	1.0042	196	0.9533	196	0.9533	196	0.9533
47	1.0046	195	0.9536	195	0.9536	195	0.9536
46	1.0049	194	0.9539	194	0.9539	194	0.9539
45	1.0053	193	0.9542	193	0.9542	193	0.9542
44	1.0056	192	0.9546	192	0.9546	192	0.9546
43	1.0060	191	0.9549	191	0.9549	191	0.9549
42	1.0063	190	0.9553	190	0.9553	190	0.9553
41	1.0067	189	0.9557	189	0.9557	189	0.9557
40	1.0070	188	0.9560	188	0.9560	188	0.9560
39	1.0074	187	0.9563	187	0.9563	187	0.9563
38	1.0077	186	0.9567	186	0.9567	186	0.9567
37	1.0081	185	0.9570	185	0.9570	185	0.9570
36	1.0084	184	0.9574	184	0.9574	184	0.9574
35	1.0088	183	0.9577	183	0.9577	183	0.9577
34	1.0091	182	0.9580	182	0.9580	182	0.9580
33	1.0095	181	0.9584	181	0.9584	181	0.9584
32	1.0098	180	0.9587	180	0.9587	180	0.9587
31	1.0102	179	0.9590	179	0.9590	179	0.9590
30	1.0105	178	0.9594	178	0.9594	178	0.9594
29	1.0109	177	0.9597	177	0.9597	177	0.9597
28	1.0112	176	0.9601	176	0.9601	176	0.9601
27	1.0116	175	0.9604	175	0.9604	175	0.9604
26	1.0119	174	0.9607	174	0.9607	174	0.9607
25	1.0123	173	0.9611	173	0.9611	173	0.9611
24	1.0126	172	0.9614	172	0.9614	172	0.9614
23	1.0130	171	0.9618	171	0.9618	171	0.9618
22	1.0133	170	0.9621	170	0.9621	170	0.9621
21	1.0137	169	0.9624	169	0.9624	169	0.9624
20	1.0141	168	0.9628	168	0.9628	168	0.9628
19	1.0144	167	0.9631	167	0.9631	167	0.9631
18	1.0148	166	0.9635	166	0.9635	166	0.9635
17	1.0151	165	0.9638	165	0.9638	165	0.9638
16	1.0155	164	0.9641	164	0.9641	164	0.9641
15	1.0158	163	0.9645	163	0.9645	163	0.9645
14	1.0162	162	0.9648	162	0.9648	162	0.9648
13	1.0165	161	0.9652	161	0.9652	161	0.9652
12	1.0169	160	0.9655	160	0.9655	160	0.9655
11	1.0172	159	0.9658	159	0.9658	159	0.9658
10	1.0175	158	0.9662	158	0.9662	158	0.9662
9	1.0179	157	0.9665	157	0.9665	157	0.9665
8	1.0183	156	0.9668	156	0.9668	156	0.9668
7	1.0186	155	0.9672	155	0.9672	155	0.9672
6	1.0190	154	0.9675	154	0.9675	154	0.9675
5	1.0194	153	0.9679	153	0.9679	153	0.9679
4	1.0197	152	0.9682	152	0.9682	152	0.9682
3	1.0201	151	0.9686	151	0.9686	151	0.9686
2	1.0205	150	0.9689	150	0.9689	150	0.9689
1							

FIGURA 2.20 - Correcciones Temperatura-Volumen para Asfalto

Temperatura Observada	Factor de Corrección de Volumen para 60°F A, B		Temperatura Observada	Factor de Corrección de Volumen para 60°F A, B		Temperatura Observada	Factor de Corrección de Volumen para 60°F A, B		Temperatura Observada	Factor de Corrección de Volumen para 60°F A, B	
	A	B		A	B		A	B		A	B
300	0.9187	0.9083	350	0.9024	0.8902	400	0.8864	0.8724	450	0.8703	0.8530
301	0.9184	0.9080	351	0.9021	0.8899	401	0.8861	0.8721	451	0.8702	0.8547
302	0.9181	0.9076	352	0.9018	0.8893	402	0.8857	0.8717	452	0.8699	0.8543
303	0.9177	0.9072	353	0.9015	0.8887	403	0.8854	0.8714	453	0.8696	0.8540
304	0.9174	0.9069	354	0.9011	0.8882	404	0.8851	0.8710	454	0.8693	0.8536
305	0.9171	0.9065	355	0.9008	0.8876	405	0.8848	0.8707	455	0.8690	0.8533
306	0.9167	0.9061	356	0.9005	0.8871	406	0.8845	0.8703	456	0.8687	0.8529
307	0.9164	0.9058	357	0.9002	0.8867	407	0.8841	0.8700	457	0.8683	0.8525
308	0.9161	0.9054	358	0.8998	0.8863	408	0.8838	0.8696	458	0.8680	0.8522
309	0.9158	0.9050	359	0.8995	0.8859	409	0.8835	0.8693	459	0.8677	0.8519
310	0.9154	0.9047	360	0.8992	0.8856	410	0.8832	0.8689	460	0.8674	0.8516
311	0.9151	0.9043	361	0.8989	0.8853	411	0.8829	0.8686	461	0.8671	0.8512
312	0.9148	0.9039	362	0.8986	0.8850	412	0.8826	0.8682	462	0.8668	0.8509
313	0.9145	0.9036	363	0.8982	0.8846	413	0.8822	0.8679	463	0.8665	0.8505
314	0.9141	0.9032	364	0.8979	0.8842	414	0.8819	0.8675	464	0.8661	0.8502
315	0.9138	0.9029	365	0.8976	0.8838	415	0.8816	0.8672	465	0.8658	0.8498
316	0.9135	0.9025	366	0.8973	0.8835	416	0.8813	0.8668	466	0.8655	0.8495
317	0.9132	0.9021	367	0.8969	0.8831	417	0.8810	0.8665	467	0.8652	0.8492
318	0.9128	0.9018	368	0.8966	0.8828	418	0.8806	0.8661	468	0.8649	0.8488
319	0.9125	0.9014	369	0.8963	0.8824	419	0.8803	0.8658	469	0.8646	0.8485
320	0.9122	0.9010	370	0.8960	0.8821	420	0.8800	0.8654	470	0.8643	0.8481
321	0.9118	0.9007	371	0.8957	0.8817	421	0.8797	0.8651	471	0.8640	0.8478
322	0.9115	0.9003	372	0.8953	0.8813	422	0.8794	0.8647	472	0.8636	0.8474
323	0.9112	0.9000	373	0.8950	0.8810	423	0.8791	0.8644	473	0.8633	0.8471
324	0.9109	0.8996	374	0.8947	0.8806	424	0.8787	0.8640	474	0.8630	0.8468
325	0.9105	0.8992	375	0.8944	0.8803	425	0.8784	0.8637	475	0.8627	0.8464
326	0.9102	0.8989	376	0.8941	0.8800	426	0.8781	0.8633	476	0.8624	0.8461
327	0.9099	0.8985	377	0.8937	0.8796	427	0.8778	0.8630	477	0.8621	0.8457
328	0.9096	0.8981	378	0.8934	0.8792	428	0.8775	0.8626	478	0.8618	0.8454
329	0.9092	0.8978	379	0.8931	0.8789	429	0.8772	0.8623	479	0.8615	0.8451
330	0.9089	0.8974	380	0.8928	0.8785	430	0.8768	0.8619	480	0.8611	0.8447
331	0.9086	0.8971	381	0.8924	0.8782	431	0.8765	0.8616	481	0.8608	0.8444
332	0.9083	0.8967	382	0.8921	0.8778	432	0.8762	0.8612	482	0.8605	0.8440
333	0.9079	0.8963	383	0.8918	0.8774	433	0.8759	0.8609	483	0.8602	0.8437
334	0.9076	0.8960	384	0.8915	0.8771	434	0.8756	0.8605	484	0.8599	0.8433
335	0.9073	0.8956	385	0.8912	0.8767	435	0.8753	0.8602	485	0.8596	0.8430
336	0.9070	0.8952	386	0.8908	0.8764	436	0.8749	0.8599	486	0.8593	0.8427
337	0.9066	0.8949	387	0.8905	0.8760	437	0.8746	0.8595	487	0.8590	0.8423
338	0.9063	0.8945	388	0.8902	0.8757	438	0.8743	0.8592	488	0.8587	0.8420
339	0.9060	0.8942	389	0.8899	0.8753	439	0.8740	0.8588	489	0.8583	0.8416
340	0.9057	0.8938	390	0.8896	0.8750	440	0.8737	0.8585	490	0.8580	0.8413
341	0.9053	0.8934	391	0.8892	0.8746	441	0.8734	0.8581	491	0.8577	0.8410
342	0.9050	0.8931	392	0.8889	0.8743	442	0.8731	0.8578	492	0.8574	0.8406
343	0.9047	0.8927	393	0.8886	0.8740	443	0.8727	0.8574	493	0.8571	0.8403
344	0.9044	0.8924	394	0.8883	0.8736	444	0.8724	0.8571	494	0.8568	0.8399
345	0.9040	0.8920	395	0.8880	0.8732	445	0.8721	0.8567	495	0.8565	0.8396
346	0.9037	0.8916	396	0.8876	0.8728	446	0.8718	0.8564	496	0.8562	0.8393
347	0.9034	0.8913	397	0.8873	0.8725	447	0.8715	0.8560	497	0.8559	0.8389
348	0.9031	0.8909	398	0.8870	0.8721	448	0.8712	0.8557	498	0.8556	0.8386
349	0.9028	0.8906	399	0.8867	0.8718	449	0.8709	0.8554	499	0.8552	0.8383
									500	0.8549	0.8379

*Use factores de la columna A para asfaltos con densidad API de 14.9° o menor, a 60°F, o con un peso específico 60/60°F de 0.967 o mayor.
 *Use factores de la columna B para asfaltos con densidades API de 15° a 34.9°, a 60°F, o con un peso específico 60/60°F de 0.850 a 0.966.

FIGURA 2.20 - Correcciones Temperatura-Volumen para Asfalto (continuación).

Temperatura Observada	Factor de Corrección de Volumen para 15°C °F		Temperatura Observada	Factor de Corrección de Volumen para 15°C °F		Temperatura Observada	Factor de Corrección de Volumen para 15°C °F		Temperatura Observada	Factor de Corrección de Volumen para 15°C °F	
	A	B		A	B		A	B		A	B
125.0	0,9326	0,9238	163.5	0,9104	0,8991	200.0	0,8886	0,8749	237.5	0,8673	0,8514
125.5	0,9323	0,9235	163.0	0,9101	0,8987	200.5	0,8883	0,8746	238.0	0,8670	0,8510
126.0	0,9320	0,9231	163.5	0,9098	0,8984	201.0	0,8880	0,8743	238.5	0,8667	0,8507
126.5	0,9317	0,9228	164.0	0,9095	0,8981	201.5	0,8877	0,8739	239.0	0,8664	0,8504
127.0	0,9314	0,9225	164.5	0,9092	0,8977	202.0	0,8874	0,8736	239.5	0,8661	0,8501
127.5	0,9311	0,9222	165.0	0,9089	0,8974	202.5	0,8872	0,8733	240.0	0,8658	0,8498
128.0	0,9308	0,9218	165.5	0,9086	0,8971	203.0	0,8869	0,8730	240.5	0,8655	0,8495
128.5	0,9305	0,9215	166.0	0,9083	0,8968	203.5	0,8866	0,8727	241.0	0,8652	0,8492
129.0	0,9302	0,9212	166.5	0,9080	0,8964	204.0	0,8863	0,8723	241.5	0,8650	0,8489
129.5	0,9299	0,9208	167.0	0,9077	0,8961	204.5	0,8860	0,8720	242.0	0,8647	0,8486
130.0	0,9296	0,9205	167.5	0,9075	0,8958	205.0	0,8857	0,8717	242.5	0,8644	0,8483
130.5	0,9293	0,9202	168.0	0,9072	0,8955	205.5	0,8854	0,8714	243.0	0,8641	0,8480
131.0	0,9290	0,9199	168.5	0,9069	0,8952	206.0	0,8851	0,8711	243.5	0,8638	0,8477
131.5	0,9287	0,9195	169.0	0,9066	0,8948	206.5	0,8848	0,8708	244.0	0,8636	0,8474
132.0	0,9284	0,9191	169.5	0,9063	0,8945	207.0	0,8846	0,8705	244.5	0,8633	0,8471
132.5	0,9281	0,9188	170.0	0,9060	0,8942	207.5	0,8843	0,8702	245.0	0,8630	0,8468
133.0	0,9278	0,9185	170.5	0,9057	0,8939	208.0	0,8840	0,8698	245.5	0,8627	0,8465
133.5	0,9275	0,9181	171.0	0,9054	0,8935	208.5	0,8837	0,8695	246.0	0,8624	0,8462
134.0	0,9272	0,9178	171.5	0,9051	0,8932	209.0	0,8835	0,8692	246.5	0,8622	0,8459
134.5	0,9269	0,9174	172.0	0,9048	0,8929	209.5	0,8832	0,8689	247.0	0,8619	0,8456
135.0	0,9266	0,9171	172.5	0,9046	0,8926	210.0	0,8829	0,8686	247.5	0,8616	0,8453
135.5	0,9263	0,9168	173.0	0,9043	0,8922	210.5	0,8826	0,8683	248.0	0,8613	0,8450
136.0	0,9260	0,9164	173.5	0,9040	0,8919	211.0	0,8823	0,8680	248.5	0,8610	0,8446
136.5	0,9257	0,9161	174.0	0,9037	0,8916	211.5	0,8820	0,8676	249.0	0,8608	0,8443
137.0	0,9254	0,9158	174.5	0,9034	0,8912	212.0	0,8817	0,8673	249.5	0,8605	0,8440
137.5	0,9251	0,9155	175.0	0,9031	0,8909	212.5	0,8815	0,8670	250.0	0,8602	0,8437
138.0	0,9248	0,9151	175.5	0,9028	0,8906	213.0	0,8812	0,8667	250.5	0,8599	0,8434
138.5	0,9246	0,9148	176.0	0,9025	0,8903	213.5	0,8809	0,8664	251.0	0,8596	0,8431
139.0	0,9243	0,9145	176.5	0,9022	0,8899	214.0	0,8806	0,8660	251.5	0,8594	0,8428
139.5	0,9239	0,9141	177.0	0,9019	0,8896	214.5	0,8803	0,8657	252.0	0,8591	0,8425
140.0	0,9236	0,9138	177.5	0,9017	0,8893	215.0	0,8800	0,8654	252.5	0,8588	0,8422
140.5	0,9233	0,9135	178.0	0,9014	0,8890	215.5	0,8797	0,8651	253.0	0,8585	0,8418
141.0	0,9230	0,9131	178.5	0,9011	0,8887	216.0	0,8794	0,8648	253.5	0,8582	0,8415
141.5	0,9227	0,9128	179.0	0,9008	0,8883	216.5	0,8792	0,8645	254.0	0,8580	0,8412
142.0	0,9224	0,9125	179.5	0,9005	0,8880	217.0	0,8789	0,8642	254.5	0,8577	0,8409
142.5	0,9222	0,9122	180.0	0,9002	0,8877	217.5	0,8786	0,8639	255.0	0,8574	0,8406
143.0	0,9219	0,9118	180.5	0,8999	0,8874	218.0	0,8783	0,8635	255.5	0,8571	0,8403
143.5	0,9216	0,9115	181.0	0,8996	0,8871	218.5	0,8780	0,8632	256.0	0,8568	0,8400
144.0	0,9213	0,9112	181.5	0,8993	0,8867	219.0	0,8778	0,8629	256.5	0,8566	0,8397
144.5	0,9210	0,9108	182.0	0,8990	0,8864	219.5	0,8775	0,8626	257.0	0,8563	0,8394
145.0	0,9207	0,9105	182.5	0,8988	0,8861	220.0	0,8772	0,8623	257.5	0,8560	0,8391
145.5	0,9204	0,9102	183.0	0,8985	0,8858	220.5	0,8769	0,8620	258.0	0,8557	0,8388
146.0	0,9201	0,9098	183.5	0,8982	0,8855	221.0	0,8766	0,8617	258.5	0,8554	0,8385
146.5	0,9198	0,9095	184.0	0,8979	0,8851	221.5	0,8763	0,8614	259.0	0,8552	0,8382
147.0	0,9195	0,9092	184.5	0,8976	0,8848	222.0	0,8760	0,8611	259.5	0,8549	0,8379
147.5	0,9192	0,9089	185.0	0,8973	0,8845	222.5	0,8758	0,8608	260.0	0,8546	0,8376
148.0	0,9189	0,9085	185.5	0,8970	0,8842	223.0	0,8755	0,8604	260.5	0,8543	0,8373
148.5	0,9186	0,9082	186.0	0,8967	0,8839	223.5	0,8752	0,8601	261.0	0,8540	0,8370
149.0	0,9183	0,9079	186.5	0,8964	0,8835	224.0	0,8749	0,8598	261.5	0,8538	0,8367
149.5	0,9180	0,9075	187.0	0,8961	0,8832	224.5	0,8746	0,8595	262.0	0,8535	0,8364
150.0	0,9177	0,9072	187.5	0,8959	0,8829	225.0	0,8743	0,8592	262.5	0,8532	0,8361
150.5	0,9174	0,9069	188.0	0,8956	0,8826	225.5	0,8740	0,8589	263.0	0,8529	0,8357
151.0	0,9171	0,9065	188.5	0,8953	0,8823	226.0	0,8737	0,8586	263.5	0,8526	0,8354
151.5	0,9168	0,9062	189.0	0,8950	0,8819	226.5	0,8735	0,8582	264.0	0,8524	0,8351
152.0	0,9165	0,9059	189.5	0,8947	0,8816	227.0	0,8732	0,8579	264.5	0,8521	0,8348
152.5	0,9163	0,9056	190.0	0,8944	0,8813	227.5	0,8729	0,8576	265.0	0,8518	0,8345
153.0	0,9160	0,9052	190.5	0,8941	0,8810	228.0	0,8726	0,8573	265.5	0,8515	0,8342
153.5	0,9157	0,9049	191.0	0,8938	0,8807	228.5	0,8723	0,8570	266.0	0,8512	0,8339
154.0	0,9154	0,9046	191.5	0,8935	0,8803	229.0	0,8721	0,8566	266.5	0,8510	0,8336
154.5	0,9151	0,9042	192.0	0,8932	0,8800	229.5	0,8718	0,8563	267.0	0,8507	0,8333
155.0	0,9148	0,9039	192.5	0,8930	0,8797	230.0	0,8715	0,8560	267.5	0,8504	0,8330
155.5	0,9145	0,9036	193.0	0,8927	0,8794	230.5	0,8712	0,8557	268.0	0,8501	0,8326
156.0	0,9142	0,9033	193.5	0,8924	0,8791	231.0	0,8709	0,8554	268.5	0,8498	0,8323
156.5	0,9139	0,9029	194.0	0,8921	0,8787	231.5	0,8707	0,8551	269.0	0,8496	0,8320
157.0	0,9136	0,9026	194.5	0,8918	0,8784	232.0	0,8704	0,8548	269.5	0,8493	0,8317
157.5	0,9133	0,9023	195.0	0,8915	0,8781	232.5	0,8701	0,8545	270.0	0,8490	0,8314
158.0	0,9130	0,9020	195.5	0,8912	0,8778	233.0	0,8698	0,8541	270.5	0,8487	0,8311
158.5	0,9127	0,9017	196.0	0,8909	0,8775	233.5	0,8695	0,8538	271.0	0,8484	0,8308
159.0	0,9124	0,9013	196.5	0,8906	0,8771	234.0	0,8693	0,8535	271.5	0,8482	0,8305
159.5	0,9121	0,9010	197.0	0,8903	0,8768	234.5	0,8690	0,8532	272.0	0,8479	0,8302
160.0	0,9118	0,9007	197.5	0,8901	0,8765	235.0	0,8687	0,8529	272.5	0,8476	0,8299
160.5	0,9115	0,9004	198.0	0,8898	0,8762	235.5	0,8684	0,8526	273.0	0,8473	0,8296
161.0	0,9112	0,9000	198.5	0,8895	0,8759	236.0	0,8681	0,8523	273.5	0,8470	0,8293
161.5	0,9109	0,8997	199.0	0,8892	0,8755	236.5	0,8678	0,8520	274.0	0,8468	0,8290
162.0	0,9106	0,8994	199.5	0,8889	0,8752	237.0	0,8675	0,8517	274.5	0,8465	0,8287

* Use factores de la columna A para asfaltos con densidades de 880 kg/m³ o mayores, a 15°C.
 * Use factores de la columna B para asfaltos con densidades de 850 kg/m³ a 965 kg/m³, a 15°C.

FIGURA 2.20 - Correcciones Temperatura-Volumen para Asfalto (continuación).

Temperatura Observada	Factor de Corrección de Volumen para 15°C °C ^o		Temperatura Observada	Factor de Corrección de Volumen para 15°C °C ^o		Temperatura Observada	Factor de Corrección de Volumen para 15°C °C ^o		Temperatura Observada	Factor de Corrección de Volumen para 15°C °C ^o	
	A	B		A	B		A	B		A	B
-25.0	1.0254	1.0290	12.5	1.0016	1.0018	58.0	0.9782	0.9752	87.5	0.9352	0.9492
-24.5	1.0251	1.0286	13.0	1.0012	1.0014	58.5	0.9779	0.9749	88.0	0.9348	0.9489
-24.0	1.0248	1.0283	13.5	1.0009	1.0014	59.0	0.9776	0.9745	88.5	0.9345	0.9485
-23.5	1.0244	1.0279	14.0	1.0006	1.0007	59.5	0.9773	0.9742	89.0	0.9342	0.9482
-23.0	1.0241	1.0276	14.5	1.0003	1.0004	60.0	0.9770	0.9738	89.5	0.9339	0.9478
-22.5	1.0238	1.0272	15.0	1.0000	1.0000	60.5	0.9767	0.9735	90.0	0.9336	0.9475
-22.0	1.0235	1.0268	15.5	0.9997	0.9998	61.0	0.9763	0.9731	90.5	0.9333	0.9472
-21.5	1.0232	1.0265	16.0	0.9994	0.9993	61.5	0.9760	0.9728	91.0	0.9330	0.9468
-21.0	1.0228	1.0261	16.5	0.9991	0.9989	62.0	0.9757	0.9724	91.5	0.9327	0.9465
-20.5	1.0225	1.0258	17.0	0.9988	0.9986	62.5	0.9754	0.9721	92.0	0.9324	0.9461
-20.0	1.0222	1.0254	17.5	0.9985	0.9982	63.0	0.9751	0.9717	92.5	0.9321	0.9458
-19.5	1.0219	1.0250	18.0	0.9981	0.9978	63.5	0.9748	0.9714	93.0	0.9318	0.9455
-19.0	1.0216	1.0247	18.5	0.9978	0.9975	64.0	0.9745	0.9710	93.5	0.9315	0.9451
-18.5	1.0212	1.0243	19.0	0.9975	0.9971	64.5	0.9742	0.9707	94.0	0.9312	0.9448
-18.0	1.0209	1.0239	19.5	0.9972	0.9968	65.0	0.9739	0.9703	94.5	0.9309	0.9444
-17.5	1.0206	1.0236	20.0	0.9969	0.9964	65.5	0.9736	0.9700	95.0	0.9306	0.9441
-17.0	1.0203	1.0232	20.5	0.9966	0.9961	66.0	0.9733	0.9696	95.5	0.9303	0.9438
-16.5	1.0200	1.0228	21.0	0.9963	0.9957	66.5	0.9729	0.9693	96.0	0.9300	0.9434
-16.0	1.0196	1.0224	21.5	0.9959	0.9954	67.0	0.9726	0.9689	96.5	0.9297	0.9431
-15.5	1.0193	1.0221	22.0	0.9956	0.9950	67.5	0.9723	0.9686	97.0	0.9294	0.9427
-15.0	1.0190	1.0217	22.5	0.9953	0.9947	68.0	0.9720	0.9682	97.5	0.9291	0.9424
-14.5	1.0187	1.0213	23.0	0.9950	0.9943	68.5	0.9717	0.9679	98.0	0.9288	0.9421
-14.0	1.0184	1.0210	23.5	0.9947	0.9940	69.0	0.9714	0.9675	98.5	0.9285	0.9417
-13.5	1.0180	1.0206	24.0	0.9943	0.9936	69.5	0.9711	0.9672	99.0	0.9282	0.9414
-13.0	1.0177	1.0203	24.5	0.9940	0.9933	70.0	0.9708	0.9668	99.5	0.9279	0.9410
-12.5	1.0174	1.0199	25.0	0.9937	0.9929	70.5	0.9705	0.9665	100.0	0.9276	0.9407
-12.0	1.0171	1.0195	25.5	0.9933	0.9925	71.0	0.9701	0.9661	100.5	0.9273	0.9404
-11.5	1.0168	1.0192	26.0	0.9934	0.9922	71.5	0.9698	0.9658	101.0	0.9270	0.9400
-11.0	1.0164	1.0188	26.5	0.9928	0.9918	72.0	0.9695	0.9654	101.5	0.9267	0.9397
-10.5	1.0161	1.0185	27.0	0.9925	0.9915	72.5	0.9692	0.9651	102.0	0.9264	0.9393
-10.0	1.0158	1.0181	27.5	0.9922	0.9911	73.0	0.9689	0.9647	102.5	0.9261	0.9390
-9.5	1.0155	1.0177	28.0	0.9918	0.9907	73.5	0.9686	0.9644	103.0	0.9258	0.9387
-9.0	1.0152	1.0174	28.5	0.9915	0.9904	74.0	0.9683	0.9640	103.5	0.9255	0.9383
-8.5	1.0148	1.0170	29.0	0.9912	0.9900	74.5	0.9680	0.9637	104.0	0.9252	0.9380
-8.0	1.0145	1.0166	29.5	0.9909	0.9897	75.0	0.9677	0.9633	104.5	0.9249	0.9376
-7.5	1.0142	1.0163	30.0	0.9906	0.9893	75.5	0.9674	0.9630	105.0	0.9246	0.9373
-7.0	1.0139	1.0159	30.5	0.9903	0.9889	76.0	0.9670	0.9626	105.5	0.9243	0.9370
-6.5	1.0136	1.0155	31.0	0.9900	0.9886	76.5	0.9667	0.9623	106.0	0.9240	0.9366
-6.0	1.0132	1.0151	31.5	0.9897	0.9882	77.0	0.9664	0.9619	106.5	0.9237	0.9363
-5.5	1.0129	1.0148	32.0	0.9894	0.9879	77.5	0.9661	0.9616	107.0	0.9234	0.9359
-5.0	1.0126	1.0144	32.5	0.9891	0.9875	78.0	0.9658	0.9612	107.5	0.9231	0.9356
-4.5	1.0123	1.0140	33.0	0.9887	0.9871	78.5	0.9655	0.9609	108.0	0.9228	0.9353
-4.0	1.0120	1.0137	33.5	0.9884	0.9868	79.0	0.9652	0.9605	108.5	0.9225	0.9349
-3.5	1.0117	1.0133	34.0	0.9881	0.9864	79.5	0.9649	0.9602	109.0	0.9222	0.9346
-3.0	1.0114	1.0130	34.5	0.9878	0.9861	80.0	0.9646	0.9598	109.5	0.9219	0.9342
-2.5	1.0111	1.0126	35.0	0.9875	0.9857	80.5	0.9643	0.9595	110.0	0.9216	0.9339
-2.0	1.0107	1.0122	35.5	0.9872	0.9854	81.0	0.9640	0.9592	110.5	0.9213	0.9336
-1.5	1.0104	1.0119	36.0	0.9869	0.9850	81.5	0.9637	0.9588	111.0	0.9210	0.9332
-1.0	1.0101	1.0115	36.5	0.9866	0.9847	82.0	0.9634	0.9585	111.5	0.9207	0.9329
-0.5	1.0098	1.0112	37.0	0.9863	0.9843	82.5	0.9631	0.9581	112.0	0.9204	0.9325
0	1.0095	1.0108	37.5	0.9860	0.9840	83.0	0.9628	0.9578	112.5	0.9201	0.9322
0.5	1.0092	1.0104	38.0	0.9856	0.9836	83.5	0.9625	0.9575	113.0	0.9197	0.9319
1.0	1.0089	1.0101	38.5	0.9853	0.9833	84.0	0.9622	0.9571	113.5	0.9194	0.9315
1.5	1.0085	1.0097	39.0	0.9850	0.9829	84.5	0.9619	0.9568	114.0	0.9191	0.9312
2.0	1.0082	1.0094	39.5	0.9847	0.9826	85.0	0.9616	0.9564	114.5	0.9188	0.9308
2.5	1.0079	1.0090	40.0	0.9844	0.9822	85.5	0.9613	0.9561	115.0	0.9185	0.9305
3.0	1.0076	1.0086	40.5	0.9841	0.9819	86.0	0.9610	0.9557	115.5	0.9182	0.9302
3.5	1.0073	1.0083	41.0	0.9838	0.9815	86.5	0.9606	0.9554	116.0	0.9179	0.9298
4.0	1.0069	1.0079	41.5	0.9835	0.9812	87.0	0.9603	0.9550	116.5	0.9176	0.9295
4.5	1.0066	1.0076	42.0	0.9832	0.9808	87.5	0.9600	0.9547	117.0	0.9173	0.9292
5.0	1.0063	1.0072	42.5	0.9829	0.9805	88.0	0.9597	0.9543	117.5	0.9170	0.9289
5.5	1.0060	1.0068	43.0	0.9825	0.9801	88.5	0.9594	0.9540	118.0	0.9168	0.9285
6.0	1.0057	1.0065	43.5	0.9822	0.9798	89.0	0.9591	0.9536	118.5	0.9165	0.9282
6.5	1.0053	1.0061	44.0	0.9819	0.9794	89.5	0.9588	0.9533	119.0	0.9162	0.9279
7.0	1.0050	1.0058	44.5	0.9816	0.9791	90.0	0.9585	0.9529	119.5	0.9159	0.9275
7.5	1.0047	1.0054	45.0	0.9813	0.9787	90.5	0.9582	0.9526	120.0	0.9156	0.9272
8.0	1.0044	1.0050	45.5	0.9810	0.9784	91.0	0.9579	0.9523	120.5	0.9153	0.9269
8.5	1.0041	1.0047	46.0	0.9807	0.9780	91.5	0.9576	0.9519	121.0	0.9150	0.9265
9.0	1.0037	1.0043	46.5	0.9804	0.9777	92.0	0.9573	0.9516	121.5	0.9147	0.9262
9.5	1.0034	1.0040	47.0	0.9801	0.9773	92.5	0.9570	0.9512	122.0	0.9144	0.9258
10.0	1.0031	1.0036	47.5	0.9798	0.9770	93.0	0.9567	0.9509	122.5	0.9141	0.9255
10.5	1.0028	1.0032	48.0	0.9794	0.9766	93.5	0.9564	0.9506	123.0	0.9138	0.9252
11.0	1.0025	1.0029	48.5	0.9791	0.9763	94.0	0.9561	0.9502	123.5	0.9135	0.9248
11.5	1.0022	1.0025	49.0	0.9788	0.9759	94.5	0.9558	0.9499	124.0	0.9132	0.9245
12.0	1.0019	1.0022	49.5	0.9785	0.9756	95.0	0.9555	0.9495	124.5	0.9129	0.9241

^a Use factores de la columna A para asfalto con densidades de 266 kg/m³ o mayores, a 15°C.
^b Use factores de la columna B para asfalto con densidades de 260 kg/m³ a 265 kg/m³, a 15°C.

FIGURA 2.20 - Correcciones Temperatura-Volumen para Asfalto (continuación).

AGREGADO

Agregado, también conocido como roca, material granular, o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria, y polvo de roca. El agregado constituye entre el 90 y el 95 por ciento, en peso, y entre el 75 y el 85 por ciento, en volumen, de la mayoría de las estructuras de pavimento. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad portante.

Clasificación de Agregados

Las rocas se dividen en tres tipos generales: sedimentarias, ígneas, y metamórficas (Figura 2.21). Esta clasificación esta basada en el tipo de formación de cada roca.

ROCAS SEDIMENTARIAS

Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de sedimentos (partículas finas) en el agua, o a medida que el agua se deposita. El sedimento puede consistir de partículas minerales o fragmentos (como es el caso de las areniscas y la arcilla esquistosa), de residuos de productos animales (algunas calizas), de plantas (carbón), de los productos finales de una acción química o una evaporación (sal, yeso), o de la combinación de cualquiera de estos tipos de materiales.

Dos términos que usualmente se aplican a rocas sedimentarias son silíceos y calcáreos. Rocas sedimentarias silíceas son aquellas que contienen un porcentaje alto de sílice. Aquellas rocas que contienen un alto porcentaje de carbonato de calcio (calizas) son llamadas calcáreas.

Las rocas sedimentarias se encuentran, característicamente, en capas (estratos), dentro de la corteza terrestre. Esta estratificación es el resultado directo de la manera en que se formaron las rocas sedimentarias: a partir de depósitos de partículas finas, generalmente sedimentados sobre el fondo de lagos o mares antiguos.

ROCAS IGNEAS

Las rocas ígneas constan de material fundido (magma) que se ha enfriado y solidificado. Hay dos tipos de rocas ígneas: extrusivas e intrusivas.

Las rocas ígneas extrusivas son formadas a partir del material que se ha vertido afuera, sobre la superficie terrestre, durante una erupción volcánica o alguna actividad geológica similar. La roca resultante tiene una apariencia y estructura vidriosa, debido a que el material se enfría rápidamente al ser expuesto a la atmósfera. La riolita, la andesita, y el basalto son ejemplos de rocas extrusivas.

Las rocas intrusivas, por otro lado, se forman a partir del magma que queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre. Al ser atrapado en la corteza, el magma se enfría y endurece lentamente, permitiendo la formación de una estructura cristalina. En consecuencia, la roca ígnea intrusiva es cristalina en estructura y apariencia; siendo ejemplos el granito, la diorita, y el gabro. Los

movimientos terrestres y los procesos de erosión traen rocas intrusivas a la superficie terrestre, donde pueden ser explotadas en cantera y posteriormente usadas.

ROCAS METAMÓRFICAS

Las rocas metamórficas son, generalmente, rocas sedimentarias o ígneas que han sido transformadas por procesos de intensa presión y calor dentro de la tierra, y también por reacciones químicas. Es muy difícil determinar el origen exacto de una roca metamórfica en particular, debido a que los procesos de formación son muy complejos.

Muchos tipos de rocas metamórficas presentan un rasgo característico: los minerales están alineados en capas o planos paralelos. Partir la roca en el sentido de sus planos es mucho más, fácil que partirla en sus otras direcciones. Las rocas metamórficas que exhiben este tipo de estructura se denominan foliadas. Ejemplos de rocas foliadas son los gneises, los esquistos (formados de rocas ígneas) y la pizarra (formada de la arcilla esquistosa; una roca sedimentaria).

No todas las rocas metamórficas son foliadas. El mármol (formado de las calizas) y la cuarcita (formada de las areniscas) son tipos comunes de rocas metamórficas que no presentan foliación.

FUENTES DE AGREGADOS

Los agregados usados en el pavimento asfáltico se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen. Estos incluyen: agregados naturales, agregados procesados, y agregados sintéticos o artificiales.

AGREGADOS NATURALES

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como la acción del viento, el agua, el movimiento del hielo, y los químicos. La forma de las partículas individuales es un producto, a la larga, de los agentes que actúan sobre ellas. Los glaciares, por ejemplo, usualmente producen rocas y guijarros redondeados. Así mismo, las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas.

Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena. La grava se define, usualmente, como partículas de un tamaño igual o mayor que 6.35 mm (1/4 pulgada). La arena se define como partículas de un tamaño menor que 6.35 mm (1/4 pulgada) pero mayor que 0.075 mm (No. 200). Las partículas de un tamaño menor que 0.075 mm (No. 200) son conocidas como relleno mineral (filler), el cual consiste principalmente de limo y arcilla.

Las gravas y las arenas son clasificadas, además, de acuerdo a su origen. Los materiales producidos en canteras abiertas y usados sin ningún procesamiento adicional son conocidos como materiales en bruto, y los materiales tomados de la ribera de los ríos son conocidos como materiales de canteras de ríos.

Los depósitos de gravas varían ampliamente en composición, pero usualmente contienen alguna cantidad de arena y limo. Los depósitos de arena también contienen, comúnmente, alguna cantidad de arcilla y limo. Las arenas de playa (algunas de las cuales se encuentran tierra adentro hoy día) están compuestas de

partículas de tamaño regularmente uniforme, mientras que las arenas de río contienen proporciones grandes de grava, limo y arcilla.

AGREGADOS PROCESADOS

Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidos en tamaño antes de ser usados en la pavimentación.

La roca es triturada por tres razones: para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa, para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular, y para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas. El propósito principal de la trituración, en el caso de los fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes, es reducir las piedras a un tamaño que sea manejable. Sin embargo, los cambios en la textura superficial, y en la forma de las partículas, son también muy importantes.

El tamizado de los materiales, después de triturarlos, resulta en una granulometría con cierto rango de tamaño de partícula. Un factor importante en la construcción de pavimentos de buena calidad consiste en mantener graduaciones específicas de agregados. Sin embargo, por razones económicas, el material triturado es usado tal y como sale del triturador, con muy poco o ningún tamizado. Un control adecuado de las operaciones de triturado determina si la graduación resultante del agregado cumple, o no, con los requisitos de la obra. El agregado triturado, sin tamizar, es conocido como agregado triturado sin cribar, y es usado satisfactoriamente en muchos proyectos de construcción de pavimento. Sin embargo, es esencial garantizar que la operación de triturado sea continuamente supervisada para poder producir un agregado que cumpla con las especificaciones.

El triturado de algunos tipos de roca, como las calizas, produce cantidades substanciales de pequeños fragmentos y partículas. Esta fracción de material es separada de las partículas que tienen diámetros iguales o mayores 6.35 mm (1/4 pulgada), casi siempre, y usada como agregado de arena triturada, o procesada hasta tamaños máximos de 0.60 mm (No. 30).

AGREGADOS SINTÉTICOS

Los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales. Otros son producidos mediante el procesamiento de materias primas, para ser usados específicamente como agregado.

El producto secundario más comúnmente usado es la escoria de alto horno. Es una sustancia no metálica que brota a la superficie del hierro fundido durante el proceso de reducción. Una vez que es removida de la superficie del hierro, la escoria es transformada en pequeñas partículas al templarla inmediatamente en agua, o al triturarla una vez que se ha enfriado.

Los agregados sintéticos manufacturados son relativamente nuevos en la industria de la pavimentación. Ellos son producidos al quemar arcilla, arcilla esquistosa, tierra diatomácea procesada, vidrio volcánico, escoria, y otros materiales. Los productos finales son típicamente livianos y tienen una resistencia muy alta al desgaste. Los agregados sintéticos han sido usados en la pavimentación de cubiertas de puentes y

cubiertas de techos, así como en capas superficiales de pavimento donde se requiere la máxima resistencia al deslizamiento.

CLASIFICACION GENERAL DE ROCAS

Clase	Tipo	Familia
Sedimentarias	Calcáreas	Caliza Dolomita
	Silíceas	Arcilla Esquistosa Arenisca Horsteno Conglomerado ¹ Breccia ¹
Metamórficas	Foliadas	Gneis Esquisto Anfibolita Pizarra
	No Foliadas	Cuarcita Mármol Serpentina
Igneas	Intrusivas (de grano grueso)	Granito ² Sienita ² Diorita ² Gabbro Periodotita Piroxenita Hornablendita
	Extrusivas (de grano fino)	Obsidiana Pómez Tufa Riolita ^{2,3} Traquita ^{2,3} Andesita ^{2,3} Basalto ² Diabasa

¹También puede estar parcialmente, o completamente, compuesta de materiales calcáreos.

²Aparece, frecuentemente, como roca porfirítica.

³Se incluyen bajo el término general "felsita" cuando no se pueden determinar, cuantitativamente, los minerales constituyentes.

FIGURA 2.21 - Clasificación de Agregados.

PRODUCCIÓN, ACOPIO DE RESERVAS, MANEJO, Y MUESTREO DE AGREGADOS

El inspector podrá ser responsable por supervisar el procesamiento de agregados cuando la fuente de los agregados usados en el proyecto de pavimentación este localizada cerca del lugar donde se encuentra la planta. Dicho procesamiento consiste en excavar las capas de suelo (sobrecarga) encontradas sobre los depósitos de grava, trabajar los depósitos para obtener agregados adecuados, y separar en pilas las partículas de agregado.

Los procedimientos para manejar y acopiar las reservas de agregado varían de obra en obra, debido a que la mayoría de las agencias contratantes no tienen especificaciones para dichos procedimientos. En vez de ello la agencia requiere, usualmente, que el contratista cumpla con las especificaciones de graduación para el agregado. Estas especificaciones tendrán que ser cumplidas ya sea durante la elaboración o acopio de reservas del agregado, o cuando la mezcla de pavimentación sea producida y colocada. En cualquier caso, el inspector deberá estar al tanto de cómo las practicas de manejo y acopio de reservas (tanto buenas y malas) afectan la selección del agregado.

El muestreo y las pruebas son los únicos medios de verificar si las especificaciones están siendo cumplidas, aún si estas requieren que el agregado cumpla con graduaciones durante la fabricación, acopio de reservas o producción de mezcla. Para garantizar que las muestras seleccionadas sean representativas, se deben seguir ciertos procedimientos de muestreo.

PRODUCCIÓN DE AGREGADOS

El inspector deberá familiarizarse con los datos geológicos relacionados con el depósito de agregado y con las especificaciones que han sido establecidas para trabajar con el mismo, siempre que este supervisando la producción de agregado.

Cuando se trate de arenas o gravas, se deberá tener un cuidado especial al remover el suelo de destape (suelo que cubre el deposito) para no contaminar el agregado. Esto es particularmente importante cuando el suelo de destape (o descapote) contiene arcilla, vegetación, o algún otro material que pueda afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento. Puede que algún material de destape proporcione un relleno mineral aceptable; sin embargo, rara vez este material podrá producir una mezcla de agregado con la adecuada proporción de relleno mineral si tan solo se añade al deposito de agregado a medida que este es removido. En consecuencia, cualquier material de destape que sea adecuado para ser usado como relleno mineral deberá ser removido del depósito, tamizado, y añadido posteriormente al agregado ya procesado. Este método permite un control cuidadoso, en la mezcla final, del contenido de relleno mineral.

Con cierta frecuencia, las operaciones en las excavaciones y canteras deben efectuarse alrededor de lentes de arcilla (depósitos en forma de lente), vetas (capas) de arcilla esquistosa y otros depósitos de materiales indeseables que forman parte del depósito de agregado. En este caso la excavación del agregado puede tener que efectuarse a lo largo de un marco (nivel) horizontal, o de abajo hacia arriba sobre una cara vertical del deposito, para evitar contaminación del agregado y poder garantizar una graduación uniforme.

Después del triturado y el tamizado es esencial evaluar completamente los agregados producidos para averiguar si cumplen con los requisitos de calidad y graduación. En instalaciones comerciales donde la producción de agregado es más o menos continua a través de la temporada de pavimentación, es suficiente llevar a cabo una o dos evaluaciones de calidad cada temporada. Cuando una operación esta comenzando por primera vez, se deberán hacer evaluaciones periódicas del agregado antes de que este sea usado en las mezclas de pavimentación.

ACOPIO DE RESERVAS DE AGREGADO

Para producir mezclas asfálticas en caliente de alta calidad es esencial tener buenos procedimientos de acopio de reservas. Los agregados retienen su graduación si son adecuadamente acopiados. Cuando el acopio es malo, las partículas de agregado se segregan (separan por tamaño), y la graduación varia en los diferentes niveles del acopio. El inspector deberá estar al tanto de los efectos producidos, en la graduación del agregado, por las diferentes prácticas de acopio, y siempre deberá fomentar las buenas prácticas.

El contratista deberá estar preparado para recibir los agregados antes de que estos sean entregados en la planta. Deberán prepararse superficies firmes y limpias, y deberán tomarse precauciones para mantener separadas las reservas y así prevenir entremezclado de partículas, el cual conduce, frecuentemente, a errores en la graduación. La separación se logra ya sea manteniendo las reservas ampliamente espaciadas, mediante el uso de muros de contención entre ellas, o almacenando el agregado en depósitos. El uso de muros de contención requiere que estos sean lo suficiente fuertes para resistir el peso del agregado, y que se extiendan hasta la profundidad total de las reservas.

Las arenas, el agregado triturado fino, y los agregados que consisten de partículas de un solo tamaño (especialmente partículas pequeñas) pueden ser acopiados con muy poca segregación, utilizando cualquier método. Sin embargo, los materiales que contienen partículas que varían en tamaño de grandes (gruesas) a pequeñas (finas) requieren de ciertas precauciones en su acopio. La segregación de dichos agregados puede ser minimizada si el material grueso y el material fino son separados en el sitio y después juntados, en proporciones apropiadas, antes de las operaciones de mezclado. Cuando estas prácticas no sean llevadas a cabo, se deben seguir, de todas maneras, ciertas normas aplicables al acopio de reservas. La primera norma consiste en controlar la forma de los acopios. Cuando un agregado que contiene materiales gruesos y finos es apilado para formar un acopio de lados inclinados, las partículas gruesas tienden a rodar abajo, por la pendiente, y acumularse en la base.

El mejor método para acopiar reservas de agregado que contienen partículas de diferente tamaño consiste en apilar el material en capas. Tales capas minimizan la segregación que puede ocurrir por gravedad. Si el agregado es entregado por un camión, las cargas deberán ser vaciadas una cerca de otra, sobre la superficie del acopio. En este caso, el volumen de carga del camión va a determinar el espesor de cada capa. Cuando se use una grúa para acopiar el agregado, cada carga de la cubeta deberá ser vaciada una cerca de otra para garantizar uniformidad en el espesor de las capas.

Los rellenos minerales son usualmente almacenados en depósitos, silos o bolsas para prevenir que sean arrastrados por el viento y que sean expuestos a la humedad, la cual los puede aglutinar o endurecer.

Manejo de Agregado

El manejo de agregado degrada (rompe), hasta cierto punto, las partículas individuales de agregado, y causa segregación cuando se trata de partículas que presentan diferentes tamaños. Por lo tanto, el manejo de agregado debe ser mínimo para poder prevenir cualquier degradación y segregación.

El manejo mínimo incluye apartar el agregado de las reservas para que pueda ser procesado adicionalmente, y para luego ser mezclado en la planta de mezcla en caliente. No existen reglas específicas para esta operación, pero sí hay una norma general que casi siempre se aplica. Esta consiste en usar un cargador de tractor o cucharón de almeja para remover material de las partes casi verticales del acopio. Si se usa un buldozer, o cualquier otro vehículo de tracción, para trabajar en la parte superior del acopio, aumenta la probabilidad de una alta degradación.

Muestreo de Agregado

Los buenos procedimientos de control de calidad requieren de pruebas durante los procesos de producción, acopiado, y manejo, para:

- Asegurar que solamente se use material satisfactorio en la mezcla de pavimentación, y
- Proporcionar un registro permanente como evidencia de que los materiales cumplen con las especificaciones de la obra.

Obviamente, no resulta práctico ensayar todo el agregado que esta siendo producido o ensayar todo el contenido del acopio. Solo es posible ensayar muestras de estos materiales. La muestra seleccionada debe ser verdaderamente representativa de todo el agregado para que los resultados de los ensayos sean confiables. Es muy importante, por lo tanto, tener técnicas apropiadas de muestreo.

También se incluye información sobre el peso recomendado de la muestra, con base en el tamaño máximo de la partícula de agregado. Además, debe recordarse que las muestras mas representativas son generalmente tomadas de las bandas transportadoras de agregado, y no de los acopios o depósitos.

El muestreo estadístico esta fuera del alcance de esta discusión. En caso de ser necesario, se debe hacer referencia a la norma ASTM D 3665 , Método Normal para Muestreo Aleatorio, la cual describe procedimientos apropiados para efectuar dicho muestreo.

PROPIEDADES DEL AGREGADO Y SU EVALUACIÓN

En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica en caliente, el agregado conforma el 90 a 95 por ciento, en peso, de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación. Estos criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado. Aún más, un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer también ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para pavimento asfáltico de buena calidad. Estas propiedades son:

- Graduación y tamaño máximo de partícula
- Limpieza
- Dureza
- Forma de la partícula
- Textura de la superficie
- Capacidad de absorción
- Afinidad con el asfalto.
- Peso específico.

GRADUACIÓN Y TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico de mezcla en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas este presente en ciertas proporciones. Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. Es necesario entender como se mide el tamaño de partículas y la graduación para determinar si la graduación del agregado cumple o no con las especificaciones.

■ Tamaño Máximo de Partícula

El tamaño de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado, debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado. Existen dos formas de designar tamaños máximos de partículas:

- Tamaño máximo nominal de partícula, designado como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10 por ciento de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices.
- Tamaño máximo de partícula, designado como un tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula. Típicamente, este es el tamiz más pequeño por el cual pasa el 100 por ciento de las partículas de agregado.

Para ilustrar las diferencias entre las dos designaciones, considere el siguiente ejemplo:

Se efectúa un tamizado de una muestra de agregado que va a ser usada en una mezcla de pavimentación. El tamiz de 19 mm (3/4 pulgada) retiene 4 por ciento de todas las partículas de agregado. El tamiz de 12.5 mm (1/2 pulgada), inmediatamente por debajo del tamiz de 19 mm, retiene un total de 18 por ciento de todas las partículas de agregado. En este caso, el tamaño máximo nominal es 19 mm (3/4 pulgada), y el tamaño máximo es 25 mm (1 pulgada).

Una mezcla de pavimentación se clasifica de acuerdo a su tamaño máximo o a su tamaño máximo nominal. Por lo tanto, en el ejemplo anterior la mezcla se denominaría "mezcla de 25mm" de acuerdo al tamaño máximo del agregado, mientras que se denominaría "mezcla de 19 mm" de acuerdo al tamaño nominal del agregado.

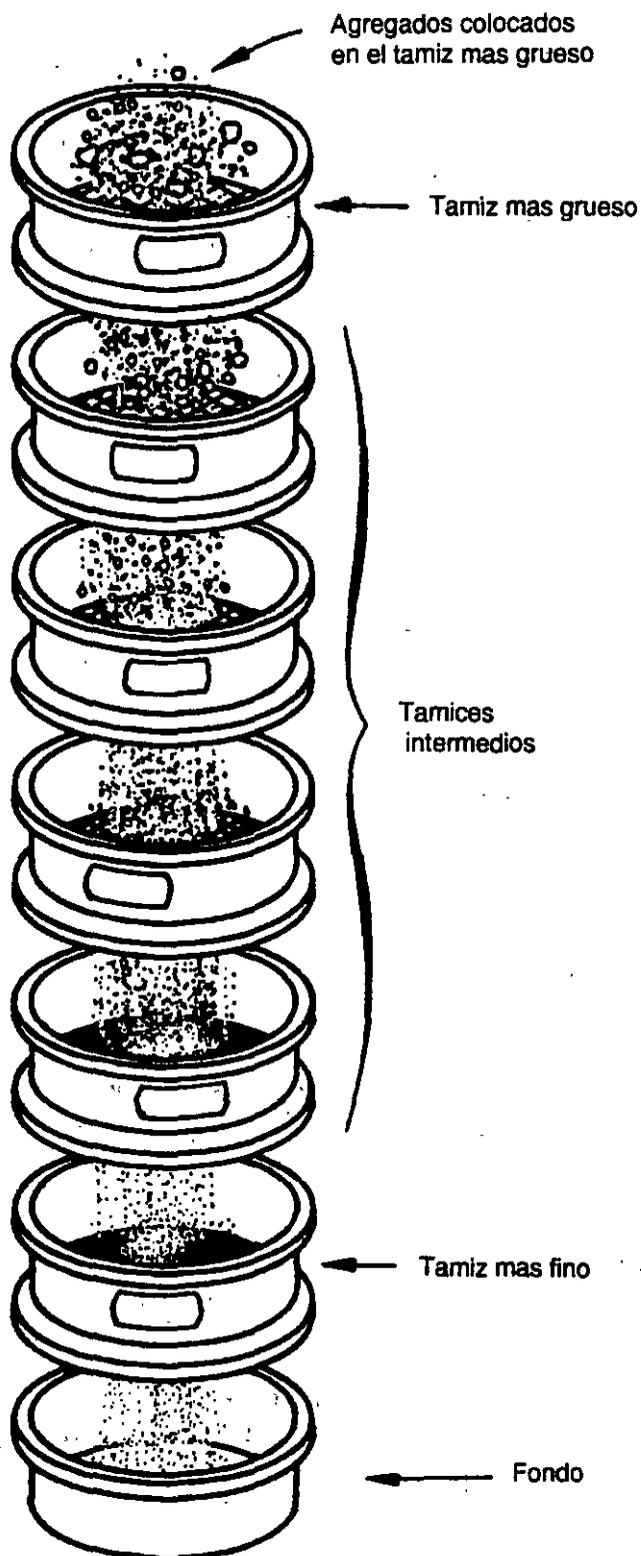


FIGURA 2.22 - Análisis de Tamices.

TAMIZADO

■ Granulometría del Agregado

La granulometría de partículas es determinada por un análisis de tamices (o granulometría) efectuado sobre las muestras de agregado. El análisis de tamices consiste en pasar la muestra por una serie de tamices, cada uno de los cuales tiene aberturas de un tamaño específico (Figura 2.22). Los tamices están denominados de acuerdo al tamaño de sus aberturas. Las partículas gruesas quedan atrapadas en los tamices superiores; las partículas de tamaño medio pasan a través de los tamices medianos; y las partículas finas pasan a través de los tamices inferiores.

La granulometría del agregado, o graduación de la mezcla, tiene en cuenta el porcentaje (en peso) total de muestra que pasa por cada uno de los tamices. La granulometría es determinada al calcular el peso del contenido de cada tamiz, después de haber efectuado el análisis de tamices. Luego se resta el peso del contenido de cada tamiz del peso total de la muestra.

Los concretos asfálticos son clasificados de acuerdo a los porcentajes de partículas de agregado que contienen. La Figura 2.23 ilustra cinco tipos diferentes de concreto asfáltico y sus contenidos respectivos de agregado.

Ciertos términos son usados al hacer referencia a las fracciones de agregado, con el propósito de ayudar a la descripción de las mismas. Estos son:

- Agregado grueso - material retenido por el tamiz de 2.36 mm (No. 8)
- Agregado fino - material que pasa el tamiz de 2.36 mm (No. 8)
- Relleno mineral - fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.60 mm (No.30)
- Polvo mineral - fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.075 mm (No.200)

El relleno mineral y el polvo mineral están presentes en los agregados naturales y también son producidos, como subproducto, en la trituración de muchos tipos de roca. Ellos son esenciales para la producción de una mezcla densa, cohesiva, durable, y resistente a la penetración del agua. Sin embargo, un pequeño porcentaje de mas, o de menos, de relleno o polvo mineral, puede causar que la mezcla aparezca excesivamente seca o excesivamente rica (o sea, la mezcla de pavimentación aparecerá como si tuviera muy poco asfalto o demasiado asfalto). Dichos cambios en la mezcla pueden ocurrir con pequeños cambios en la cantidad o en el tipo de relleno o polvo mineral utilizado. Por consiguiente, el tipo y la cantidad de relleno y polvo mineral usados en cualquier mezcla asfáltica de pavimentación deberán ser cuidadosamente controlados.

Las especificaciones de granulometría de agregado para una obra dada pueden ser presentadas gráficamente. La Figura 2.24 muestra un gráfico típico de granulometría. En el gráfico, los tamaños de los tamices se muestran horizontalmente tanto en unidades métricas como en unidades habituales. El porcentaje de material que pasa se muestra verticalmente. Las especificaciones para una obra dada están representadas por la región que esta entre las líneas sólidas delgadas. La formula de la mezcla de pavimentación esta representada por

la línea sólida gruesa. La banda de control de granulometría para la obra - establecida como referencia para controlar la granulometría en la obra - esta situada dentro de la región encerrada por las líneas punteadas.

Examinemos, usando la Figura 2.24, que nos dice un gráfico de granulometría. Tomando el tamiz de 9.5 mm (3/8 pulgada) como ejemplo, podemos observar que la banda de control de graduación permite que pase, por este tamiz, el 65 a 80 por ciento de agregado. La formula de la mezcla de la obra requiere que el 72 por ciento de agregado pase a través del tamiz de 9.5 mm (3/8 pulgada). Sin embargo, el margen usado durante el mezclado y la construcción esta entre el 65 y el 80 por ciento (material pasando el tamiz). Un gráfico de granulometría permite que el inspector comprenda, rápida y fácilmente, las graduaciones requeridas por la banda de especificaciones, por la formula de mezcla de la obra, y por la banda de control de graduación de la obra.

<i>Designación de la Mezcla usando el Tamaño Máximo Nominal de Agregado</i>					
<i>Tamaño de Tamiz</i>	<i>37.5 mm (1 1/2 in.)</i>	<i>25.0 mm (1 in.)</i>	<i>19.0 mm (3/4 in.)</i>	<i>12.5 mm (1/2 in.)</i>	<i>9.5 mm (3/8 in.)</i>
<i>Porcentaje Total que Pasa (en peso)</i>					
50 mm (2 in.)	100	—	—	—	—
37.5 mm (1 1/2 in.)	90 to 100	100	—	—	—
25.0 mm (1 in.)	—	90 to 100	100	—	—
19.0 mm (3/4 in.)	56 to 80	—	90 to 100	100	—
12.5 mm (1/2 in.)	—	56 to 80	—	90 to 100	100
9.5 mm (3/8 in.)	—	—	56 to 80	—	90 to 100
4.75 mm (No. 4)	23 to 53	29 to 59	35 to 65	44 to 74	55 to 85
2.36 mm (No. 8)*	15 to 41	19 to 45	23 to 49	28 to 58	32 to 67
1.18 mm (No. 16)	—	—	—	—	—
0.60 mm (No. 30)	—	—	—	—	—
0.30 mm (No. 50)	4 to 16	5 to 17	5 to 19	5 to 21	7 to 23
0.15 mm (No. 100)	—	—	—	—	—
0.075 mm (No. 200)**	0 to 5	1 to 7	2 to 8	2 to 10	2 to 10
Cemento Asfáltico, porcentaje en peso del total de la mezcla*	3 to 8	3 to 9	4 to 10	4 to 11	5 to 12

*Cuando se consideran las características de la graduación total de una mezcla asfáltica, resulta ser que la cantidad de material que pasa el tamiz de 2.36 mm (No. 8) es un punto importante y conveniente de control de campo entre los agregados finos y los agregados gruesos. Las graduaciones que se aproximan a la cantidad máxima permitida que debe pasar por el tamiz de 2.36 mm resultaran en superficies de pavimento con textura relativamente fina. Las graduaciones que se aproximan al valor mínimo permitido resultaran en superficies con textura relativamente áspera.

**El material que pasa el tamiz de 0.075 mm (No. 200) puede consistir de partículas finas de agregado o de relleno mineral, o de ambos. Este material deberá estar libre de materia orgánica y de partículas de arcilla, y deberá tener un índice de plasticidad no mayor a 4 cuando se usa el Método D 423 o D 424 de la ASTM.

*La cantidad de cemento asfáltico esta dada en porcentaje por peso de la mezcla total. La amplia diferencia en pesos específicos de varios agregados, así como la diferencia en absorción, resulta en el amplio margen de cantidad de asfalto requerida. Esta cantidad de asfalto requerida deberá determinarse usando las pruebas adecuadas de laboratorio, o con base en la experiencia previa con mezclas similares, o mediante una combinación de ambos métodos.

FIGURA 2.23 - Composición Típica del Concreto Asfáltico.

En la Figura 2.25 se muestran los tamaños y números de tamices más frecuentemente usados en la graduación de agregado para mezclas asfálticas de pavimentación.

Los dos métodos usados para determinar la graduación de agregados son: tamizado en seco y tamizado por lavado. El tamizado en seco se usa generalmente con material agregado de graduación gruesa. Sin embargo, cuando las partículas de agregado están cubiertas de polvo o material limo-arcilloso, se debe efectuar un tamizado por lavado.

Tamizado en Seco

- Las muestras para el tamizado son reducidas por medio de un "cuarteador" de muestras, o mediante cuarteo manual.
- Los material finos y gruesos son separados usando un tamiz de 2.36 mm (No.8).
- Las muestras son secadas hasta un peso constante.
- Las muestras finas y las muestras gruesas son tamizadas separadamente.
- El peso de las fracciones (porciones) retenidas en cada tamiz, y en el platon que esta al final de los tamices, es registrado, así como la graduación de cada muestra (parte fina y parte gruesa).
- En la norma AASH-TO T 27 se puede encontrar el procedimiento para tamizado en seco.

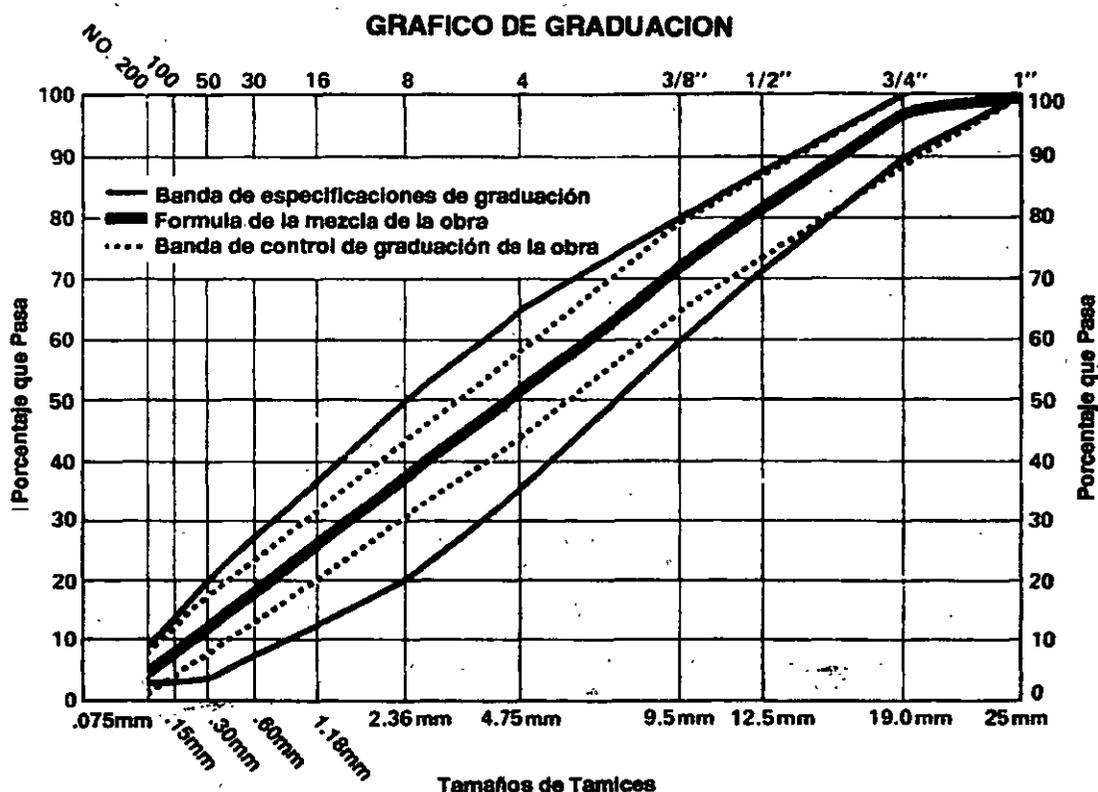


FIGURA 2.24 -Gráfico Típico de una Granulometría Exponencial y Ejemplo de una Banda de Granulometría.

Tamizado por vía húmeda

- Las muestras para este tipo de tamizado son lavadas a fondo para remover el polvo y el material limo-arcilloso, después de haber sido reducidas, separadas, secadas y pesadas.
- Después de ser lavadas, las muestras son nuevamente secadas y pesadas. La diferencia en peso antes y después del lavado representa la cantidad de polvo y material limo-arcilloso en la muestra original.
- En la norma AASHTO T 11 se puede encontrar el procedimiento para tamizado por vía húmeda.

Designación de Tamices para Agregados Gruesos		Designación de Tamices para Agregados Gruesos	
Sistema Métrico	Sistema Habitual Norteamericano	Sistema Métrico	Sistema Habitual Norteamericano
63 mm	2-½ in.	2.36 mm	No. 8
50 mm	2 in.	1.18 mm	No. 16
37.5 mm	1-½ in.	0.60 mm	No. 30
25.0 mm	1 in.	0.30 mm	No. 50
19.0 mm	¾ in.	0.15 mm	No. 100
12.5 mm	½ in.	0.075 mm	No. 200
9.5 mm	⅜ in.		
4.75 mm	No. 4		

FIGURA 2.25 - Tamaños Típicos de Tamices.

CÁLCULOS RELACIONADOS CON EL AGREGADO

En la siguiente sección se explican ciertos procedimientos necesarios para efectuar varios cálculos relacionados con el agregado. Se requiere que los inspectores sean capaces de efectuar estos cálculos, o que ayuden en la interpretación de los cálculos efectuados por otras personas. A continuación se incluyen cálculos relacionados con la granulometría, el proporcionamiento, y el peso específico.

- Análisis de Granulometría

La Figura 2.26 ilustra el método usado para determinar el porcentaje de partículas, de tamaño variable, a partir de los pesos de las fracciones obtenidas en el tamizado. Las granulometrías se expresan ya sea en porcentaje total que pasa (el porcentaje total, en peso, de muestra de agregado que pasa a través de un tamiz dado), porcentaje total retenido (el porcentaje total, en peso, de muestra de agregado que es retenido en un tamiz dado), o porcentaje total que pasa y retenido (el porcentaje total, en peso, de muestra de agregado que pasa a través de un tamiz dado y que es retenido en el tamiz que sigue hacia abajo).

La granulometría del agregado, después de ser calculada, se dibuja como una curva continua. Dos tipos de curvas que generalmente se usan son: curvas de gráficos semi logarítmicos y curvas de gráficos exponenciales.

El gráfico semi-logarítmico mostrado en la Figura 2.27 es similar al observado anteriormente en la Figura 2.24 en donde se presenta la fórmula de mezcla de la obra, la banda de especificaciones, y la banda de control de graduación. La línea mostrada en la Figura 2.27 ha sido dibujada utilizando información de un análisis de tamizado en seco. El porcentaje que pasa cada tamiz es dibujado como un punto sobre la línea vertical correspondiente. Después de que se han dibujado todos los puntos para cada tamiz con su respectivo porcentaje, estos son unidos por medio de una línea continua. Esta línea representa la curva de granulometría del agregado en cuestión. Uno puede saber inmediatamente si la granulometría del agregado cumple con las especificaciones de gradación, si se dibuja la banda de especificaciones (Figura 2.24).

El gráfico exponencial muestra, horizontalmente, los diferentes tamaños de tamiz como potencias de 0.45. La Figura 2.28 muestra la misma curva de granulometría que aparece en el gráfico semi-logarítmico de la Figura 2.27.

Tamaño de Tamiz	Retenido en cada tamiz (gramos)	Pasando cada tamiz (gramos)	Porcentaje Total Pasando	Porcentaje Total Retenido	Porcentaje Pasando-Retenido*
19.0 mm (¾-in.)	0	1135	100	0	5
12.5 mm (½-in.)	56	1079	95	5	15
9.5 mm (⅜-in.)	171	908	80	20	23
4.75 mm (No. 4)	262	646	57	43	18
2.36 mm (No. 8)	203	443	39	61	16
0.60 mm (No. 30)	182	261	23	77	6
0.30 mm (No. 50)	68	193	17	83	5
0.15 mm (No. 100)	57	136	12	88	4.5
0.075 mm (No. 200)	51	85	7.5	92.5	7.5
Platan	85				

Total = 1135

*Pasando el tamiz correspondiente, retenido en el tamiz siguiente (mas pequeño).

FIGURA 2.26 - Datos de un Análisis de Tamices, Convertidos en Granulometría de Agregado

■ Cálculos de Proporcionamiento

El análisis de granulometría de agregado, y la combinación de agregados para obtener la granulometría deseada, son pasos importantes en el diseño de la mezcla. La granulometría del agregado debe satisfacer los requisitos de graduación impuestos por las especificaciones del proyecto y debe producir un diseño de mezcla que cumpla con los criterios descritos en el método de diseño. Además, los agregados deberán ser los más apropiados y económicos que puedan ser encontrados.

El Apéndice E describe un plan recomendado para analizar agregados que van a ser usados en el diseño de mezclas asfálticas de pavimentación. Los métodos ilustrados en los ejemplos del apéndice se aplican en la combinación y ajuste de granulometrías de agregado cuando se está controlando la mezcla en el laboratorio. También se aplican en el control de la producción de agregados y en el control de planta durante la construcción.

Para poder obtener la granulometría de referencia es necesario determinar proporciones exactas de cada agregado cuando estos se están combinando. Para calcular estas proporciones se han desarrollado procedimientos matemáticos, además de los mostrados en el Apéndice E.

■ Cálculos de Peso Específico

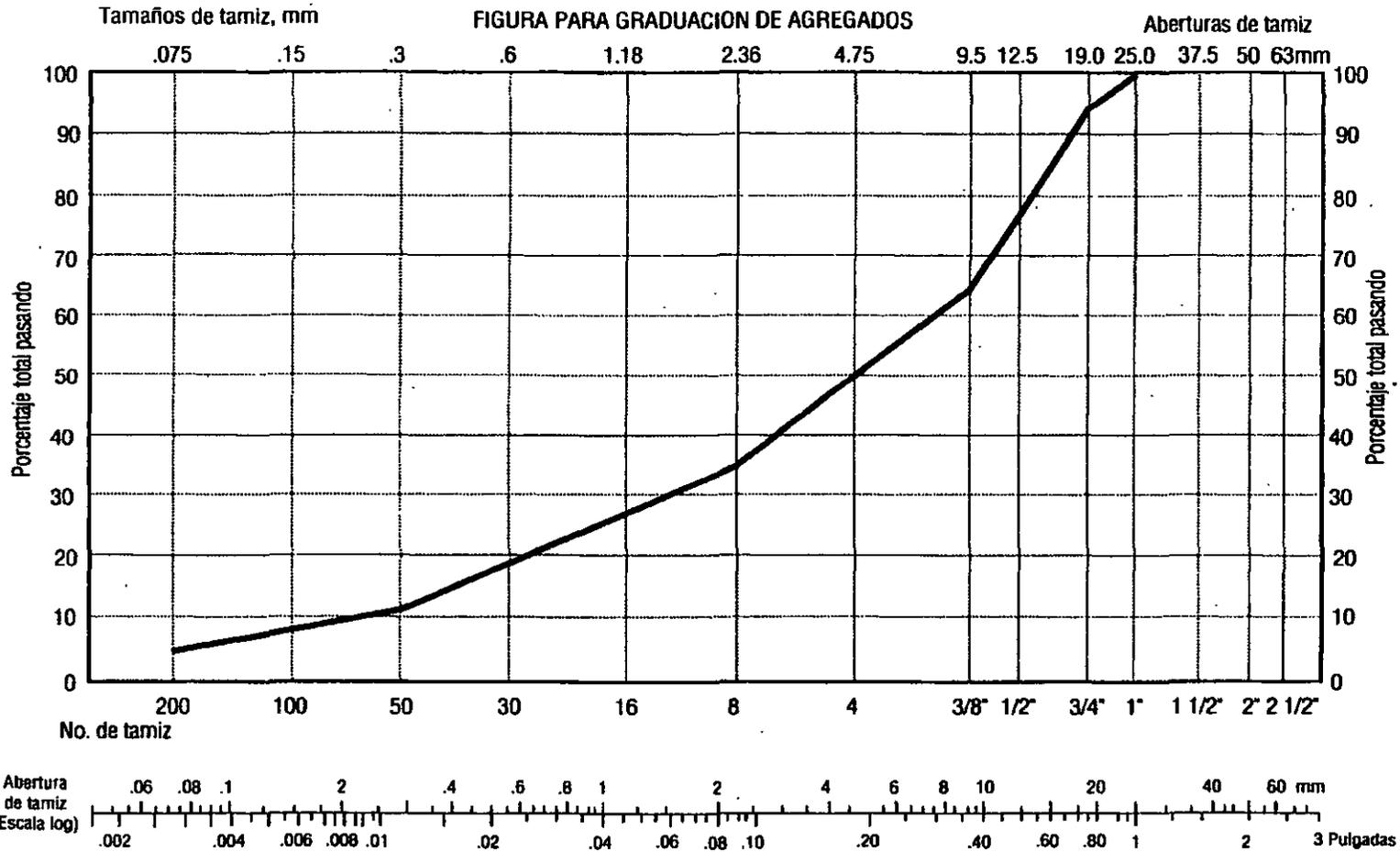
El peso específico de un agregado es la proporción entre el peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua. El peso específico es una forma de expresar las características de peso y volumen de los materiales. Estas características son especialmente importantes en la producción de mezclas de pavimentación debido a que el agregado y el asfalto son proporcionados, en la mezcla, de acuerdo al peso.

Una tonelada de agregado de bajo peso específico tiene un volumen mayor (ocupa más espacio) que una tonelada de agregado con un peso específico más alto. Por consiguiente, para poder cubrir todas las partículas de agregado, más asfalto debe ser adicionado a una tonelada de agregado con bajo peso específico (mayor volumen) que a una tonelada de agregado con un peso específico más alto (menos volumen).

Muestra No _____
 Origen _____
 Materiles _____

Proyecto _____
 Localizacion _____
 Fecha _____

FIGURA PARA GRADUACION DE AGREGADOS



TAMICES PATRON-ESPECIFICACION ASTM E 11

FIGURA 2.27 - Curva de Graduación en la Figura semi-logarítmica

FIGURA DE GRADUACION DE LA POTENCIA 0.45

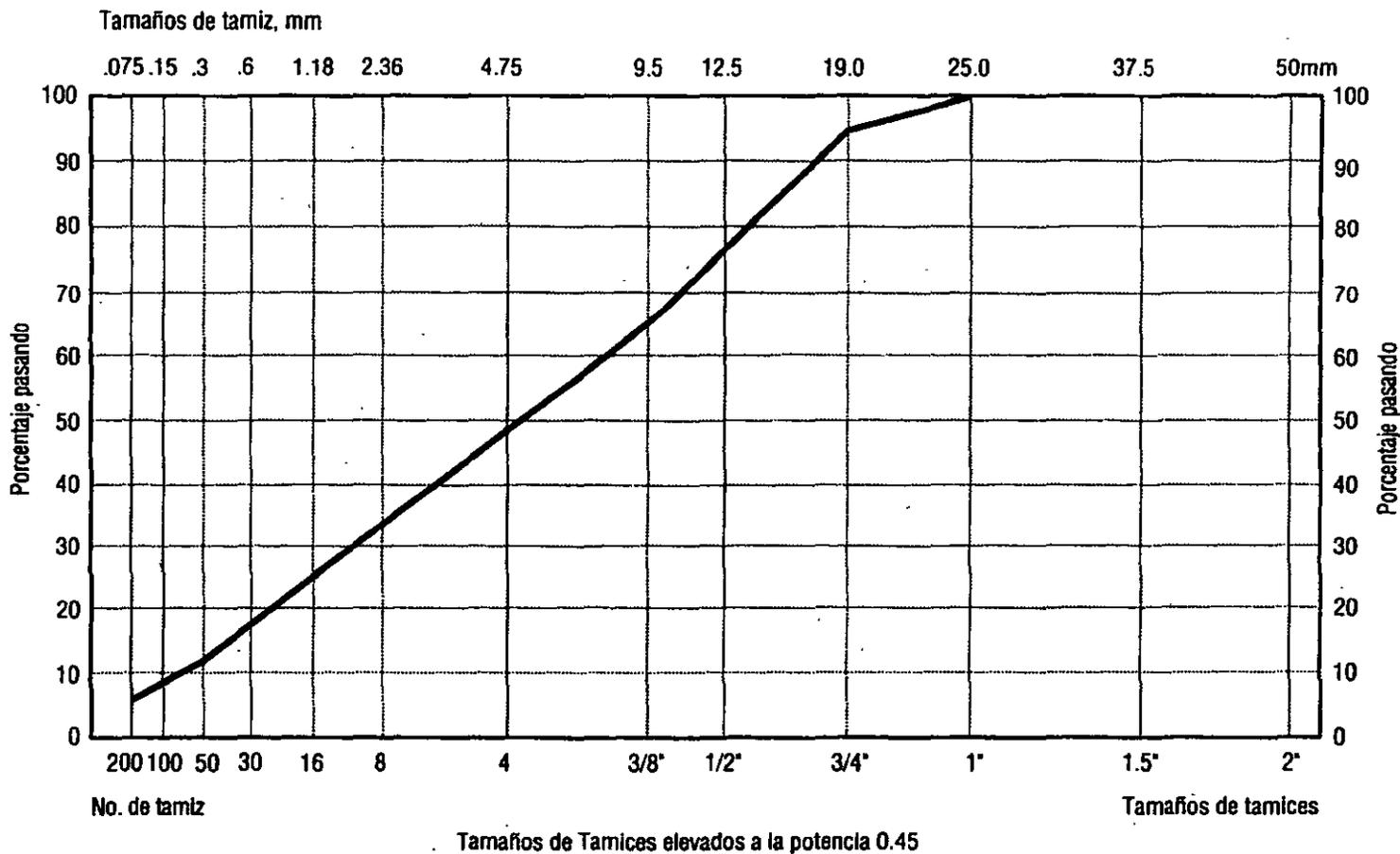


FIGURA 2.28 - Curva de Graduación en la Figura de Potencia 0.45

Otra razón importante por la cual es necesario conocer el peso específico de los agregados usados es que este ayuda en el cálculo del porcentaje de vacíos de aire (espacios de aire) de las mezclas compactadas. Todas las mezclas de pavimentación deben incluir un cierto porcentaje (en volumen) de vacíos o espacios de aire, como será explicado mas adelante. Estos espacios desempeñan una labor importante en el pavimento terminado. La única manera de calcular el porcentaje de vacíos de aire en un volumen dado de mezcla de pavimentación es midiendo el peso específico de una muestra de la mezcla de pavimentación y luego restando, de su valor, los pesos específicos del agregado y el asfalto que conforman la mezcla. El resultado es una indicación del volumen de vacíos de aire en la muestra.

Todos los agregados son, hasta cierto punto, porosos. Se han desarrollado tres tipos de peso específico (Figura 2.29) para tener en cuenta la porosidad del agregado, debido a que esta afecta la cantidad de asfalto que se requiere para cubrir las partículas de agregado y también el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla final.

Estos tres tipos son:

- Peso específico total
- Peso específico aparente, y
- Peso específico efectivo

El peso específico total de una muestra incluye todos los poros de la muestra.

El peso específico aparente no incluye, como parte del volumen de la muestra, los poros y espacios capilares que se llenarían de agua al mojar la muestra.

El peso específico efectivo excluye, del volumen de la muestra, todos los poros y espacios capilares que absorben asfalto.

El peso específico total asume que los poros que absorben agua no absorben asfalto. El peso específico aparente asume que todos los poros que son permeables al agua absorben asfalto. Ninguna de estas suposiciones, excepto en casos muy raros, es verdadera. Por lo tanto, el peso específico efectivo, el cual discrimina entre poros permeables al agua y poros permeables al asfalto, es el que mas se acerca al valor correcto que debe ser usado en los cálculos de mezclas asfálticas.

LIMPIEZA

Las especificaciones de la obra generalmente ponen un limite a los tipos y cantidades de materiales indeseables (vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla, etcétera) en el agregado. Las cantidades excesivas de estos materiales pueden afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento.

La limpieza del agregado puede determinarse, usualmente, mediante inspección visual, pero un tamizado por lavado (donde el peso de la muestra de agregado antes de ser lavada es comparado con su peso después de ser lavada) proporciona una

medida exacta del porcentaje de material indeseable mas fino que 0.075 mm (No. 200). El ensayo de equivalente-arena (AASHTO T 176) es un método para determinar la proporción indeseable de polvo fino y arcilla en la fracción (porción) de agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

DUREZA

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión (desgaste irreversible) y degradación durante la producción, colocación, y compactación de la mezcla de pavimentación, y durante la vida de servicio del pavimento. Los agregados que están en, o cerca de, la superficie, deben ser mas duros (tener mas resistencia) que los agregados usados en las capas inferiores de la estructura del pavimento. Esto se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del transito.

El Ensayo de Desgaste de Los Angeles (AASHTO T 96) mide la resistencia de un agregado al desgaste y a la abrasión. El equipo usado en el ensayo se muestra en la Figura 2.30.

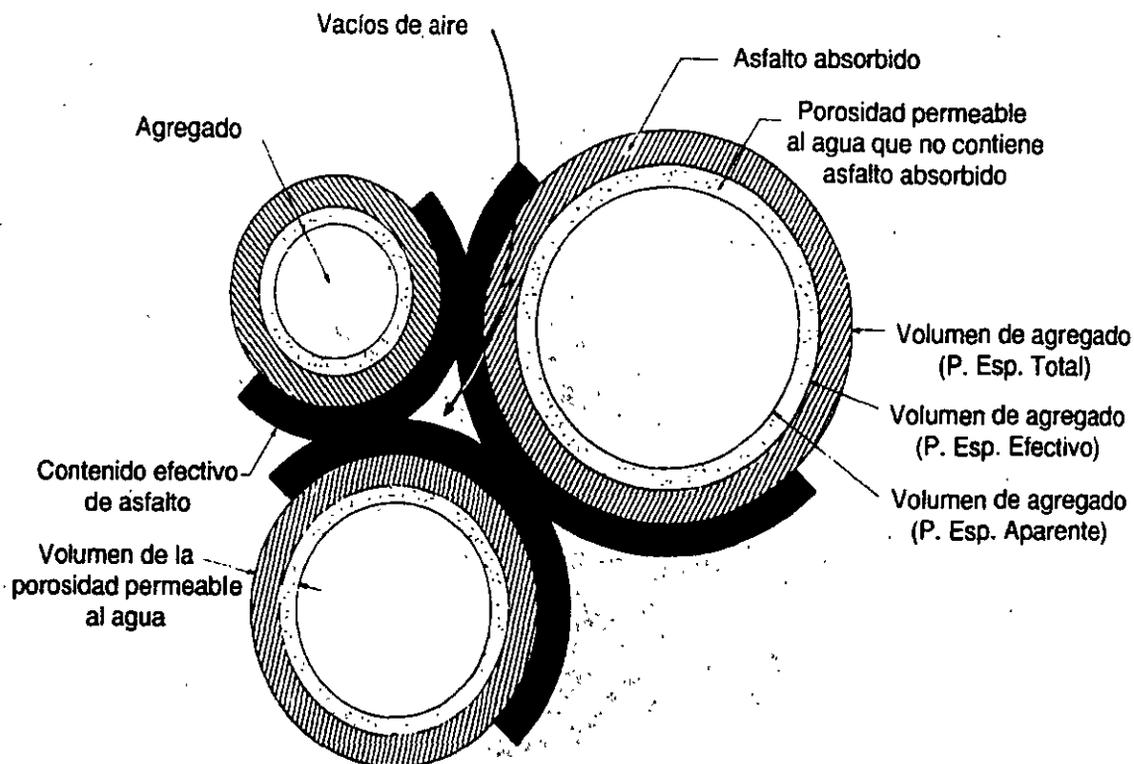


FIGURA 2.29 - Varios Tipos de Pesos Específicos de Agregado.

FORMA DE LA PARTÍCULA

La forma de la partícula (Figura 2.31) afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento generalmente con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre, por trituración.

Muchas de las mezclas asfálticas de pavimentación contienen partículas angulares y redondas. Las partículas gruesas (grandes) de agregado proporcionan la resistencia en el pavimento y provienen generalmente de piedra o grava triturada. Las partículas finas de agregado suministran la trabajabilidad necesaria en la mezcla y provienen generalmente de arenas naturales.

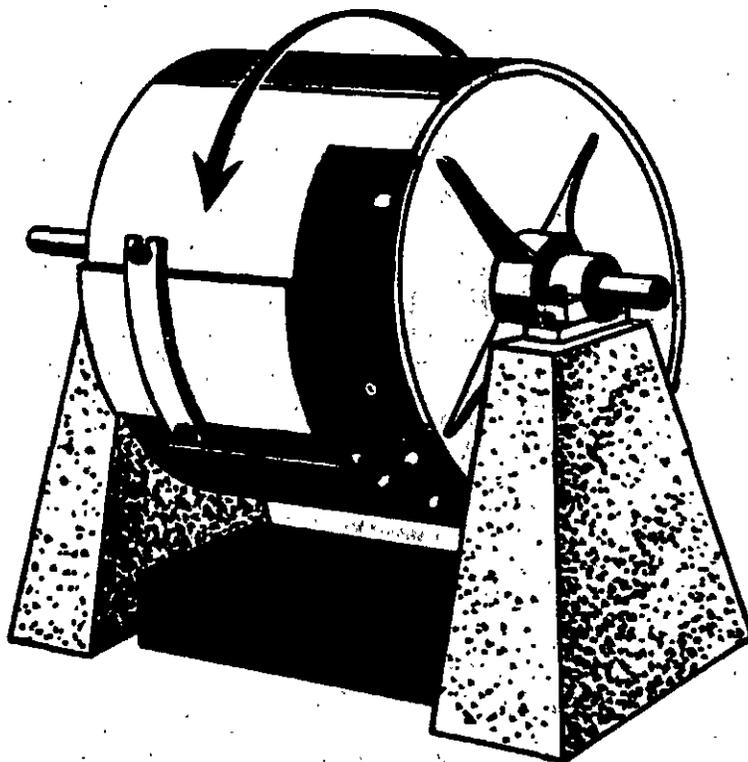


FIGURA 2.30 - Máquina de Desgaste de Los Angeles.

TEXTURA SUPERFICIAL

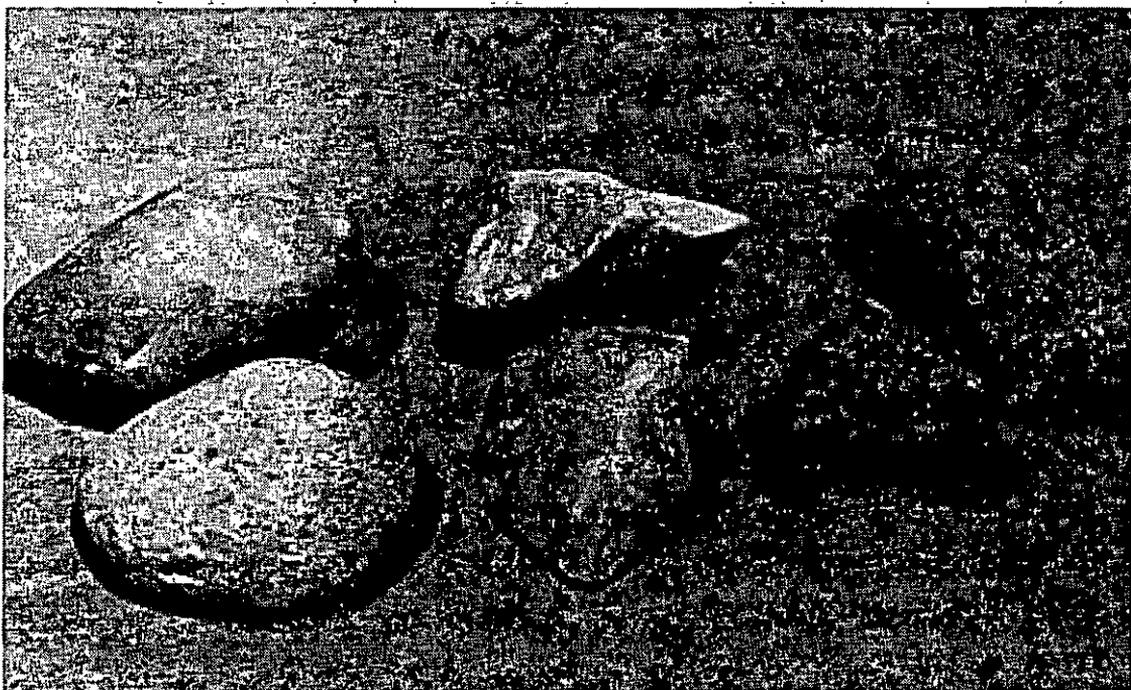
La textura superficial (Figura 2.3 1) de las partículas de agregado es otro factor que determina no solo la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Algunos consideran que la textura superficial es más importante que la forma de la partícula. Una textura áspera, como la del papel de lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otras, y a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro.

Adicionalmente, las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas. Las gravas naturales son frecuentemente trituradas durante su procesamiento, debido a que generalmente contienen superficies lisas. El trituramiento produce texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas, así como cambios en la forma de la partícula.

No existe un método directo para evaluar la textura superficial. Es tan solo una característica, como la forma de la partícula, que esta reflejada en los ensayos de resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla durante la construcción.

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN

Todos los agregados son porosos, y algunos más que otros. La cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad. La capacidad de un agregado de absorber agua (o asfalto) es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuará absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado. Debido a esto, un agregado poroso requiere cantidades mucho mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso.



Los agregados altamente porosos y absorbentes no son normalmente usados, a menos que se agregan con diferentes formas los agregados pesados. A pesar de su alta capacidad de absorción. Algunos ejemplos de dichos materiales son la escona de alto horno y ciertos agregados sintéticos. Estos materiales son altamente porosos, pero también son livianos en peso y poseen alta resistencia al desgaste.

AFINIDAD POR EL ASFALTO

La afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. Las calizas, las dolomitas, y las rocas trapecanas tienen alta afinidad con el asfalto y son conocidas como hidrofóbicas (repelen el agua) porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies.

Los agregados hidrofílicos (atraen el agua) tienen poca afinidad con el asfalto. Por consiguiente, tienden a separarse de las películas de asfalto cuando son expuestos al agua. Los agregados silíceos (e.g. cuarcita y algunos granitos) son ejemplos de agregados susceptibles al desprendimiento y deben ser usados con precaución.

No es muy claro el porque los agregados hidrofóbicos e hidrofílicos se comportan de tal manera. A pesar de esto, existen varios ensayos para determinar su afinidad con el asfalto y su tendencia al desprendimiento. En uno de estos ensayos, la mezcla de agregado-asfalto, sin compactar, es sumergida en agua, y las partículas cubiertas son observadas visualmente. En otro ensayo, comúnmente conocido como ensayo de inmersión-compresión, dos muestras de mezcla son preparadas y una es sumergida en agua. Posteriormente, ambas son ensayadas para determinar sus resistencias. La diferencia en resistencia es considerada un indicativo de la susceptibilidad del agregado al desprendimiento.

RESUMEN

Una mezcla en caliente de pavimento asfáltico consiste en una mezcla uniforme de asfalto y agregado caliente.

Casi todo el asfalto utilizado hoy en día proviene de la refinación de crudos de petróleo. El cemento asfáltico (asfalto de pavimentación) está clasificado de acuerdo a su viscosidad o penetración. Unas de las propiedades físicas más importantes del asfalto en la pavimentación son: durabilidad, adhesión y cohesión, susceptibilidad a la temperatura, y resistencia al envejecimiento y al endurecimiento. Los ensayos típicos de asfalto constan de pruebas que tienen como propósito determinar la viscosidad del cemento asfáltico, su penetración, su punto de inflamación, sus características de envejecimiento y endurecimiento, su ductilidad, su solubilidad, y su peso específico.

Deben tomarse en cuenta ciertas precauciones para prevenir heridas por quemaduras y gases venenosos, debido a que el asfalto es un hidrocarburo que se mantiene caliente durante su almacenaje, manejo, y muestreo. Adicionalmente, el asfalto debe ser almacenado, manejado y muestreado apropiadamente para prevenir que sea contaminado.

El inspector debe ser capaz de calcular las correcciones de temperatura-volumen para poder mantener registros adecuados y garantizar conformidad con las especificaciones.

Los agregados se clasifican como sedimentarios, ígneos, o metamórficos, dependiendo de la manera como hayan sido formados. Los agregados de pavimentación abarcan los agregados naturales, los agregados procesados, los agregados sintéticos o artificiales, y los rellenos minerales.

Se debe tener cuidado durante la producción, el acopio, el manejo, y el muestreo de agregado, para evitar contaminación, degradación y segregación. Técnicas específicas han sido desarrolladas para minimizar los efectos que pueden ocasionar que un agregado no sea apropiado para ser usado en la pavimentación.

Algunas propiedades de especial interés en la pavimentación son la granulometría y el tamaño de la partícula, su limpieza, su dureza, su forma, su textura superficial, su capacidad de absorción, y su afinidad con el asfalto. Ciertos cálculos, referentes al agregado, son requeridos en el curso de la producción de mezclas asfálticas en caliente para poder garantizar conformidad con las especificaciones. Estos incluyen el análisis de granulometría, los cálculos de proporcionamiento, y la determinación del peso específico.

Un conocimiento completo de los materiales usados en las mezclas asfálticas de pavimentación constituye una herramienta necesaria para el inspector de pavimentación. Este conocimiento le permitirá tomar, diariamente, decisiones confiables y correctas.

2.8. Pruebas de calidad para asfaltos modificados

M.MMP.4.05.022/02

LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO y
PRUEBA DE MATERIALES
PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS
TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas
CAPITULO: 022. Separación en Cemento Asfáltico Modificado

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para medir la separación del polímero en los asfaltos modificados a que se refiere la Norma N.CMT.4.05.002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, en muestras tomadas conforme al Manual M.MMP.4.05.001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

La prueba consiste en comparar el punto de reblandecimiento (anillo y esfera) en las partes superior e inferior en las muestras tomadas de un tubo con asfalto modificado con polímero y sellado.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Materiales Asfálticos Modificados.....	N.CMT.4.05.002
Muestreo de Materiales Asfálticos	M.MMP-4.05.001
Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos.....	M.MMP-4.05.009

D. EQUIPO

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes.

D.1. TUBOS

De aluminio, de 2,5 cm de diámetro por 14 cm de longitud, cerrados en uno de sus extremos.

D.2. HORNO

Provisto de termostato, capaz de mantener una temperatura constante de $163 \pm 6^{\circ}\text{C}$.

D.3. CÁMARA REFRIGERANTE

Capaz de mantener una temperatura constante de $-7 \pm 1^{\circ}\text{C}$.

D.4. SOPORTE

Capaz de sujetar en posición vertical a los tubos de aluminio en el horno así como en la cámara refrigerante.

D.5. ESPÁTULA

Rígida y filosa para cortar el tubo que contiene la muestra.

D.6. MARTILLO

Para ayudar a cortar el tubo que contiene la muestra con la espátula.

D.7. MALLA N° 50

De $300 \mu\text{m}$ de abertura. Para cuando se prueben residuos por destilación de emulsiones asfálticas.

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra de cemento asfáltico modificado, obtenida según se establece en el Manual M.MMPA.OS,001, Muestreo de Materiales Asfálticos, se prepara de la siguiente manera:

- E.1.** La prueba se realizará por duplicado, por lo que será necesario preparar dos muestras de prueba.
- E.2.** De la muestra se toma una porción de 50g y se calienta en un recipiente apropiado, agitándola en forma continua para distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez que permita su vaciado en el tubo de aluminio previamente fijado verticalmente en el soporte.
- E.3.** Se vacía la muestra de prueba en el tubo cuidando que durante su calentamiento y vaciado no se formen burbujas de aire, que la temperatura alcanzada no exceda 130°C y que esta operación se realice en un lapso menor

de 60 min. Se retira el exceso de material en el tubo y se sella. Cuando se trate de residuos por destilación de emulsiones asfálticas, el vaciado se hará a través de la malla N°50.

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- F.1. Se coloca el soporte con el tubo en el horno cuando éste mantenga una temperatura de $163 \pm 6^\circ\text{C}$ Y se conserva el tubo ahí durante un periodo de 48 ± 1 h. Transcurrido el período, se retiran del horno el soporte con el tubo e inmediatamente se colocan en la cámara refrigerante cuando ésta mantenga una temperatura de $-7 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 4 h como mínimo, para solidificar la muestra. Durante todo el proceso de la prueba el tubo se mantendrá en posición vertical y libre de vibraciones.
- F.2. Una vez cumplido el periodo de refrigeración, el tubo se coloca en una superficie firme y plana; con la ayuda de la espátula y el martillo, se corta la muestra en el sentido transversal en tres partes iguales y se colocan los extremos en el horno a $163 \pm 6^\circ\text{C}$, hasta que el material asfáltico esté lo suficientemente fluido.
- F.3. Siguiendo el procedimiento indicado en la Cláusula E. del Manual M.MMP.4.05.009, Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos, se vierten ambas muestras, una en cada anillo y se obtienen, simultáneamente, sus puntos de reblandecimiento como se describe en la Cláusula F. del mismo Manual. Es importante identificar ambos anillos para saber cuál corresponde a la muestra de la parte superior del tubo y cuál a la parte inferior.
- F.4. Se registra para cada anillo la temperatura en el momento en que el material asfáltico toque la placa inferior del soporte, con aproximación de $\pm 0,5^\circ\text{C}$.
- F.5. Se realiza la prueba en la muestra del segundo tubo siguiendo el procedimiento establecido en esta Cláusula.

G. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- G.1. Se reporta como la separación (diferencia en la temperatura anillo y esfera), con aproximación de $0,5^\circ\text{C}$, el resultado obtenido mediante la siguiente expresión, indicando el líquido utilizado para la prueba.

$$D = |T_s - T_i|$$

Donde:

- D = Separación (diferencia en la temperatura anillo y esfera), ($^\circ\text{C}$)
T_s = Promedio de las dos temperaturas correspondientes al punto de reblandecimiento de la parte superior de los tubos, ($^\circ\text{C}$)
T_i = Promedio de las dos temperaturas correspondientes al punto de

reblandecimiento de la parte inferior los tubos, (°C)

- G.2.** Para que el resultado se considere satisfactorio, la diferencia entre las mediciones de ambas pruebas, es decir, entre los dos valores de T_s o de T_i , no será mayor de 2°C.

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observan las siguientes precauciones:

- H.1.** Realizar la prueba bajo las condiciones de temperatura, masa y tiempo indicadas en este Manual.
- H.2.** Confirmar que el equipo esté perfectamente limpio y calibrado al momento de realizar la prueba.
- H.3.** Verificar que no se presente ningún tipo de vibración que altere los resultados de la prueba.
- H.4.** Considerar todas las recomendaciones indicadas en la Cláusula H. del Manual M.MMP.4.05.009, *Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos*.

LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO y
PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: 4. PA VIMENTOS

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 023. Resiliencia en Cemento Asfáltico Modificado

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la resiliencia de los asfaltos modificados a que se refiere la Norma N.CMT.4.05.002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, en muestras tomadas conforme al Manual M.MMP-4.05'001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite conocer la resiliencia en materiales asfálticos modificados sometiendo un espécimen a una prueba de penetración, con el fin de predecir el comportamiento futuro del asfalto.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con la Norma N.CMT.4.05.002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados* y el Manual M.MMP.4.05.001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

D. EQUIPO Y MATERIALES

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

D.1. APARATO DE PENETRACIÓN O PENETRÓMETRO PARA ASFALTOS

Estándar, como el mostrado en la Figura 1 de este Manual, capaz de sujetar una esfera como la referida en la Fracción D.2. de este Manual y provisto de un dispositivo para medir la profundidad de penetración de la esfera, en décimos de milímetro. También contará con un mecanismo que permita aproximar la esfera a la muestra de prueba.

D.2. ESFERA DE PENETRACIÓN

De acero inoxidable, totalmente endurecida y perfectamente pulida, con la forma y dimensiones que se muestran en la Figura 2 de este Manual, que se acople al penetrómetro. La guía tendrá una masa de 27.5 ± 0.1 g y la masa total de la guía con la esfera será de $75 \pm 0,01$ g.

D.3. CÁPSULA

De metal o de vidrio refractario, de forma cilíndrica, con el fondo plano, con diámetro interior de 55 mm y altura interior de 45 mm, aproximadamente.

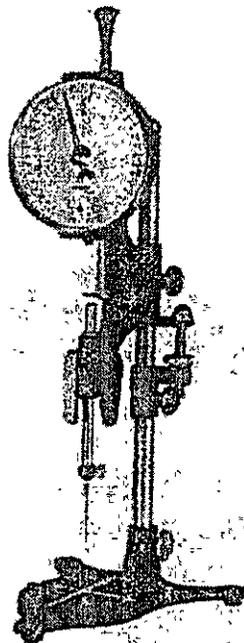


FIGURA 1.- Penetrómetro

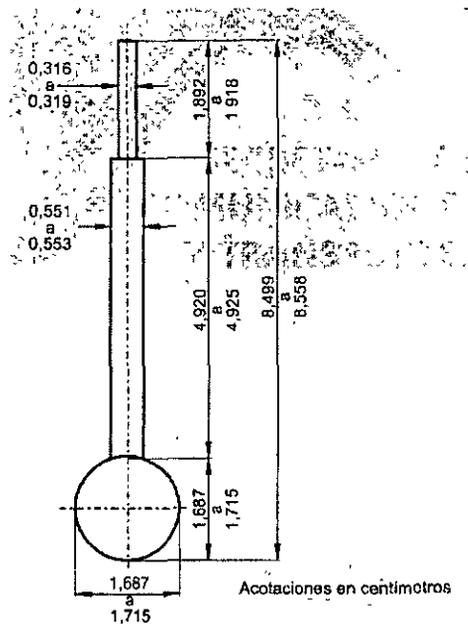


FIGURA 2.- Esfera de penetración

D.4. BAÑO DE AGUA

Con temperatura controlable hasta 50°C, con dimensiones y características tales que le den una capacidad mínima de 10 l. Provisto de un entrepaño con perforaciones, colocado a no menos de 5 cm del fondo del baño y a no menos de 10 cm de la superficie libre del líquido.

D.5. TERMÓMETRO

Con rango de 19 a 65°C y aproximación de 0,1 °C.

D.6. CRONÓMETRO

Con aproximación de 0,2 s.

D.7. RECIPIENTE DE MANEJO

De metal, plástico o vidrio, de forma cilíndrica adecuada para manejar y mantener sumergida la cápsula que contenga la muestra de prueba; de 350 cm³ de capacidad y con un dispositivo que permita fijar convenientemente la cápsula.

D.8. HORNO

Provisto de termostato que mantenga temperaturas hasta de 175°C, con aproximación de $\pm 2^\circ\text{C}$.

D.9. AGUA

Destilada.

D.10. GLICERINA O TALCO

Para evitar que se adhiera el material asfáltico a la esfera.

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De la muestra de asfalto modificado, obtenida según se establece en el Manual M.M.P.4.05.001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*, se toma una porción de 177,5 cm³ y se calienta en un recipiente apropiado, agitándola en forma continua con el objeto de distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez eficiente para facilitar su vaciado en la cápsula, cuidando que durante su calentamiento no se formen burbujas de aire, que la temperatura alcanzada no exceda de 130°C y que esta operación se realice en un lapso menor de 30 minutos. Hecho esto, inmediatamente se llena la cápsula con la muestra de prueba, se cubre adecuadamente para protegerla del polvo, se deja enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente, para después ser sometida a un proceso de curado durante 24 h bajo condiciones estándar de laboratorio.

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- F.1.** Se coloca la cápsula que contiene la muestra de prueba dentro del recipiente de manejo, para introducirlos posteriormente en el baño de agua, cuando éste mantenga una temperatura de $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$. Se sumerge dicho recipiente completamente y se mantiene así por espacio de 1 h. con objeto de que el producto asfáltico adquiera esa temperatura.
- F.2.** Se coloca el penetrómetro sobre una superficie plana, firme y sensiblemente horizontal, se le acopla la esfera de penetración con guía y se nivela perfectamente el penetrómetro.
- F.3.** Se saca del baño de agua el recipiente de manejo, el cual contiene la muestra de prueba en su cápsula, cuidando que tenga agua suficiente para cubrir completamente dicha cápsula. Se colocan el recipiente y la cápsula sobre la base del penetrómetro, de tal manera que la muestra quede bajo la esfera de penetración, a la que previamente se le habrá aplicado ligeramente glicerina o talco para evitar que se adhiera a la muestra. Se ajusta la altura de la esfera de penetración hasta que haga contacto con la superficie de la muestra, lo que se logra haciendo coincidir la superficie de la esfera con su imagen reflejada en la superficie de la muestra.

- F.4.** Se hace coincidir la manecilla del penetrómetro con el cero de su carátula, hecho esto se libera la esfera dejándola penetrar durante 5 s, después de lo cual se toma la lectura registrándola en décimos de milímetro como P.
- F.5.** Sin alterar la lectura del medidor, se presiona la guía con la esfera a un ritmo uniforme durante 10 s, hasta que la manecilla del penetrómetro recorra 100 unidades, es decir, que la manecilla indique P + 100. Se sostiene esta presión mediante el embrague durante otros 5 s, mientras se regresa la manecilla del penetrómetro a "cero". Hecho lo anterior, se libera el embrague para que el espécimen se recupere durante 20 s y se registra la lectura después de la recuperación, como F, en décimos de milímetro.
- F.6.** Se realizan un total de tres determinaciones sobre puntos equidistantes entre ellos, separados de la pared de la cápsula no menos de 13 mm. Se limpia cuidadosamente la esfera después de cada determinación sin desmontarla y, de ser necesario, para ajustar la temperatura a 25 + 0,1 °C, se regresa el recipiente de manejo con la muestra al baño de agua. Para la limpieza de la esfera se utiliza un paño humedecido con tricloroetileno y después un paño seco y limpio.

G. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- G.1.** Se calcula la recuperación elástica para cada una de las tres mediciones, utilizando la siguiente fórmula:

$$R = P + 100 - F$$

Donde:

R = Recuperación elástica, (%)

P = Penetración de la esfera, (1 x 10⁻¹ mm)

F = Lectura de recuperación, (1 x 10⁻¹ mm)

- G.2.** Se reporta como la resiliencia, el promedio de las tres recuperaciones elásticas calculadas.

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, Se observan las siguientes precauciones:

- H.1.** Realizar la prueba en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación de las muestras de prueba.
- H.2.** Realizar la prueba bajo las condiciones de temperatura, masa y tiempo de

penetración que se especifican.

H.3. Evitar que exista aire atrapado en la muestra de prueba.

H.4. Confirmar que la esfera esté perfectamente limpia en el momento de la penetración.

H.5. Verificar que la esfera esté en contacto con la superficie de la muestra de prueba al iniciar la penetración.

LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO y
PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 024. Recuperación Elástica por Torsión en Cemento Asfáltico
Modificado

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la recuperación elástica por torsión de los asfaltos modificados, a que se refiere la Norma N.CMT.4.05.002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, en muestras tomadas conforme al Manual M.MMP-4'05'001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar la capacidad de recuperación elástica de los materiales asfálticos modificados. La prueba consiste en inducir una deformación angular mediante un cilindro de acero de dimensiones específicas, embebido en una muestra de cemento asfáltico modificado, con el objeto de observar su capacidad de recuperación.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con la Norma N.CMT.4.05.002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados* y el Manual M.MMP.4.05.001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

D. EQUIPO Y MATERIALES

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

D.1. APARATO DE TORSIÓN

Para imponer una deformación angular a la muestra, con la forma y dimensiones mostradas en las Figuras 1 y 2 de este Manual y constituido fundamentalmente por:

- Cilindro metálico

- Semicorona con escala graduada de 0 a 180°
- Barra indicadora, que permite tomar la medición sobre la semicorona graduada .
- Baño de agua
- Molde para la muestra

D.2. TERMÓMETRO

Con rango de 19 a 27°C y aproximación de 0,1 °C.

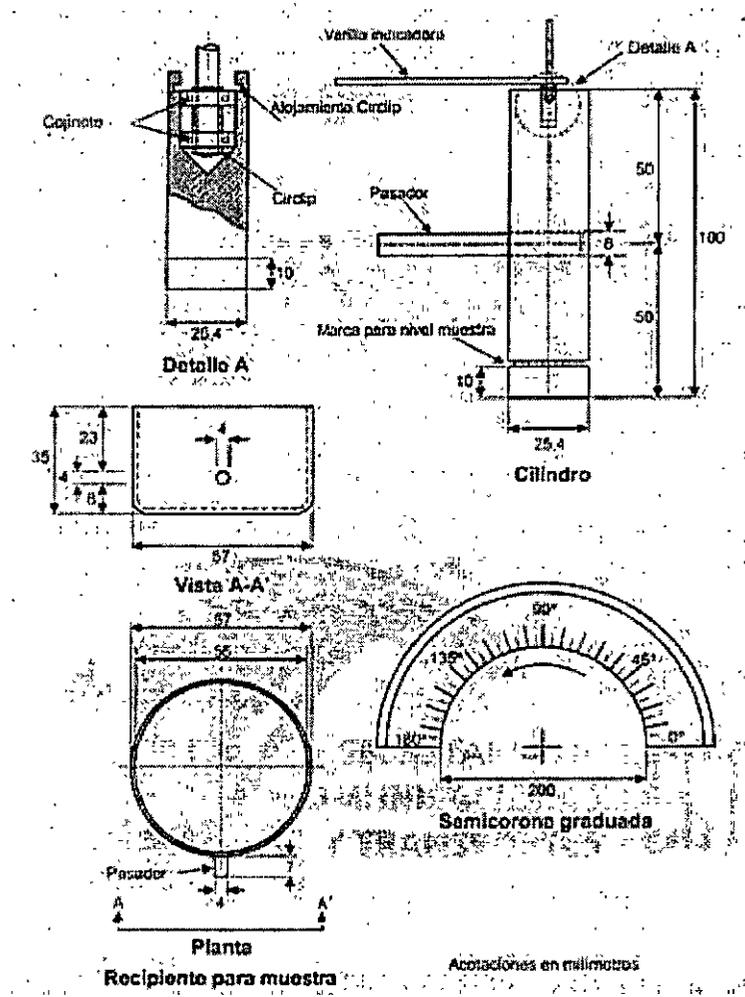


FIGURA 1.- Cilindro, semicorona graduada y molde para la muestra

D.3. CRONÓMETRO

Con aproximación de 1 s.

D.4. ESTUFA

Para calentar la muestra de prueba.

D.5. VARILLA

Para agitado, con extremos redondeados con diámetro de 13 mm aproximadamente.

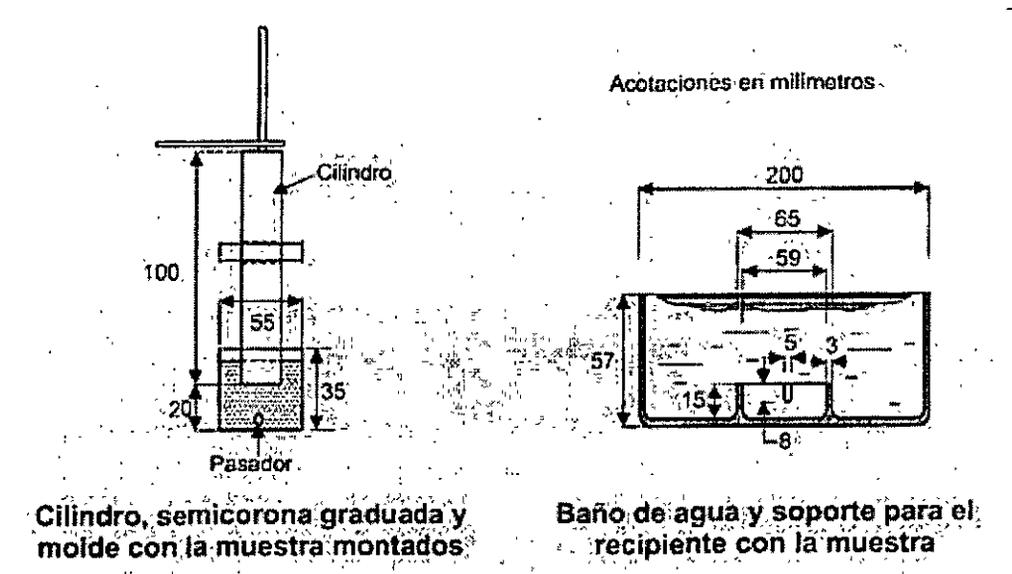


FIGURA 2.- Recipiente con la muestra y baño de agua

D.6. ESPÁTULA

Metálica, para agitar la muestra.

D.7. RECIPIENTE

De un material resistente al calor.

D.8. MALLA N°50

De 300 μm de abertura.

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De la muestra de cemento asfáltico modificado, obtenida según se establece en el Manual M.MMP.4.05.001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*, se toma una porción de volumen ligeramente mayor al necesario para llenar el molde para la muestra del aparato de torsión y se calienta en un recipiente apropiado, agitándola en forma continua con el objeto de distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez suficiente para facilitar su vaciado en dicho molde, cuidando que durante su calentamiento la temperatura no exceda de 130°C y que esta operación se realice en un lapso menor de 30 mino

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- F.1.** Se centra y fija el molde para la muestra dentro del baño, antes de agregar el agua.
- F.2.** Se ajusta el cilindro metálico de tal forma que su base inferior quede a una distancia de 20 mm del fondo del molde, previamente al vertido de la muestra.
- F.3.** Una vez preparada la muestra como se establece en la Cláusula E. de este Manual, se vierte en el molde, agitándola perfectamente y haciéndola pasar cuidadosamente a través de la malla N°50, formando un chorro delgado que se mueva por toda la circunferencia del molde, evitando la formación de burbujas de aire y en cantidad suficiente que permita el enrasamiento de dicho molde usando como referencia la marca grabada sobre el cilindro metálico a 10 mm de su base inferior, es decir, que el cilindro metálico quede sumergido dentro de la muestra precisamente estos 10 mm.
- F.4.** Se deja enfriar el conjunto formado por el molde, la muestra y el cilindro metálico, durante 1 h como mínimo, hasta alcanzar la temperatura ambiente.
- F.5.** Se hace circular agua por el baño a una temperatura de $25 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ durante al menos 90 min, con el fin de equilibrar la temperatura del agua y de la muestra de prueba. El nivel del líquido en el baño estará por encima del recipiente con la muestra.
- F.6.** Se introduce el pasador en el espacio que para tal efecto tiene el cilindro metálico y con su ayuda se hace girar dicho cilindro 180° en el sentido de las manecillas del reloj, es decir, se lleva la barra indicadora de 180° a 0°, en un tiempo comprendido entre 3 y 5 s. Hecho esto, se retira inmediatamente el pasador para que no interfiera con el desarrollo posterior de la prueba.

F.7. Transcurridos 30 min + 15 s, se registra la lectura indicada por la barra sobre la semicorona graduada, como el valor del ángulo recuperado (L).

G. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se reporta como resultado de la prueba, el porcentaje de recuperación con respecto al ángulo inicial de 180°, utilizando la siguiente expresión:

$$Re = \frac{L}{180} \times 100$$

Donde:

Re = Recuperación elástica por torsión, (%)

L = Ángulo recuperado, n

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observan las siguientes precauciones:

H.1. Realizar la prueba en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación de las muestras de prueba.

H.2. Realizar la prueba bajo las condiciones de temperatura y tiempo señalados.

H.3. Evitar que exista aire atrapado en la muestra de prueba.

H.4. Confirmar que el equipo esté perfectamente limpio en el momento de la prueba, especialmente el cilindro metálico.

I. BIBLIOGRAFÍA

- Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX, Norma NLT-329/91, *Recuperación Elástica por Torsión de Betunes Asfálticos Modificados*, España, (1991).
- Ministère des Travaux Publics, Circulaire N° A-169-86/04001, Bélgica, (1986).

LIBRO:

MMP. MÉTODOS DE MUESTREO y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: TÍTULO: CAPÍTULO:

4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS 05. Materiales Asfálticos Aditivos y Mezclas
025. Módulo Reológico de Corte Dinámico

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para la determinación del módulo reológico de corte dinámico y el ángulo fase de los asfaltos modificados, a que se refiere la Norma N.CMT-4.05.002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, en el residuo de la prueba de la película delgada o para determinar las propiedades reológicas de muestras tomadas conforme al Manual M.MMp.4.05.001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar al módulo reológico de corte dinámico y el ángulo fase, como propiedades viscoelásticas lineales de cemento asfáltico, sometiendo una muestra a esfuerzos de torsión utilizando un reómetro dinámico de corte. Es aplicable a cementos asfálticos con módulos complejos en el rango de 0,1 a 1 000 Kpa, los que se obtienen en forma típica entre 5 y 85°C.

C. REFERENCIAS

Son referencias de este Manual, la norma PP6 (norma provisional), Grading or Verifying the Performance Grade of an Asphalt Binder (Grado de Verificación del Grado de Comportamiento del Ligante Asfáltico) publicada por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), y la norma Deutsche Industrie Norm (DIN) N°43760, Standard for Calibration of Thermocouples (Norma para la Calibración de Termocoples).

Además, este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Materiales Asfálticos Modificados	N.CMT.4.05.002
Muestreo de Materiales Asfálticos	M.MMp.4.05.001
Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos	M.MMp.4.05.010

D. EQUIPO

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes.

D.1. SISTEMA DE PRUEBA DEL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO (DSR)

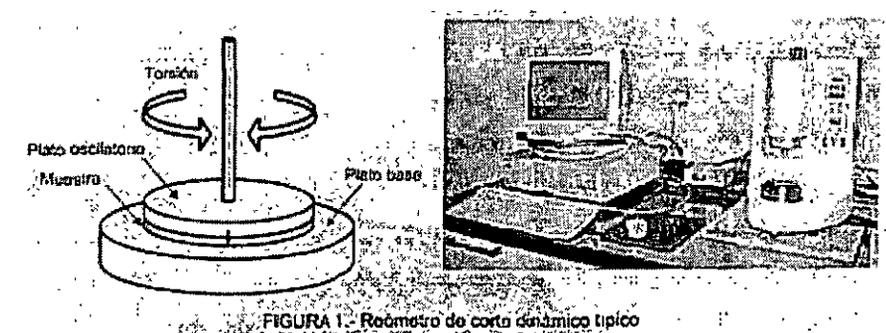
Como el mostrado en la Figura 1 de este Manual, que cuente con:

D.1.1. Plato base

Metálico, con superficies pulidas, con las dimensiones adecuadas según el plato oscilatorio que emplee. En algunos reómetros este plato puede ser plano.

D.1.2. Platos oscilatorios

Metálicos, con superficies pulidas, con diámetros de 8 \pm 0,05 mm o 25 \pm 0,05 mm. El plato de 8 mm es recomendable cuando se realiza la prueba a una temperatura aproximada de 40°C y el de 25 mm para temperaturas superiores. Es conveniente que tengan una pestaña o anillo en su perímetro, con una altura de 2 a 5 mm, esto para facilitar el recorte de la muestra y mejorar la repetibilidad de la prueba.



D.1.3. Cámara ambiental

Capaz de controlar la temperatura de la muestra con aproximación de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, mediante gas o líquido, tal como el nitrógeno o el agua, que no afecten las propiedades de la muestra. Si se utiliza agua, se contará con un secador para prevenir la condensación de la humedad en los platos y los demás aditamentos, además de evitar la formación de hielo si se está trabajando a temperaturas bajo cero. Tendrá las dimensiones adecuadas para contener los platos a que se refieren los Incisos 0.1.1. y 0.1.2. de este Manual y minimizar los gradientes térmicos. Que cuente con:

D.1.3.1. Controlador de temperatura

Capaz de mantener la temperatura de la muestra con aproximación de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, para rangos de prueba de 5 a 85°C .

D.1.3.2. Detector de temperatura

Detector de resistencia térmica (RTD), de platino (clase A) o equivalente, que cumpla con la norma DIN 43760, con rango de 5 a 85°C y aproximación de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. El detector estará montado dentro de la cámara ambiental en contacto con el plato, para controlar en forma continua la temperatura en la cámara durante el montaje de la muestra, su acondicionamiento y la prueba. El RTD se calibrará como una unidad integral con su respectivo medidor o circuito electrónico.

D.1.3.3. Detector térmico de referencia

Puede ser un termistor o un detector de resistencia térmica (RTD) montados en un sello de silicón, o bien un termocople.

D.1.4. Dispositivo de carga

Capaz de proporcionar una carga sinusoidal de esfuerzo o deformación controlados, con una frecuencia de $10 \pm 0,1 \text{ rad/s}$; si se utilizan frecuencias distintas, éstas tendrán una precisión de $\pm 1\%$. Cuando la carga sea de deformación controlada, el dispositivo será capaz de aplicar una torsión cíclica suficiente para causar una deformación rotacional angular con una precisión de $\pm 100 \mu\text{rad}$ de la deformación especificada; cuando la carga sea de esfuerzo controlado, la fuerza de torsión cíclica aplicada tendrá una precisión de $\pm 10 \text{ mN}\cdot\text{m}$ de la torsión especificada. El rendimiento total del sistema a una torsión de $100 \text{ N}\cdot\text{m}$ será menor de $2 \text{ mrad/N}\cdot\text{m}$.

D.1.5. Sistema de control y registro de datos

Que cuente con los dispositivos necesarios para registrar la temperatura, la frecuencia, el ángulo de giro y la fuerza o deformación por torsión. Dichos dispositivos cumplirán con las precisiones indicadas en la Tabla 1 de este Manual. Adicionalmente, el sistema será capaz de calcular y registrar el esfuerzo y la deformación cortantes, el módulo complejo (G^*) en un rango de 0,1 a 1 000 kPa con aproximación de 0,5% y el ángulo fase (ϕ) en un rango de 0 a 90° con aproximación de 0,1°.

TABLA 1.- Precisión del sistema de control y registro de datos

Parámetro	Aproximación
Temperatura	:1:0,1°C
Frecuencia	:1:1%
Angulo ϕ ; Je giro	:1:100 wad
Torsión	:1:10 mN'm

D.2. MOLDE PARA FORMAR LA MUESTRA

De silicón, que tenga uridímetro ,aproximadal1enteigual al plato superior y una profundidad aproximada igtlal a 1,5 veces el espesor que se fije para la muestra, que puede ser 1 mm o 2mm.

D.3. DISPOSITIVO PARA AJUSTAR (RECORTAR) LAS MUESTRAS

Con una punta afilada, de 4 mm de ancho como mínimo.

D.4. DETECTOR CALIBRADO DE TEMPERATURA

Para medir la temperatura de la ,muestra. Puede ser un termocople calibrado, un termistor o un detector de resistencia térmica (RTD) con espesor o diámetro de 2 mm o menor. Los termistores y termocoples no son confiables para precisiones mayores de :1:0,1 °C a menos que se calibren de acuerdo con el estándar del *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, utilizando sus propios medidores o circuitos electrónicos. Los RTD de platino no son adecuados, ya que son demasiado largos para ajustarse en el espacio entre los platos en el . reómetro de corte dinámico (DSR).

E. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

La calibración del equipo se realizará por lo menos cada 6 meses, considerando lo siguiente:

E.1. TEMPERATURA

Debido a la existencia de gradientes térmicos dentro del reómetro y la dificultad para calibrar el RTD mientras ésta montado en el reómetro, es necesario hacer una medición directa de la temperatura entre los platos utilizando un espécimen y un detector térmico de referencia. Para verificar las mediciones de temperatura se procede como sigue:

- E.1.1. Se prepara un espécimen de cemento asfáltico o de silicón siguiendo el procedimiento descrito en la Cláusula G. de este Manual; dicho espécimen se utilizará únicamente para verificar las mediciones de temperatura, ya que las medidas de corte dinámico no son válidas cuando el detector de referencia se inserta dentro de la muestra.
- E.1.2. Se coloca el espécimen entre los platos y se registra su temperatura con el detector térmico de referencia, que puede ser un termistor, un detector de resistencia térmica (RTD) o un termocople.
- E.1.3. Se ajusta la temperatura en la cámara ambiental a la mínima que se utilizará para la prueba y se espera hasta que llegue al equilibrio; hecho esto, se toma la lectura inicial del RTD del reómetro y la temperatura del espécimen medida con el detector térmico de referencia. Se aumenta la temperatura en incrementos no mayores de 6°C y se repiten las mediciones hasta cubrir el rango de temperaturas de prueba.
- E.1.4. Utilizando las mediciones resultantes, se obtiene la diferencia entre las temperaturas obtenidas con el RTD del reómetro y el detector térmico de referencia insertado en el espécimen. Es de esperar que la diferencia entre las mediciones no sea constante y varíe con la temperatura de prueba.
- E.1.5. Si las mediciones a que se refiere el Inciso anterior varían en más de $\pm 0,1$ °C, se ajustará el RTD del reómetro de tal forma que la lectura de la temperatura de prueba coincida con la que se obtiene con el detector térmico de referencia en el espécimen colocado entre los dos platos.
- E.1.6. El RTD del reómetro puede ser calibrado por el proveedor del equipo. Se puede verificar la calibración comparando la lectura del RTD con la de un termómetro de mercurio de inmersión parcial con un rango apropiado que esté debidamente calibrado, uniéndolos mediante una banda de hule y sumergiéndolos en un baño de agua en movimiento puesto a temperatura constante con una variación no mayor de $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

E.2. DISPOSITIVO DE CARGA

El dispositivo de carga, se calibrará de acuerdo con las instrucciones del fabricante del equipo.

E.3. VERIFICACIÓN DE TODO EL SISTEMA DE PRUEBA

Para verificar la calibración de todo el sistema, se pueden utilizar fluidos con características viscoelásticas similares a los cementos asfálticos. Se pueden utilizar fluidos con módulo complejo y ángulo fase conocidos dentro del rango de mediciones de la prueba; sin embargo, ya que los fluidos de referencia no tienen la misma sensibilidad a la temperatura que los cementos asfálticos, se debe tener mucho cuidado en la interpretación de los resultados obtenidos de dichos fluidos. No es recomendable tratar de verificar individualmente los detectores de carga o giro mediante un fluido de referencia.

F. PREPARACIÓN DEL EQUIPO

Se prepara el sistema de prueba de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del equipo, considerando lo siguiente:

- F.1.** Se limpian y secan cuidadosamente las superficies de los platos metálicos, para garantizar una adherencia uniforme y firme de la muestra durante su montaje. Se montan firmemente los platos en su sitio y se selecciona la temperatura de prueba de acuerdo con el tipo del cemento asfáltico por probar, según en la Norma N.CMT.4.05.002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, a menos que se desee utilizar otra considerando las recomendaciones indicadas en la norma (provisional) AASHTO PP6. Se calienta el reómetro hasta que se estabilice su temperatura a la de prueba $\pm 0,1$ °C.
- F.2.** Una vez que los platos están a la temperatura de prueba o, si ésta se va a realizar en un rango de temperaturas, dichos platos están a la temperatura correspondiente a la mitad del rango, se cierra el espacio entre los platos hasta llegar al "nivel cero" girando manualmente el plato móvil hasta que toque al plato fijo, es decir, cuando el plato móvil deje de girar completamente; hecho lo anterior se ajusta la lectura del micrómetro en ceros o, si esto no es posible, se toma la lectura inicial del micrómetro. En el caso que se utilice un reómetro con un dispositivo de fuerza normal, se cierra el espacio entre los platos hasta que se toquen y se fija entonces el "nivel cero" cuando la fuerza normal es aproximadamente nula. El soporte, los detectores y demás accesorios en el reómetro, pueden sufrir cambios volumétricos por temperatura, lo que puede ocasionar que se modifique el "nivel cero" previamente fijado; sin embargo, no es necesario hacer ajustes siempre y cuando las mediciones se hagan en un rango de ± 12 °C respecto a la temperatura a la que fue fijado dicho nivel.

- F.3.** Una vez fijado el "nivel cero", se separan los platos hasta que se tenga una distancia de $1 \pm 0,05$ mm en el caso de especímenes de 25 mm de diámetro, o una distancia de $2 \pm 0,05$ mm para especímenes de 8 mm de diámetro.

G. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La preparación de la muestra de cemento asfáltico modificado, ya sea producto del residuo de la prueba de película delgada, ejecutada como se indica en el Manual M.MMP.4.05.010, *Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos*, o de una muestra obtenida según se establece en el Manual M.MMP.4.0S.001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*, se hace de la siguiente manera:

- G.1.** De la muestra se torna una porción ligeramente mayor al volumen necesario para llenar el molde de silicón (aproximadamente 10 g) Y se le aplica el calor indispensable para fluidificarla, agitándola continuamente para homogeneizar su temperatura y evitar sobrecalentamientos locales, cuidando que la temperatura alcanzada no sea mayor de 163°C y que no se formen burbujas de aire. Es recomendable minimizar el tiempo y la temperatura de calentamiento para evitar el endurecimiento de la muestra.
- G.2.** Si los platos no se encuentran montados en su sitio, se limpian y secan cuidadosamente para garantizar una adherencia uniforme y firme. de la muestra. Se introducen los platos en la cámara ambiental del reómetro previamente calentada a 45°C, aproximadamente, hasta que alcancen dicha temperatura; esto producirá el calor suficiente para que la muestra se adhiera adecuadamente a los platos en el momento de presionarla para su ajuste en ellos; en caso que los platos se encuentren colocados en su sitio y a la temperatura aquí indicada, se procederá directamente con lo señalado en la siguiente Fracción.
- G.3.** Del reómetro previamente preparado como se indica en la Cláusula F. de este Manual, se retira el plato superior o inferior, según su caso. Sobre el plato inferior montado o fuera del reómetro, según el tipo de aparato, se vacía la muestra sobre su centro y en forma continua, cubriéndolo hasta 2 mm antes del perímetro del mismo. El vaciado se hace vertiendo la muestra desde aproximadamente 15 mm por encima del plato, pudiendo utilizar una jeringa o gotero. Se deja reposar el plato hasta que la muestra de prueba endurezca y se monta nuevamente el plato inferior o el superior en el reómetro.
- G.4.** Si como alternativa a lo señalado en la Fracción anterior, se prefiere utilizar el molde de silicón, se vacía en él la muestra para formar una pastilla con un espesor aproximado de 1,5 veces la distancia seleccionada entre los platos para la prueba, que puede ser de 1 mm si se utiliza un plato oscilatorio de 25 mm de diámetro, o de 2 mm si dicho plato es de 8 mm de diámetro. Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente, se retira el plato superior o el inferior de la cámara ambiental, según sea el caso, se desmolda la muestra y se centra en dicho plato para montarlo nuevamente en el reómetro inmediatamente. En el

caso de asfaltos suaves, para acelerar el enfriamiento de la muestra se puede introducir el molde en una cámara refrigerante el tiempo mínimo indispensable para facilitar el desmolde, que normalmente es menor de 5 min.

- G.5. Una vez que la muestra se ha colocado en un plato como se indica en las Fracciones G.3. o G.4. de este Manual, se acercan entre sí los platos montados en el reómetro para presionar la muestra entre ellos, hasta que la distancia entre los platos sea 0.05 mm mayor que la distancia especificada para la prueba, que puede ser de 1 mm o 2 mm, como se indica en la Fracción anterior.
- G.6. Se recorta cuidadosamente el exceso de la muestra que sobresale del perímetro del plato superior, utilizando una herramienta con filo y previamente calentada.
- G.7. Una vez que se ha terminado de recortar la muestra, se reduce el espacio entre los platos los 0,05 mm, para alcanzar la distancia seleccionada para la prueba; esto causará un pequeño abultamiento de la muestra en su periferia.

H. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PRUEBA

- H.1. Cuando se opera en el modo de deformación controlada, la prueba se hace considerando lo siguiente:
 - H.1.1. Cuando la prueba se ejecuta para verificar los requisitos de calidad establecidos en la Norma N.CMT.4.05.002, Calidad de Materiales Asfálticos Modificados, la deformación angular unitaria inducida será de $10 \pm 2\%$. De preferencia se utilizará un reómetro que controle la deformación en forma automática, sin la necesidad de intervención del operador.
 - H.1.2. Si la prueba se realizaron un fin distinto al indicado en el Inciso anterior, la deformación se determina de acuerdo con el valor del módulo complejo esperado y se controla dentro del rango correspondiente al 20% del valor obtenido mediante la siguiente expresión:

$$\gamma = \frac{12}{(G^*)^{0.29}}$$

Donde:

γ = Deformación al cortante, (%)

G^* = Módulo complejo esperado, (kpa)

- H.2. Cuando se opera en el modo de esfuerzo controlado, la prueba se hace considerando lo siguiente:
 - H.2.1. Cuando la prueba se ejecuta para verificar los requisitos de calidad

establecidos en la Norma N.CMT.4.05.002, Calidad de Materiales Asfálticos Modificados, el esfuerzo cortante aplicado será de $0,22 \pm 0,04$ kPa. De preferencia se utilizará un reómetro que controle el nivel de esfuerzos en forma automática, sin la necesidad de intervención del operador.

H.2.2. Si la prueba se realiza con un fin distinto al indicado en el Inciso interior, el nivel de esfuerzos cortantes por aplicar se determina de acuerdo con el valor del módulo complejo esperado y se controla dentro del rango correspondiente al 20% del valor calculado mediante la siguiente expresión:

$$\tau = 0,12(G^*)^{0.71}$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante, (kPa)

G^* = Módulo complejo esperado, (kPa)

I. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- I.1. Una vez que el equipo y la muestra han sido preparados como se indica en las Cláusulas F. y G. de este Manual, respectivamente, se calienta la muestra utilizando la cámara ambiental, hasta alcanzar la temperatura de prueba indicada en la Tabla 1 de la Norma N.CMT.4.05.002, Calidad de Materiales Asfálticos Modificados, ± 0.1 °C. Se fija el controlador de temperatura al nivel de prueba deseado, incluyendo, en su caso, los ajustes a que se refiere la Fracción E.1. de este Manual. La prueba se iniciará cuando se haya mantenido la temperatura de prueba en un rango de ± 0.1 °C por al menos 10 min.
- I.2. Una vez alcanzada la temperatura de prueba como se indica en la Fracción anterior, se aplican a la muestra 10 ciclos de una deformación o esfuerzo cíclico de valor predeterminado, a una frecuencia de 10 rad/s. Hecho lo anterior, se aplican otros 10 ciclos en las mismas condiciones y se registran las lecturas correspondientes. Es importante que se inicie la segunda fase de la prueba lo más pronto posible después de terminada la primera. Cuando se efectúen pruebas a diferentes temperaturas con la misma muestra, éstas se harán de tal forma que el tiempo entre prueba y prueba sea mínimo, con objeto de evitar el endurecimiento de la muestra por efecto de las asociaciones moleculares, lo que puede provocar el incremento del valor del módulo complejo; el tiempo total de prueba no será mayor de 4 h.
- I.3. Con las lecturas registradas automáticamente, mediante el sistema de control y registro de datos del reómetro, al procesarlas el aparato obtiene el módulo complejo (G^*) Y el ángulo fase (δ). Se pueden efectuar varias mediciones con la misma muestra para verificar que haya sido preparada adecuadamente, pero

teniendo cuidado que no se desprege la muestra de los platos o se fracture, ya que esto provocaría que disminuya el valor del módulo complejo. Algunos cementos asfálticos muestran una disminución del módulo complejo al practicárseles pruebas múltiples. Es importante que si se efectúan las pruebas utilizando más de una frecuencia, se inicie con la más baja hasta llegar a la más alta.

J. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- J.1.** Se calcula el módulo reológico de corte dinámico, dividiendo el módulo complejo entre el seno del ángulo fase ($G^*/\text{sen } \delta$), obtenidos de las lecturas proporcionadas por el sistema de control y registro de datos del reómetro.
- J.2.** Se reporta como resultado de esta prueba, el valor del módulo reológico de corte dinámico en kPa y el ángulo fase (δ) en grados ($^\circ$), ambos con aproximación de un décimo.
- J.3.** Tanto para cementos asfálticos sin modificar como modificados, el módulo complejo (G^*) y el ángulo fase (δ), decrecen con el aumento del esfuerzo cortante. Se puede obtener una gráfica como la que se muestra en la Figura 2 de este Manual, incrementando gradualmente el valor del esfuerzo o la amplitud de la deformación. Aunque no es necesario elaborar gráficas como esta durante la prueba, son de utilidad para obtener los límites de la región en que el cemento asfáltico muestra un comportamiento viscoelástico lineal, que se observa en los valores pequeños de deformación, donde el módulo complejo es relativamente independiente de la deformación por cortante, es decir, que el valor del módulo complejo varía entre el 95 y el 100% del valor correspondiente a una deformación "cero". La extensión de esta región de comportamiento lineal varía con la magnitud del módulo complejo.
- J.4.** El esfuerzo por cortante varía desde cero en el centro de los platos, hasta un valor máximo en su perímetro y es calculado a partir del esfuerzo de torsión, aplicado o medido, o de la deformación, aplicada o medida y de la geometría del espécimen de prueba.
- J.5.** Además del resultado de la prueba, en el reporte se incluye:
- J.5.1.** El módulo complejo obtenido de las lecturas proporcionadas por el sistema de control y registro de datos del reómetro, en kPa, con

aproximación de un milésimo.

J.5.2. El diámetro de los platos utilizados en mm con aproximación de un décimo y la separación entre platos con aproximación de un $1\ \mu\text{m}$.

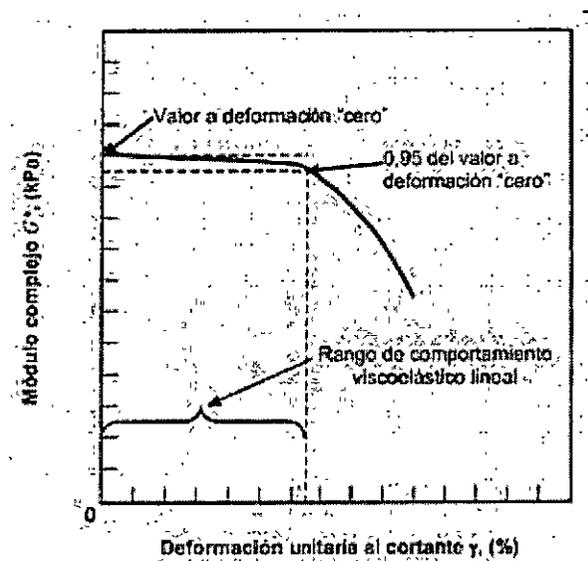


FIGURA 2.- Ejemplo de una gráfica para definir los límites del comportamiento viscoelástico lineal de un cemento asfáltico

- J.5.3.** La temperatura de prueba en $^{\circ}\text{C}$ con aproximación de un décimo.
- J.5.4.** La frecuencia de prueba en rad/s, con aproximación de un décimo.
- J.5.5.** La amplitud de la deformación Unitaria en %, con aproximación de un centésimo, o el esfuerzo de torsión en $\text{mN}\cdot\text{m}$ con aproximación a la unidad.
- J.5.6.** La descripción completa del material probado incluyendo su código de identificación, tipo de recipiente de almacenaje y origen, entre otros.
- J.5.7.** La descripción general del equipo utilizado, especificando si es un reómetro de esfuerzo constante o de deformación constante e incluyendo modelo, tipo de cámara ambiental y demás información relevante para la descripción del aparato.
- J.5.8.** Los valores de deformación o de esfuerzo que se hayan utilizado, para determinar que la prueba se ha desarrollado dentro de la región lineal a que se refiere la Fracción J.3. de este Manual.
- J.5.9.** En caso que se observe que la prueba se ha realizado en el rango de comportamiento viscoelástico no lineal, se reportará el módulo complejo correspondiente a la deformación o al esfuerzo utilizados, indicando en el

reporte que las condiciones de prueba estuvieron fuera de la región lineal.

K. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observan las siguientes precauciones:

- K.1. Realizar la prueba en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación de las muestras de prueba.
- K.2. Verificar que el equipo esté calibrado de acuerdo con las instrucciones del fabricante y considerando lo indicado en la Cláusula E. de este Manual.
- K.3. Que todo el equipo esté perfectamente limpio, para que al hacer la prueba la muestra no se mezcle con agentes extraños y se altere el resultado.
- K.4. Verificar que siempre se fluidifique totalmente la muestra antes de montarla entre los platos, ya que la estructura que se desarrolla durante su almacenaje puede provocar que se sobrestime su módulo complejo hasta en un 50%.
- K.5. Cuidar que el recorte de la muestra al montarla entre los platos se haga con la mayor exactitud posible, ya que una pequeña variación en el diámetro de la muestra puede alterar significativamente el resultado de la prueba.
- K.5. Cuidar que cuando se vayan a realizar pruebas a distintas temperaturas con la misma muestra, el tiempo total de prueba no sea mayor de 4 h, para que los valores obtenidos sean confiables.
- K.7. Cuidar que cuando se vayan a realizar mediciones múltiples a la misma muestra, no se despegue dicha muestra de los platos o se fracture, para que los valores obtenidos sean confiables.

L. BIBLIOGRAFÍA

- American Association for Testing and Materials (ASTM), Norma ASTM E 220, *Method for Calibration of Thermocouples by Comparison Techniques* (Método para la Calibración de Termocoples Mediante Técnicas de Comparación), EUA.

M. CONCORDANCIA CON OTRAS NORMAS

NORMA	DESIGNACIÓN
Standard Test method for determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR). Provisional StandardAASHTO.TP5-93

LIBRO:	MMP. MÉTODOS DE MUESTREO y PRUEBA DE MATERIALES
PARTE:	4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS
TÍTULO:	05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas
CAPÍTULO:	026. Recuperación Elástica en Ductilómetro

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la recuperación elástica en ductilómetro de los materiales asfálticos modificados, a que se refiere la Norma N°CMT-4-OS-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar la recuperación elástica del residuo de la prueba de película delgada y de los residuos asfálticos obtenidos por destilación de emulsiones. La prueba consiste en mantener una muestra de prueba estirada en un ductilómetro durante un tiempo determinado, después del cual se corta por la mitad, se deja reposar y finalmente se observa cuánto se recupera la deformación.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con la Norma N°CMT-4-OS-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*, así como con los Manuales M.MMP-4-OS-010, *Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos* y M-MMP-4-OS-012, *Destilación de Emulsiones Asfálticas*.

D. EQUIPO Y MATERIALES

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

D.1. DUCTILÓMETRO

Como el mostrado en la Figura 1 de este Manual, constituido fundamentalmente por un dispositivo para estirar la briqueta de material asfáltico a una velocidad uniforme y sin vibraciones perjudiciales, de tal manera que durante la prueba la muestra permanezca sumergida en el agua de un tanque de material resistente a la corrosión, ubicada a no menos de 2,5 cm tanto del nivel del agua como del fondo del tanque.

D.2. MOLDE PARA ELABORAR LA BRIQUETA

De latón, compuesto por dos mordazas y dos elementos laterales, con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 2 de este Manual.

D.3. PLACA DE APOYO

Plana, lisa y rígida, de latón o bronce, con superficie de 15 x 5 cm como mínimo y espesor de 2 mm aproximadamente

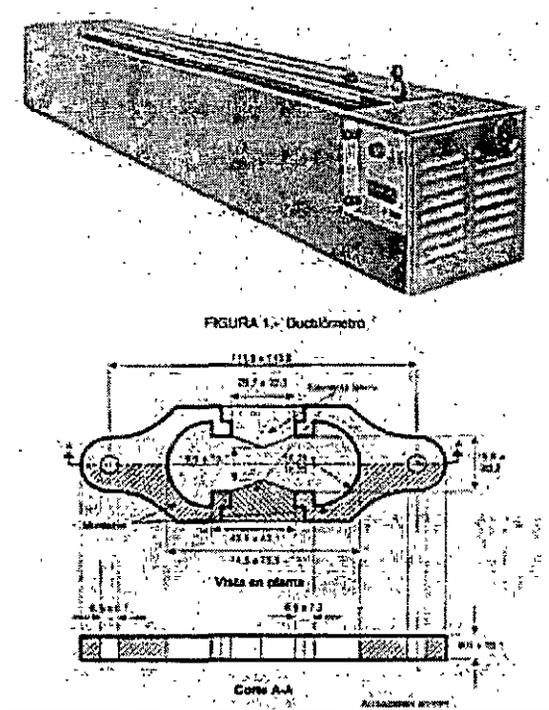


FIGURA 2.- Molde para elaborar la briqueta

D.4. BAÑO DE AGUA

Que permita mantener la temperatura a $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$, con una capacidad mínima de 10 l. Estará provisto de un entrepaño con perforaciones para colocar la muestra sumergida, ubicado a no menos de 5 cm del fondo del baño y 10 cm de la superficie libre del líquido.

D.5. TERMÓMETRO

Con rango de -8 a 32°C y aproximación de $0,1^\circ\text{C}$.

D.6. MALLA N°50

De 300 µm de abertura.

D.7. ESPÁTULA DE NÍQUEL

De borde recto y 20 cm de longitud.

D.8. CLORURO DE 50010

De uso comercial.

D.9. ANTIADHERENTE

Aceite o grasa de silicón; una mezcla de glicerina y dextrina; talco o caolín, para recubrir la placa de apoyo y los elementos laterales, con lo que se evita su adherencia con el asfalto.

D.10. PAÑO

Para aplicar el antiadherente en la placa de apoyo y en los elementos laterales.

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Previamente a la preparación de la muestra, se aplica con el paño el antiadherente seleccionado en los dos elementos laterales del molde de la briqueta y en la superficie de la placa de apoyo, para evitar que se les adhiera el material asfáltico. Hecho lo anterior se coloca el molde sobre la placa de apoyo y se ajusta dejándolo en posición horizontal,

La muestra de prueba, según se trate del residuo de la prueba de película delgada de cementos asfálticos modificados o del residuo asfáltico obtenido por destilación de una emulsión modificada, se prepara como se indica a continuación:

E.1. MUESTRA DEL RESIDUO DE LA PRUEBA DE PELÍCULA DELGADA DE CEMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS

Del residuo de la prueba de película delgada, obtenido como se establece en el Manual M.MMPA.05.010, *Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos*, se toma un volumen ligeramente mayor al necesario para llenar el molde de la briqueta y se calienta en un recipiente apropiado, agitándolo en forma continua con el objeto de distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez suficiente para facilitar su vaciado en el molde, cuidando que durante su calentamiento la temperatura no exceda de 130°C y que la operación se realice en un lapso menor de 30 min. Hecho esto, inmediatamente se llena el molde previamente preparado como se indica en la Cláusula E. de este Manual, para hacer la briqueta, pasando la muestra de prueba por la malla N°50, agitándola perfectamente y vertiéndola cuidadosamente, mediante un chorro delgado que se mueve a lo largo del

molde, hasta rebasar ligeramente el nivel de enrase, evitando la formación de burbujas de aire. Finalmente se cubre la briqueta adecuadamente para protegerla del polvo y se deja enfriar durante 30 a 40 min hasta que alcance la temperatura ambiente.

E.2. MUESTRA DEL RESIDUO POR DESTILACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA

Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación de la emulsión asfáltica mediante el procedimiento de prueba indicado en el Manual M.MMP.4.05.012, Destilación de Emulsiones Asfálticas, se destapa el alambique utilizado en esa prueba, se homogeneiza su contenido con la espátula y se elabora una briqueta llenando el molde previamente preparado como se indica en la Cláusula E. de este Manual, haciendo pasar la muestra de prueba por la malla N° 50, agitándola perfectamente y vertiéndola cuidadosamente mediante un chorro delgado que se mueve a lo largo del molde, hasta rebasar ligeramente el nivel de enrase, evitando la formación de burbujas de aire. Finalmente se cubre adecuadamente la briqueta para protegerla del polvo y se deja enfriar durante 30 a 40 min hasta que alcance la temperatura ambiente.

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- F.1.** Una vez enfriado el molde que contiene la briqueta, se coloca dentro del baño de agua, a una temperatura de $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, durante 30 min; se saca del baño y se enrasa la briqueta cortando el exceso de material con una espátula de borde recto previamente calentada para facilitar el corte. Se vuelve a introducir en el baño a la misma temperatura durante 90 ± 5 min.
- F.2.** A continuación se quitan los elementos laterales del molde y se retira la briqueta de la placa. De inmediato se instala con sus mordazas en el ductilómetro previamente preparado con agua a $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, sujetando los extremos de éstas en los postes o ganchos del aparato, debiendo quedar sumergida con su cara superior a no menos de 2,5 cm de la superficie. Durante la prueba se mantendrá el agua a la temperatura indicada.
- F.3.** Se pone en marcha el mecanismo de prueba a una velocidad de 5 cm/min, con una variación de $\pm 5\%$, hasta que la briqueta se haya deformado 20 cm, momento en el cual se detiene el mecanismo y se mantiene al espécimen en esta posición durante 5 min. Se procede enseguida a cortar por el centro al espécimen con unas tijeras, permitiéndole permanecer intacto en el ductilómetro por 1 h. Al final del periodo, se desliga el mecanismo del ductilómetro y se regresa la mitad del espécimen hasta que los extremos cortados se toquen; en este momento se lee el desplazamiento de la mordaza y se registra en cm.

G. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se reporta como recuperación elástica, el porcentaje de deformación recuperado respecto a la deformación total, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{20 - x}{20} \times 100$$

Donde:

R = Recuperación elástica en ductilómetro, (%)

x = Lectura del desplazamiento de la mordaza al unir los extremos cortados del espécimen, (cm)

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observan las siguientes precauciones:

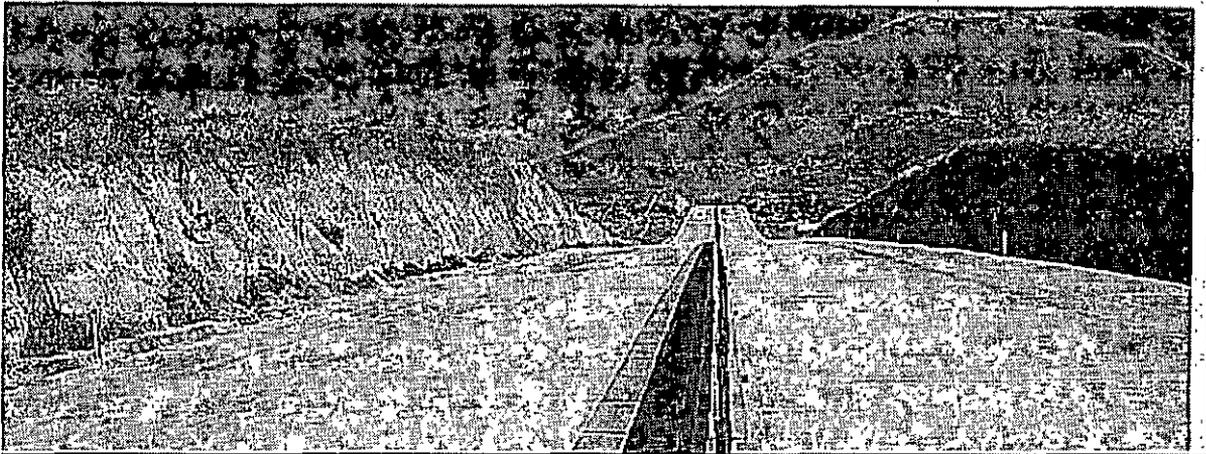
- H.1. Realizar la prueba bajo las condiciones de temperatura que se indican.
- H.2. Evitar que durante el llenado del molde de la briqueta se generen burbujas de aire en la superficie o en el interior de la muestra de prueba.
- H.3. Procurar que al estirar la briqueta ésta no toque el fondo del tanque del ductilómetro o la superficie del agua, de lo contrario, se repetirá la prueba agregándole cloruro de sodio al agua del tanque para aumentar su densidad o alcohol metílico para disminuirla y lograr que la briqueta al ser estirada se mantenga en posición sensiblemente horizontal.

IV.- APLICACIÓN EN CONCRETO HIDRAULICO

IV.1.- FACTORES QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL CONCRETO

IV.1.1.-CONCRETO HIDRÁULICO

Material utilizado ampliamente en la construcción, formado por una mezcla homogénea de cemento Pórtland, agua, arena, grava, aire y en casos especiales aditivos; componentes dosificados para obtener inicialmente un material fluido o plástico, que le permite ser manejado con relativa facilidad, desde su mezclado hasta su colocación, compactación o moldeado, conservando su homogeneidad y que posteriormente podrá endurecer, obteniendo con el tiempo determinadas características requeridas por el proyectista.



IV.1.2.-CEMENTO PÓRTLAND

Producto industrializado que por hidratación forma un material altamente cementante. Se obtiene mediante la calcinación hasta fusión parcial de cantidades adecuadas y molidas de caliza y arcillas aluminicas para formar "clinker", que después es finamente pulverizado . durante la pulverización final se le agrega yeso, puzolana, colorantes u aditivos en casos especiales.

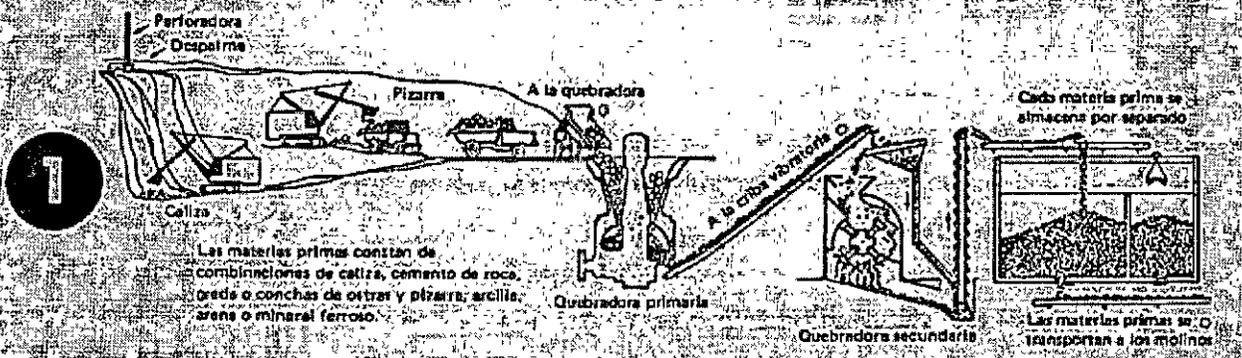
Patente Inglesa de Joseph Aspdin 1824.

Cemento Moderno Isaac Jhudson 1945.

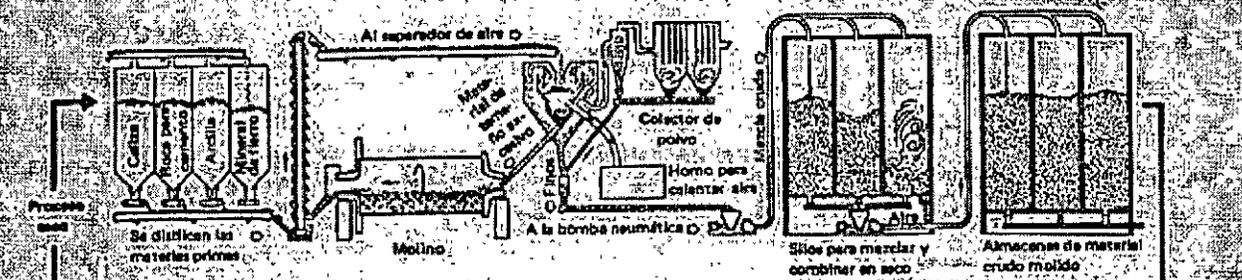
En los diagramas siguientes se presenta de manera objetiva el proceso de elaboración del cemento Pórtland.

Este diagrama de operaciones muestra los procesos de la fabricación del cemento portland.

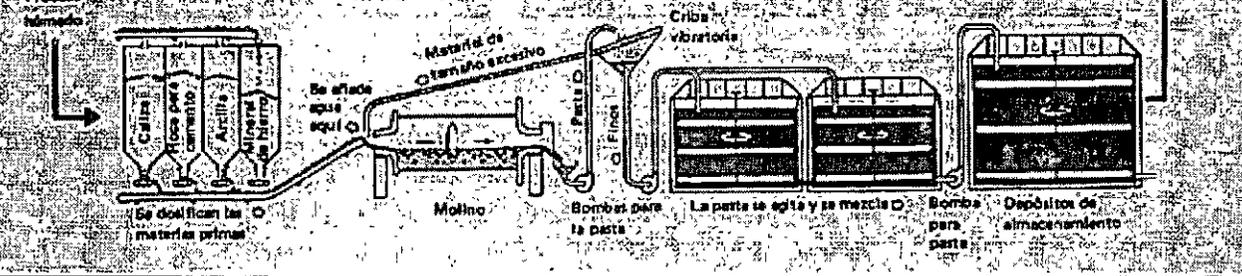
PRIMERO SE REDUCE LA PIEDRA A UN TAMAÑO DE 5 PULGADAS, LUEGO A 3/4 DE PULGADA, Y SE ALMACENA



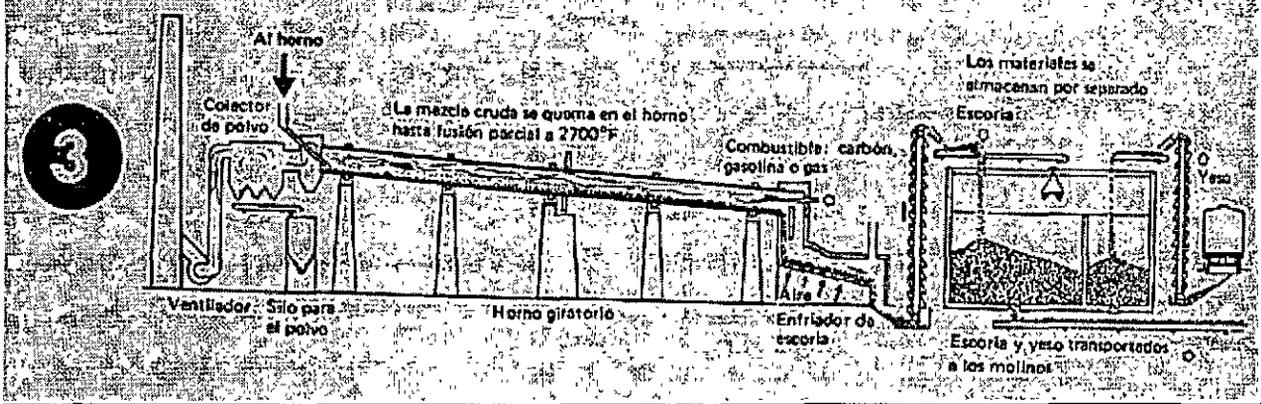
LAS MATERIAS PRIMAS SE MUELEN HASTA PULVERIZARSE Y SE MEZCLAN



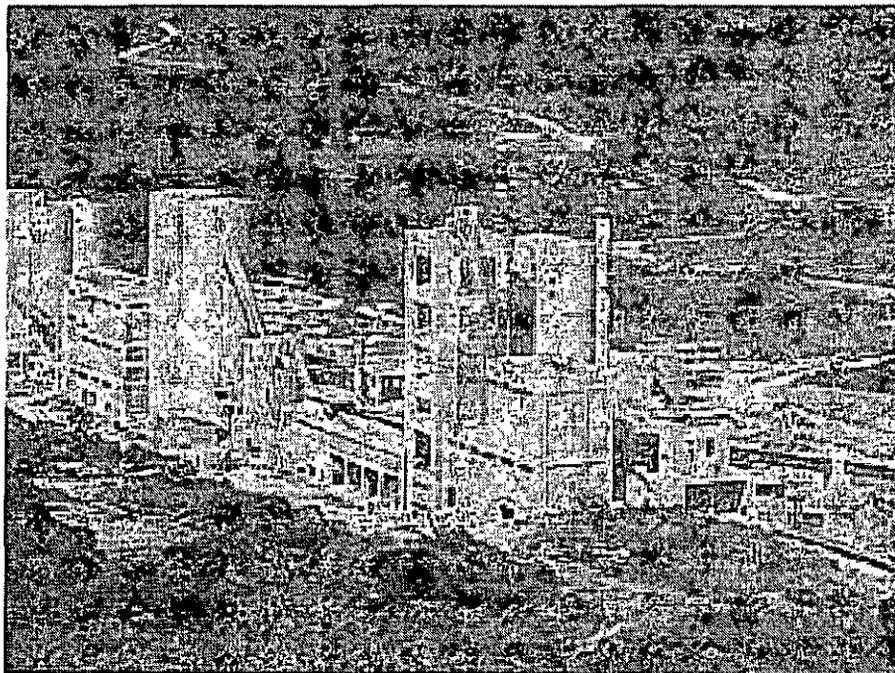
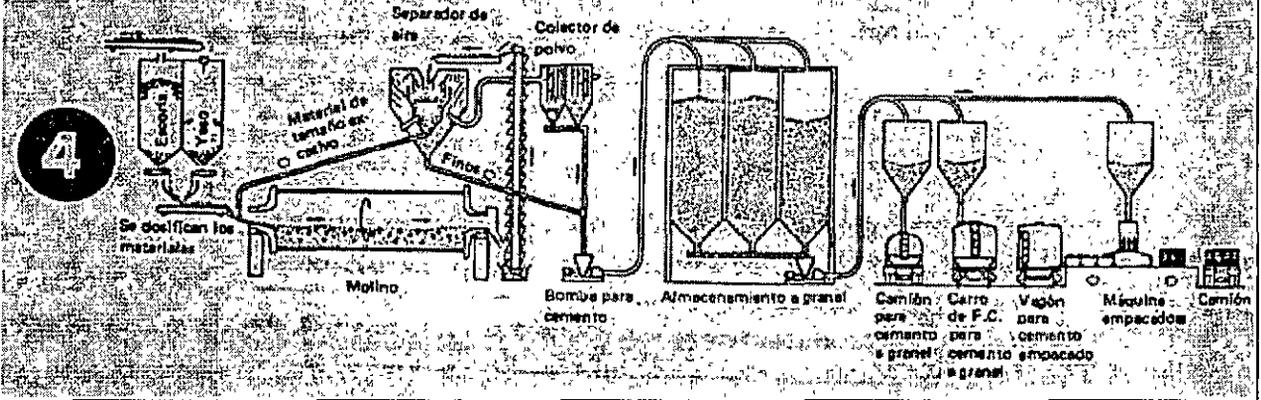
SE MUELEN LAS MATERIAS PRIMAS, SE MEZCLAN CON AGUA FORMANDO UNA PASTA Y SE COMBINAN



EL CALOR CONVIERTE, POR REACCIONES QUIMICAS, A LAS MATERIAS PRIMAS EN ESCORIA DE CEMENTO



LA ESCORIA A LA QUE SE HA AÑADIDO YESO SE MUELE FORMANDO EL CEMENTO PORTLAND QUE SE EMBARCA



Planta de elaboración del cemento Pórtland.

La materia prima está constituida por rocas comunes, arena, limo y arcilla, cuidadosamente analizadas para que proporcionen la mezcla adecuada de sustancias químicas básicas con las que se fabrica el cemento. La cantidad de materia prima requerida en cualquier planta depende de la composición de éstos materiales y de la clase de cemento que se esté fabricando. La mayor parte está compuesta por roca caliza; hay muchas clases de calizas, pero todas tienen una cosa en común: están constituidas principalmente por el compuesto llamado carbonato de calcio que, al calentarse, se convierte en cal.

El cemento contiene otras sustancias además de la cal, y estas provienen de otras rocas o suelos, se utilizan el esquito, pizarra, arcilla, arena, escoria, y mineral de fierro. Estos materiales contienen compuestos de aluminio, sílice, y fierro, necesarios para elaborar el cemento. También contienen compuestos indeseables que en el producto final deben minimizarse

Debido a su complejidad, el cemento no puede representarse por una fórmula química simple, a pesar de que se elabora con materiales comunes extraídos de la tierra. En vez de eso, un reporte de análisis de cemento mostrará las cantidades de todos los constituyentes del mismo.

El cemento Pórtland se clasifica en los siguientes tipos:

TIPO I .- Para usarse en construcciones de concreto en general, cuando no se requieran las propiedades especiales señaladas para los tipos II, III, IV y V.

TIPO II .- Para usarse en construcciones de concreto expuestas a la acción moderada de sulfatos o cuando se requiera generación moderada de calor de hidratación.

TIPO III .- Para usarse en construcciones de concreto cuando se requiera alta resistencia, a corta edad.

TIPO IV .- Para usarse en construcciones de concreto cuando se requiera bajo calor de hidratación.

TIPO V .- Para usarse en construcciones cuando se requiera alta resistencia a la acción de los sulfatos.

IV.1.2.1.-MECANISMO DE LA HIDRATACIÓN

El cemento es una mezcla de diversos compuestos que reaccionan con el agua. Todos esos compuestos son anhídros, o sea que están completamente desprovistos de agua. Cuando entran en contacto con ésta, reaccionan activamente con ella formando nuevos compuestos hidratados; esta reacción que se genera una vez que el cemento entra en contacto con el agua se le llama hidratación. Al mezclar el cemento con el agua, el resultado inicial es un cementante.

En las Tablas 1, 2 y 3, se indican los porcentajes típicos de los diversos componentes químicos que integran cada uno de los cinco tipos de cemento, así como su finura y las resistencias relativas esperadas con relación al tiempo.

Tabla 1. Oxidos que entran en la composición del cemento portland Tipo I o normal.

Oxido	Variación porcentaje
Cal, CaO	60-66
Sílice, SiO ₂	19-25
Alúmina, Al ₂ O ₃	3-8
Hierro, Fe ₂ O ₃	1-5
Magnesio, MgO	0-5
Trióxido de Azufre, SO ₃	1-3

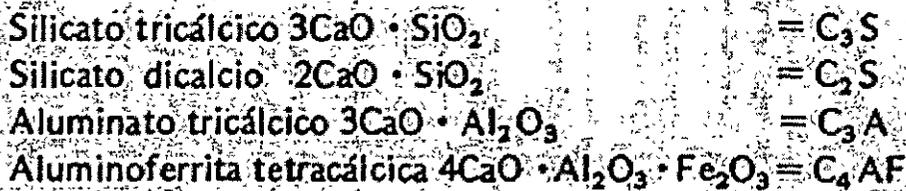


Tabla 2. Composición típica calculada y finura de los cementos portland.

Tipo de cemento portland		Composición, porcentaje*				Finura, cm ² por g.**
ASTM	CSA	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
I	Normal	50	24	11	8	1800
II	Moderado	42	33	5	13	1800
III	De rápido endurecimiento	60	13	9	8	2600
IV	De bajo calor de hidratación	26	50	5	12	1900
V	Resistente a los sulfatos	40	40	4	9	1900

*Las composiciones que se dan aquí son las más generales. Diferencias con respecto a estos valores no indican un comportamiento defectuoso. Los límites en las especificaciones se pueden consultar en ASTM C150 o CSA A5.

**Finura determinada en la prueba con el turbidímetro de Wagner.

Tabla 3. Resistencia relativa aproximada del concreto según el tipo de cemento

Tipo de cemento portland		Porcentaje de la resistencia a la compresión del concreto, en relación con la obtenida con cemento Tipo I o Normal			
ASTM	CSA	1 día	7 días	28 días	3 meses
I	Normal	100	100	100	100
II	Moderado	75	85	90	100
III	De rápido endurecimiento	190	120	110	100
IV	De bajo calor de hidratación	55	55	75	100
V	Resistencia a los sulfatos	65	75	85	100

El material cementante formado por la pasta agua-cemento, es el componente activo del concreto y tiene dos funciones principales: a) llenar los vacíos entre las partículas de los agregados, combinando a la vez lubricación y plasticidad a la masa en estado fresco e impermeabilizando en el producto endurecido. b) dar resistencia al concreto cuando este haya endurecido.

La reacción de hidratación comienza en el preciso momento en que el cemento entra en contacto con el agua. Esta reacción puede continuar durante varios años. La velocidad con que se efectúa la hidratación se ve afectada por la composición del cemento, por su finura, por la temperatura, el volumen de agua presente, y por la acción de los aditivos. Si se hace variar las proporciones relativas de los compuestos que constituyen el cemento, el fabricante puede alterar la velocidad a la cual el cemento desarrolla su resistencia.

Un cemento molido finamente se hidrata más rápidamente que uno grueso, simplemente porque las partículas más pequeñas permiten que el agua penetre con más rapidez dentro de ellas. Igual que sucede en la mayor parte de las reacciones químicas, la hidratación del cemento se acelera conforme se aumenta la temperatura. A una temperatura cercana al punto de congelación del agua, la reacción prácticamente se detiene. En las plantas de producción, y en los patios de colado, se practica el curado del concreto a altas temperaturas para así acelerar la obtención de su resistencia.

Siempre debe existir agua presente para que continúe la hidratación. El proceso de endurecimiento y el de desarrollo de la resistencia del concreto no es un proceso de secado. Si el concreto se seca totalmente, la reacción se detiene; no obstante, volverá a iniciarse a una velocidad reducida, si el concreto vuelve a humedecerse.

Existen una serie de pruebas de control de calidad que se aplican al cemento Portland durante su proceso de elaboración, que se mencionan en la Tabla 4, así como sus efectos en el concreto hidráulico.

Tabla 4.-OBJETIVO DE LAS PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD DEL CEMENTO Y SUS EFECTOS EN EL CONCRETO

PRUEBA	OBJETIVO	EFECTO EN EL CONCRETO
TURBIDÍMETRO DE WAGNER	Determinar la finura del cemento	La finura es una propiedad importante en el cemento ya que de ella depende la velocidad de hidratación y desarrollo.
PERMEABILIDAD DE AIRE CON EL APARATO DE BLAINE	También mide la finura del cemento	Una mayor finura en el cemento hace que se incremente la velocidad de hidratación y acelere el desarrollo de resistencia.
EXPANSIÓN EN AUTOCLAVE	Determina la sanidad del cemento	Pone de manifiesto la presencia de compuestos como pueden ser la cal libre, sulfato de magnesio o sulfato de calcio, en proporciones perjudiciales que afecten la consistencia. La consistencia de una pasta es la capacidad para conservar su volumen después de haber fraguado.
TIEMPO DE FRAGUADO (PRUEBA DE GILLMORE O PRUEBA DE VICAT)	Mide la rigidez que alcanza la pasta de cemento en un lapso de tiempo determinado	El fraguado se refiere a un cambio de un estado fluido a un estado rígido. se ejecuta para determinar si una pasta de cemento permanece en estado plástico el tiempo suficiente para permitir un colado normal del concreto sin poner en peligro las operaciones de acabado.
CONTENIDO DE AIRE	Mide el contenido de aire en un mortero de cemento hidráulico	Los cemento pueden fabricarse con aditivos que producen la inclusión de aire. Se determina el peso teórico de un volumen dado, calculado con los pesos específicos, y comparar este peso con el peso real.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Determinar la resistencia a la compresión del mortero de cemento a diferentes edades	Indican las características de la resistencia del cemento, pero no pueden utilizarse para predecir con toda precisión la resistencia de un concreto, debido a las diversas variables en las mezclas del concreto.
RESISTENCIA A LA TENSIÓN	Determinar la resistencia a la tensión del mortero de cemento a diferentes	

	edades	
CALOR DE HIDRATACIÓN	Mide la cantidad de calor de, en calorías por gramo, que se dispersa al someter un concreto deshidratado a una hidratación completa y a una temperatura dada	El calor de hidratación es el que se genera cuando hay una reacción entre cemento y agua. En ciertas estructuras como en las grandes presas, la velocidad y la proporción del calor generado son muy importantes.
FALSO FRAGUADO	Determina la rigidez prematura y anormal del cemento, que se presenta dentro de los 2 primeros minutos, después de haberlo mezclado.	

El cemento Pórtland de cada uno de los cinco tipos señalados, deberán satisfacer los requisitos físicos que se mencionan en las normas de calidad correspondientes.

IV.1.2.2.-ALMACENAMIENTO DEL CEMENTO

Debe presentarse especial atención a la forma en que se tiene que almacenar el cemento, pues de esto depende que se encuentre en buenas condiciones al momento de usarse; aislándolo de los agentes atmosféricos, principalmente de la humedad y de la lluvia, a fin de evitar en lo absoluto la hidratación y carbonatación del mismo, factores que dan una por resultado una pérdida gradual de propiedades deseables del cemento.

El cemento debe conservarse seco, pero no siempre se toma en cuenta que el aire húmedo pueda causar tanto daño como la humedad directa. El tiempo de Almacenamiento para después utilizar el cemento en forma satisfactoria depende, principalmente del lugar de almacenamiento y de las condiciones del clima.

En latas herméticas el cemento se puede almacenar indefinidamente.

El cemento a granel generalmente se almacena en silos, y puede durar en buenas condiciones alrededor de tres meses sin que pierda sus propiedades.

En bolsas normales (sacos de cemento), puede perder mucha resistencia cerca del 20% después de estar almacenado de 4 a 6 semanas. El cemento que se recibe en bolsas debe revisarse al colocarlo en el almacén; no deben aceptarse bolsas rotas o que muestren señales de humedad y, en ocasiones, se debe verificar que el cemento no este fraguado por aire, es decir, que no contenga porciones parcialmente endurecidas.

FRAGUADO POR AIRE.- Es el resultado de un prolongado almacenamiento en condiciones húmedas; en estas condiciones el cemento grueso que no puede pulverizarse entre los dedos no debe utilizarse para concreto estructural, e3l que se considere utilizable habrá perdido algo de resistencia y deberá incrementarse del 10 al 20 % la cantidad del cemento en la mezcla.

ALMACENAMIENTO EN COBERTIZOS.- En obras en las que se emplea cemento en bolsas, éste debe almacenarse en cobertizos; los que tienen que estar protegidos contra el agua y que el piso esté firme y seco, se colocarán tablas separadas 10 cm del piso, estibar las bolsas separadas de los muros, evitar apilar más de 8 bolsas. Otras precauciones adicionales, serían estibar las bolsas juntas y cubrirlas con plástico, mantener las puertas del cobertizo bien cerradas, emplear el cemento en el orden en que se recibe.

ALMACENAMIENTO A LA INTEMPERIE.- En obras pequeñas cuando no se disponga de cobertizo se colocaran las bolsas sobre plataformas de madera separadas del piso 10 cm, cubrirlas con lona o plástico bien sujetos para evitar que el viento los levante.

ALMACENAMIENTO A GRANEL EN SILOS.- En estas condiciones el cemento es más barato, se tienen ahorros de personal en las maniobras, se evita el desperdicio por roturas de las bolsas, reducción de deterioros ya que los silos son impermeables, y permite que el cemento se use en el orden en que se recibe.

IV.1.3.-AGREGADOS PARA CONCRETO.-

La mayoría de los agregados para concreto provienen de la roca natural pudiendo ser arena , grava, o roca triturada. También pueden ser artificiales, reciclados o subproductos industriales. Como por lo menos las tres cuartas partes del concreto está constituida por los agregados, no es de llamar la atención que la calidad de éstos sea de gran importancia y que sus propiedades afecten considerablemente la durabilidad y el comportamiento del concreto.

Anteriormente, los agregados fueron considerados como un material inerte disperso en la pasta de cemento. Sin embargo en la actualidad, es posible tomar un punto de vista opuesto y considerar a los agregados como un material físicamente activo dentro de otro material activo que es la pasta de cemento.

De hecho, los agregados no son realmente inertes y sus propiedades físicas y algunas veces sus propiedades químicas tienen influencia en el comportamiento del concreto. Los agregados se utilizan en la mayor cantidad posible, ya que éstos dan al concreto considerables ventajas técnicas; como mayor estabilidad volumétrica y mejor durabilidad.

FUENTES DE ABASTECIMIENTO.- La materia prima (material en greña) para la producción de agregados pétreos, fundamentalmente se obtienen de bancos de materiales o de yacimientos de agregados naturales de río o de depósitos de aluvión conglomerados, de minas, etc. Todos los agregados naturales tienen sus inicios en la roca sólida de la corteza terrestre, que consiste en una mezcla de diferentes minerales.

Durante un período de muchos miles de años, debido a la acción de la congelación y la descongelación, del calentamiento y el enfriamiento, del humedecimiento y el secado, de los glaciares, de las corrientes de agua y de los ríos, de las raíces vegetales y de las sustancias químicas, la roca sólida se desintegra formando pedazos pequeños. A los tamaños gruesos se les llama grava y a las partículas finas se les da el nombre de arena, limo y arcilla, conforme se reduce el tamaño.

Las grandes masas de roca que comprenden la corteza terrestre consisten en tres clases fundamentales de las cuales, a través del proceso de intemperismo antes descrito, provienen todas las gravas y suelos. Estas tres clases son: rocas ígneas sedimentarias y metamórficas.

En las Tablas 5 y 6 se indican un resumen de las propiedades técnicas de las rocas, así como el promedio de los valores de sus propiedades físicas.

TABLA 5 RESUMEN DE LAS PROPIEDADES TÉCNICAS DE LAS ROCAS

Tipo de roca	Resistencia mecánica	Durabilidad	Estabilidad química	Características superficiales	Presencia de impurezas perjudiciales	Forma triturada
Igneas:						
Granito, sienita, diorita	Buena	Buena	Buena	Buena	Posible	Buena
Felsita	Buena	Buena	Dudosa	Regular	Posible	Regular
Basalto, diabasa, gabro	Buena	Buena	Buena	Buena	Raras	Regular
Peridotita	Buena	Regular	Dudosa	Buena	Posibles	Buena
Sedimentarias:						
Caliza Dolomita	Buena	Regular	Buena	Buena	Posibles	Buena
Arenisca	Regular	Regular	Buena	Buena	Raras	Buena
Podernal	Buena	Mala	Mala	Regular	Probables	Mala
Conglomerado, brecha	Regular	Regular	Buena	Buena	Raras	Regular
Arcilla laminar	Mala	Mala		Buena	Posibles	De regular a mala
Metamórficas:						
Gneiss, esquista	Buena	Buena	Buena	Buena	Raras	De buena a mala
Cuarcita	Buena	Buena	Buena	Buena	Raras	Regular
Mármol	Regular	Buena	Buena	Buena	Posibles	Buena
Serpentina	Regular	Regular	Buena	De regular a mala	Posibles	Regular
Amfibolita	Buena	Buena	Buena	Buena	Raras	Regular
Pizarra	Buena	Buena	Buena	Mala	Raras	Mala

FUENTE: Bureau of Public Roads Manual "The Identification of Rock Types"

TABLA 6 PROMEDIO DE VALORES DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE ROCAS

Tipo de roca	Peso volumétrico	Absorción ^a %	Pérdida por desgaste, %		Dureza ^d	Tenacidad ^e
			Deval ^b	Los Angeles ^c		
Igneas:						
Granito	2.65	0.3	4.3	38	18	9
Sienita	2.74	0.4	4.1	24	18	14
Diorita	2.92	0.3	3.4	38	18	15
Gabro	2.96	0.3	3.0	18	18	14
Peridotita	3.31	0.3	4.1	18	15	9
Felsita	2.66	0.8	3.8	18	18	17
Basalto	2.86	0.5	3.1	14	17	19
Diabasa	2.96	0.3	2.6	18	18	20
Sedimentarias:						
Caliza	2.66	0.9	5.7	26	14	8
Dolomita	2.70	1.1	5.5	25	14	9
Arcillas	1.8-2.5					
Arenisca	2.54	1.8	7.0	38	15	11
Pedernal	2.50	1.6	8.5	26	19	12
Conglomerado	2.68	1.2	10.0		16	8
Brecha	2.57	1.8	6.4		17	11
Metamórficas:						
Gneiss	2.74	0.3	5.9	45	18	9
Esquisto	2.85	0.4	5.5	38	17	12
Amfibolita	3.02	0.4	3.9	35	16	14
Pizarra	2.74	0.5	4.7	20	15	18
Cuarcita	2.69	0.3	3.3	28	19	16
Mármol	2.63	0.2	6.3	47	13	6
Serpentinita	2.62	0.9	6.3	19	15	14

^a Después de inmersión en agua a la presión y temperatura atmosférica.

^b AASHO T 3 o ASTM D 289-55.

^c AASHO T 96 o ASTM C 131-55.

^d Prueba de dureza Dorry, U.S. Dept. Agri. Bull. 949.

^e AASHO T 5 o ASTM D 3-18.

FUENTE: Bureau of Public Roads Manual "The Identification of Rock Types".

IV.1.3.1.- PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS .- Para conocer las propiedades físicas de los agregados se tendrá que muestrear el banco o fuente de abastecimiento, con el fin de realizar pruebas y conocer la calidad de los mismos; dichas pruebas serían las siguientes:

- Densidad
- Granulometría
- Absorción
- Humedad
- Resistencia a la abrasión
- Sustancias deletéreas en los agregados
- Peso volumétrico
- Pérdida por lavado
- Análisis químico
- Etc.

Los resultados que arrojen nos llevarán al objetivo principal que es el de obtener una buena resistencia del concreto, así como el tipo de concreto que se requiera para una obra determinada-

En las Tablas 7 y 8 se indican los diferentes tipos de rocas que pueden producir un determinado tipo de concreto, con relación a su densidad.

Tabla 7.-DENSIDADES DE DIVERSOS GRUPOS DE ROCAS

CLASE DE ROCA	PESO ESPECIFICO (INTRVALO FRECUENTE)	APLICACIÓN
PÓMEZ ESCORIA VOLCANICA	1.2 - 1.8 1.6 - 2.2	CONCRETO LIGERO
CALIZA ARENISCA CUARZO GRANITO ANDESITA BASALTO LIMONITO	2.3 - 2.8 2.3 - 2.6 2.4 - 2.6 2.5 - 2.7 2.6 - 2.7 2.7 - 2.9 3.0 - 3.8	CONCRETO NORMAL
BARITA MAGNETITA	4.0 - 4.5 4.1 - 5.0	CONCRETO PESADO

Tabla 8.- AGREGADOS PARA PRODUCIR DIFERENTES CLASES DE CONCRETO

CLASE DE CONCRETO	AGREGADO	PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO FRESCO
NORMAL	ARENA GRAVA ROCA TRITURADA ESCORIA DE ALTO HORNO ENFRIADA AL AIRE	2160 A 2560 kg/m ³
LIGERO ESTRUCTURAL	ESQUITO PIZARRA ARCILLA	1440 A 1920 kg/m ³
LIGEROS AISLANTES	PIEDRA PÓMEZ PERLITA VERMICULITO DIATOMITA ESCORIA VOLCÁNICA	240 A 1440 kg/m ³
DENSO Y DE BLINDAJE CONTRA LA RADIACIÓN	BARITA LIMONITA MAGNETITA ILMENITA HEMATITA HIERRO	HASTA 6400 kg/m ³ APROX

Existen una serie de pruebas de control de calidad que se aplican a los agregados pétreos durante su proceso de producción u obtención, que se mencionan en la Tabla 9, así como sus efectos en el concreto hidráulico.

Tabla 9.- PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO HIDRÁULICO

CARACTERÍSTICA	OBJETIVO	SU EFECTO EN EL CONCRETO
DENSIDAD	Identifica el peso específico aparente de los agregados en condición saturada y superficialmente seca.	Es un dato necesario para el diseño de mezclas de concreto; los agregados de mayor densidad suelen ser mejores respecto a

		sanidad y resistencia.
GRANULOMETRIA	Determinar la distribución de los diferentes tamaños de las partículas.	Proporciona a las mezclas en estado fresco una adecuada Trabajabilidad.
ABSORCIÓN	Determina la cantidad de agua absorbida por el material al cabo de 24 h de saturación.	Se considera determinante para el diseño de mezclas de concreto, una absorción elevada produce un concreto de baja durabilidad.
HUMEDAD	Conocer la cantidad de agua que contiene el agregado en determinado momento.	Se estima indispensable para hacer el proporcionamiento de mezclas y para el control de campo.
SANIDAD	Mide el grado de alteración que pueden alcanzar los agregados por la acción de los agentes atmosféricos.	Afecta su resistencia, durabilidad y apariencia.
RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	Determina la dureza y tenacidad de la grava, especialmente importante para un concreto que se utiliza en pavimentos y pisos.	Influye principalmente en la resistencia del concreto.
LIMPIEZA	Determina la presencia de partículas que se consideran contaminantes.	Impide que los agregados se adhieran a la pasta de cemento y en ocasiones demora el fraguado y el endurecimiento.

IV.1.3.2.-CRITERIOS DE SELECCIÓN.- La importancia de utilizar el tipo y la calidad adecuados de agregados, no debe ser subestimada, los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente del 60 a 70% en volumen del concreto o del 70 a 85% en peso. Ya que estos influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido, así como en la economía.

Los agregados deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril :

- Durables
- Limpios
- Duros
- Resistentes
- Libres de:
 - Productos químicos
 - Recubrimientos de arcilla
 - Minerales finos

IV.1.3.2.1.-GRANULOMETRIA.- Las razones por las que se especifican los límites de granulometría y tamaño máximo del agregado:

- Requisitos de agua y cemento
- Trabajabilidad
- Capacidad de bombeo
- Economía
- Porosidad
- Contracción
- Durabilidad



Los agregados muy gruesos son mezclas rígidas, no trabajables; y las arenas finas antieconómicas. En la Tabla 10 se indica una clasificación de la arena, con relación a su módulo de finura.

Tabla 10.- ARENA PARA CONCRETO (AGREGADO FINO)

MODULO DE FINURA		CLASIFICACIÓN
Menos de	2.0	Muy fina
2.0	2.3	Fina
2.3	2.6	Media fina
2.6	2.9	Media

2.9	3.2	Media gruesa
3.2	3.5	Gruesa
Más de	3.5	Muy gruesa

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO.- Es el menor tamaño de malla por la cual todo agregado debe pasar.

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL.- Es el menor tamaño de malla por la cual debe pasar la mayor parte del agregado, puede retener del 5 al 15 % del agregado.

LA SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GENERALMENTE DEPENDE DE:

- La forma del elemento de concreto
- Cantidad y distribución del acero de refuerzo, de acuerdo con los criterios siguientes:
 - Un quinto de la dimensión más pequeña del elemento de concreto.
 - tres cuartas partes del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
 - Un tercio del peralte de las losas.

En la Figura 1 se presenta como ejemplo los requisitos de granulometría de una norma para utilizar agregados pétreos en concreto hidráulico.

En la Figura 2 puede observarse una comparación de los volúmenes ocupados por agregados de diversos tamaños, para entender con mayor objetividad la importancia de la granulometría del material pétreo en el concreto hidráulico.

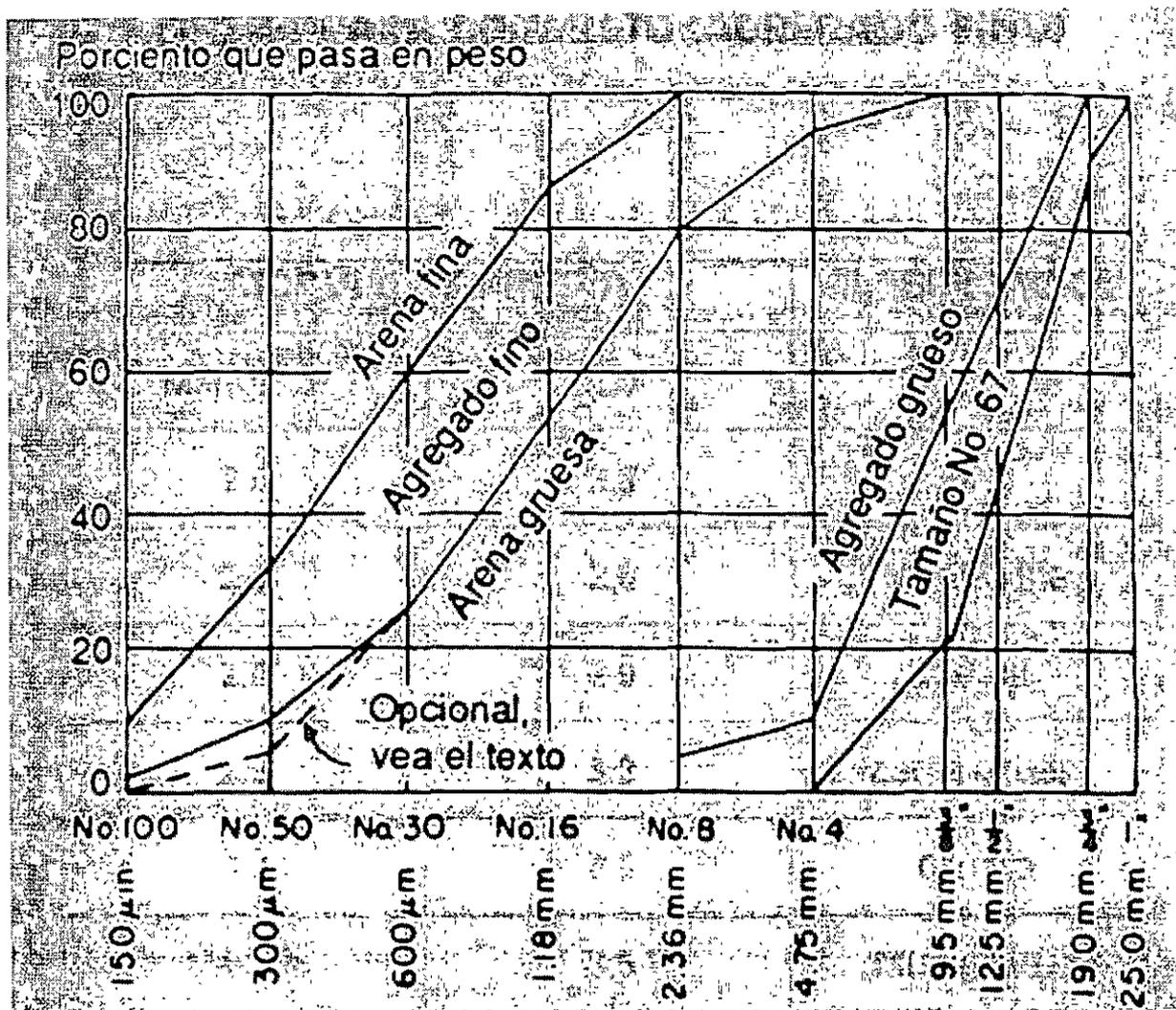


Figura 1 Las curvas indican los límites especificados en la norma ASTM C 33, para agregado fino y para un número de tamaño (tamaño de granulometría) de agregado grueso típico.

Agregado de 25 mm

Agregado de 95 mm

Combinados

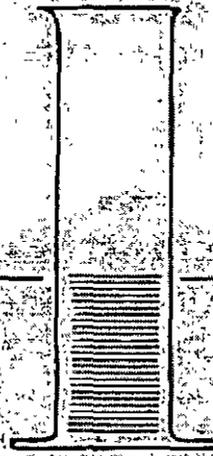
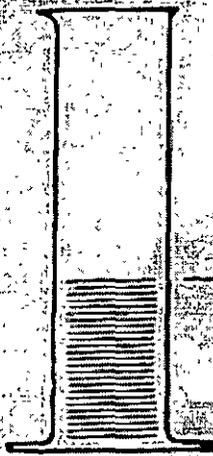
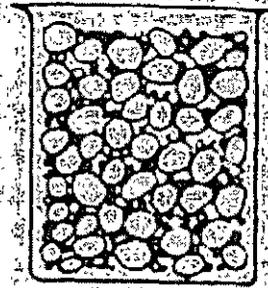
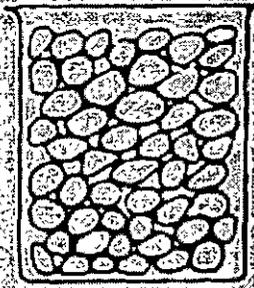


Figura 2 El nivel de líquido en las probetas, que representa a los vacíos, es constante para iguales volúmenes absolutos de agregados con tamaño uniforme aunque distinto. Cuando los distintos tamaños se combinan, la cantidad de vacíos disminuye. La ilustración no se presenta a escala.

IV.1.3.2.2.- FORMA DE LA PARTICULA.- La forma de la partícula y la textura superficial de un agregado influyen más en las propiedades del concreto fresco, que en las propiedades del concreto endurecido.

Partículas angulosas de textura rugosa:

- Requieren más agua .
- Mayor contenido de cemento para la misma relación agua-cemento.
- Puede ser más difícil de bombear.
- Tienen mayor adherencia.

Partículas redondeadas y lisas:

- Generalmente dan la misma resistencia para el mismo factor de cemento y el mismo tipo de roca que los agregados angulares.

IV.1.3.2.3.- SANIDAD DEL AGREGADO.- Capacidad del agregado para resistir cambios excesivos en el volumen como consecuencia de los cambios en las condiciones físicas:

- Congelamiento.
- Deshielo
- Temperatura
- Mojado
- Secado

IV.1.3.3.-REACCION AGREGADOS – ÁLCALIS

Algunos Agregados contienen sílice amorfo (activo, éste reacciona con los álcalis del cemento (Na_2O , K_2O) formando un hidroxixerogel expansivo, ya que es ávido de agua; la reacción continua mientras existan moléculas de agua libre. Depende de la concentración del sílice en la superficie del agregado, de cementos que contengan más del 6% de álcalis.

Es un ataque sobre los minerales silicosos del agregado procedente de los hidróxidos alcalinos, derivados de los álcalis del cemento.

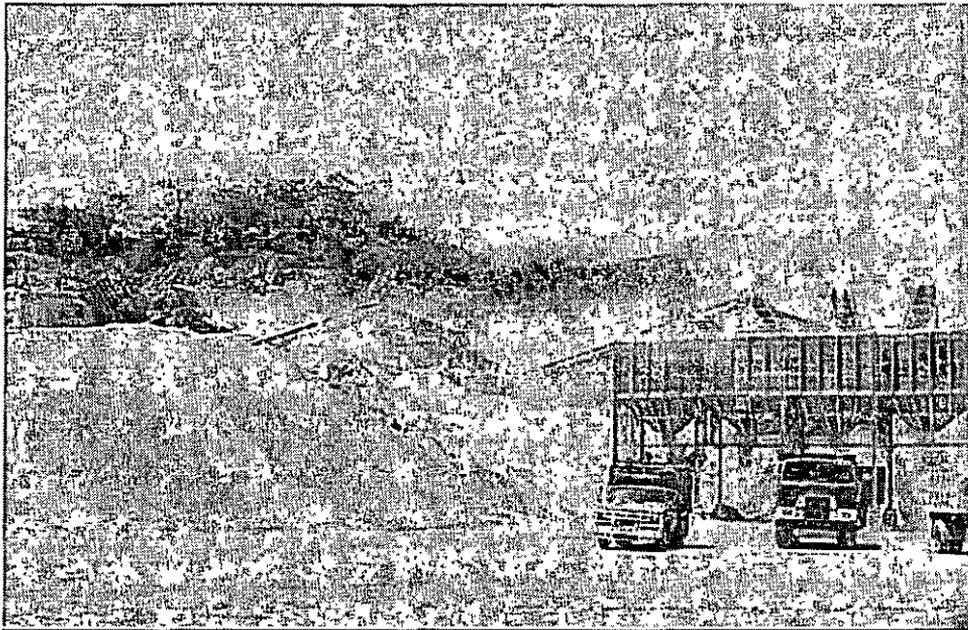
Se forma un gel de álcalis y silicatos. Es un gel del tipo "hinchable sin límites"; incorpora agua, por su tendencia a aumentar de volumen. El gel al estar atrapado en el concreto, da lugar a:

- Presiones internas
- Expansión
- Agrietamientos
- Ruptura de la pasta de cemento

IV.1.3.4.- EXPLOTACIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS

Una vez conocida la calidad de los agregados y la manera más eficiente para su empleo, se procederá a su explotación y transporte.

EXPLOTACIÓN .- puede realizarse por medios manuales, en la actualidad se realiza con el empleo de maquinaria, dependiendo en cada caso de la disponibilidad mecánica del constructor.



TRANSPORTE .- Al transportar los agregados de las fuentes de abastecimiento al lugar de la obra, generalmente se observa una segregación notable cuando se emplea el camión como medio de transporte, siendo menor esta segregación cuando se emplea el ferrocarril. Para reducir en algo esta segregación de los agregados, se recomienda humedecerlos ligeramente.

ALMACENAMIENTO .- Al almacenar el material pueden presentarse dos serios inconvenientes que pueden alterar la calidad misma del los agregados.

- Contaminación del material con materiales, tales como arcilla, material suave, materia orgánica, etc.
- Clasificación del material por un almacenamiento inadecuado.

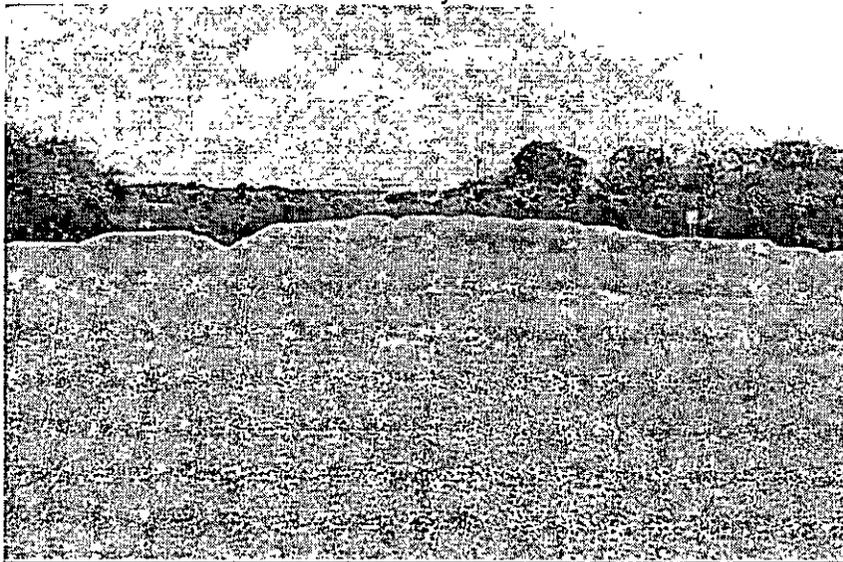
El primer inconveniente, o sea de contaminación, puede eliminarse limpiando, desmontando o bien eliminando la capa de despilme del terreno, a fin de colocar el

material sobre una superficie limpia, uniforme y dura. Se recomienda colocar una capa de concreto pobre, su costo será compensado en gran medida por el ahorro en material, ya que se puede perder en el suelo hasta 30 cm de agregado.

El segundo inconveniente, puede eliminarse con un almacenamiento adecuado que evite la clasificación del material.

El almacenamiento de los agregados puede llevarse a cabo en las siguientes formas:

ALMACENAMIENTO EN TOLVAS .- Las tolvas deberán construirse de tal manera de no tener esquinas vivas, sino que en su lugar se tengan superficies alabeada (formando ángulo de 45°), se aconseja dar al fondo de la tolva una forma que facilite la descarga uniforme, y que cuando se esta llenando la tolva, el agregado caiga verticalmente en la mitad del mismo. Si la segregación ocurre use unas pantallas o ductos escalonados. La tolva se ha de mantener, en todo momento, tan lleno como sea posible. El agregado debe depositarse verticalmente en las tolvas y directamente sobre el orificio de salida



ALMACENAMIENTO DIRECTO EN EL TERRENO .- El almacenaje en montones de agregado debe mantenerse al mínimo, pues aun bajo condiciones ideales los finos tienden a acumularse. Sin embargo, cuando es necesario almacenar en montones, el uso de métodos incorrectos acentúa problemas con los finos y también causa segregación, degradación del agregado y una excesiva variación en la granulometría. Los montones deben construirse en capas horizontales o suavemente inclinadas, no por volteo. Sobre los montones no deben opera vehículos, puesto que, además de degradar el agregado, lo pueden contaminar con polvo.

Cuando se descargan directamente de las bandas transportadoras los montones adquieren una forma de cono alto, se crea un serio problema de segregación, ya que el material corre hacia abajo por los lados de del montón, lo que puede reducirse utilizando bandas transportadoras articuladas o usando una conducción de escalera.

En esta forma de almacenamiento, posteriormente se recupera el agregado con un cargador frontal. En la Figura 3 se indican los métodos correctos e incorrectos al almacenar agregados.

LOS METODOS INCORRECTOS AL ALMACENAR AGREGADOS CAUSAN SEGREGACION Y ROTURA DE PARTICULAS



PREFERIBLE

Grúa u otro medio de apilar el material en unidades no mayores de los cargos de un camión, permanecen en su lugar sin debilizarse.



OBJETABLE

Métodos que permiten al agregado desmenuzarse tan pronto se añade a la pila o permite que el equipo de acarreo opere repetidamente en el mismo nivel.



ACEPTABILIDAD LIMITADA - GENERALMENTE OBJETABLE

Pila construida radialmente en capas horizontales por un "bulldozer" (escorpe de empuje) trabajando con materiales arrojados por una banda transportadora. Puede recurrirse en la instalación.

"Bulldozer" que apila capas progresivas en pendientes no menos que 3:1. A menos que los materiales sean muy resistentes a quebrarse, estos métodos también son objetables.



Uniformes respecto al centro

CORRECTO

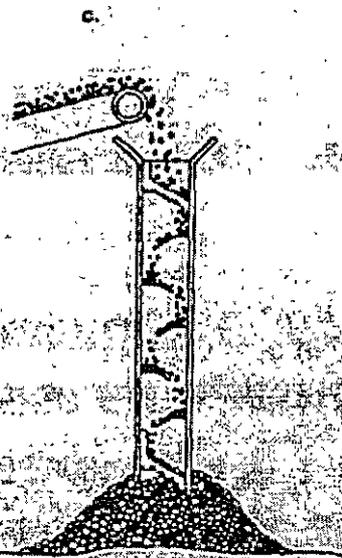
Chimenea que rodea los materiales que caen del final de una banda transportadora para evitar que el viento separe los materiales finos y gruesos. Tiene abertura tal como se necesita para descargar materiales a varias elevaciones en la pila.



INCORRECTO

La caída libre de material desde un extremo alto de la banda transportadora permite que el viento separe el material fino del grueso.

ALMACENAMIENTO DEL AGREGADO FINO O NO PROCESADO



Cuando se apilan agregados de gran tamaño desde bandas transportadoras elevadas, se reducen al mínimo las fracturas usando una conducción de escalera.

ALMACENAMIENTO DE AGREGADO PROCESADO

NOTA: Si no es posible evitar exceso de finos en agregados gruesos mediante los métodos de almacenamiento por pila, será necesario un tamizado final antes de trasladarse a las tolvas de la planta de mezclado.

Figura 3

IV.1.4.-AGUA

Son dos razones existentes para el empleo del agua en la elaboración del concreto: la primera es necesaria para que reaccione el cemento, la segunda porque sirve como lubricante para hacer plástico y manuable el concreto fresco. Con una relación agua-cemento $A/C=0.25$ es la cantidad suficiente para que reaccione el cemento, con esta relación el concreto no es manejable y no podría colocarse en los moldes de la obra, para ello se requiere una relación A/C entre 0.40 y 0.60.

Una regla general para el empleo del agua es la limpieza, si el agua es buena para beberse, será utilizable en el concreto hidráulico. Esta regla es un tanto rígida, por lo que no se permite el uso de agua contaminada con arcillas o cemento en suspensión. Debe estar libre de materias perjudiciales, tales como aceites, grasas, etc.

Para la selección del agua se recomienda lo siguiente:

- a) Cuando se desee utilizar agua, de la cual no se conoce su comportamiento será necesario someterla a ensayos previos.
- b) Normalmente el agua potable de la ciudad es aceptable, con excepción de aquellos casos en que contenga gran cantidad de cloro (más de 500 p.p.m.), ya que ocasionará la corrosión excesiva del acero de refuerzo y preesfuerzo, quedando por lo tanto, excluida.
- c) El agua que no contenga sabor salado ni olor, será adecuada para fabricar concreto, aunque se puede aceptar agua turbia, siempre y cuando no exceda de 2000 p.p.m. Esta recomendación es válida también para sólidos en suspensión.
- d) Las aguas negras y de desperdicios industriales, son perjudiciales al concreto, ya que contiene materias orgánicas, aceites, ácidos orgánicos e inorgánicos, sustancias alcalinas, materias en suspensión que son perjudiciales, ya que reducen sustancialmente la resistencia a la compresión del concreto. Además de algunos defectos dañinos secundarios.
- e) El agua de mar que contenga menos de 3500 p.p.m. de sales, será adecuada para ser utilizada en la fabricación de concreto simple. Este tipo de agua hace variar el comportamiento normal del concreto, ya que produce alta resistencia a la compresión a edades iniciales, aunque un pequeño detrimento de ésta a edades finales. En cuanto al concreto reforzado es posible utilizar después de una adecuada evaluación de las condiciones de trabajo de la estructura, así como de las características de permeabilidad y recubrimiento del concreto. Lo más recomendable es no usarla.
- f) Agua con cantidades tan pequeñas como 300 p.p.m. de azúcar en peso con respecto al cemento (± 14.4 gr por 45.4 kg de cemento) retarda notablemente el fraguado aunque se obtienen resistencias un poco mayores con el tiempo.

La calidad del agua que se utiliza en el concreto rara vez es problema, sin embargo deberá satisfacer ciertos requisitos químicos.

IV.1.5.- ADITIVOS

Un aditivo es una mezcla de productos químicos presentada comúnmente en forma de solución; es un material distinto del agua, agregado y cemento hidráulico que se usa como ingrediente en concretos o morteros y se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado. Los aditivos pueden ser usados para modificar las propiedades del concreto en tal forma que lo hagan más adecuado para las condiciones de trabajo o por economía; se debe usar un aditivo solamente después de una evaluación adecuada de sus efectos que demuestre efectividad en un concreto en particular y bajo las condiciones en que se requiriera usarlo. Al usar un aditivo, debe ponerse especial atención en las instrucciones que suministre el fabricante del producto.

Principales tipos de aditivos para concreto:

A) Aditivos reductores de agua: son los que permiten:

- 1.-Incrementar la resistencia al reducir la relación agua-cemento, conservando la consistencia, incidiendo en más economía y estabilidad volumétrica.
- 2.-Aumenta la Trabajabilidad para una resistencia dada.

B) Aditivos retardantes de fraguado: son los que retardan el fraguado del concreto, para aumentar el tiempo de manejo antes de su colocación. Permiten un mejor manejo del concreto en climas calurosos.

C) Aditivos acelerantes de fraguado: son los que aceleran el fraguado y permiten obtener mayor resistencia a corta edad del concreto. Permiten el descimbrado rápidamente.

D) Aditivos reductores de agua y retardantes de fraguado: son los que proporcionan efectos combinados de los tipos A y B.

E) Aditivos reductores de agua y acelerantes de fraguado: son los que proporcionan efectos combinados de los tipos A y C.

Se encuentran en el mercado otro aditivos de usos especiales: Incluidores de aire para mejorar la durabilidad. Para el mejoramiento de la resistencia. Impermeabilizantes. Controladores de sangrado. Planificantes.

Los aditivos pueden usarse para los siguientes fines:

1. Aumentar la Trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua o para reducir el contenido de agua, logrando la misma Trabajabilidad.
2. Acelerar la velocidad de desarrollo de resistencia a edades tempranas.
3. Aumentar la resistencia.

4. Retardar o acelerar el fraguado inicial.
5. Retardar o reducir el desarrollo de calor.
6. Modificar la velocidad de la amplitud de sangrado o ambos.
7. Aumentar la durabilidad o la resistencia a condiciones severas de exposición incluyendo la aplicación de sales para quitar hielo.
8. Controlar la expansión causada por la reacción de los álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.
9. Reducir el flujo capilar del agua.
10. Reducir la permeabilidad de los líquidos.
11. Para reducir concreto celular.
12. Mejorar la penetración y el bombeo.
13. Reducir el asentamiento, especialmente en mezclas para rellenos.
14. Reducir o evitar el asentamiento o para originar una leve expansión en el concreto o mortero, usados para rellenar huecos y otras aberturas en estructuras de concreto y en rellenos para cimentación de maquinaria, columnas y trabes, o para rellenar ductos de cables de concreto postensionado o vacíos en agregados precolados.
15. Aumentar la adherencia del concreto y el acero.
16. Aumentar la adherencia del concreto viejo y nuevo.
17. Producir concreto o mortero de color.
18. Obtener concretos o morteros con propiedades funguicidas, germicidas o insecticidas.
19. Inhibir la corrosión de metales sujetos a corrosión embebidos en el concreto.
20. Reducir el costo unitario del concreto.

IV.2.- RECOMENDACIONES PARA REDUCIR LA VARIABILIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO

IV.2.1.- ELABORACIÓN DEL CONCRETO

La elaboración del concreto hidráulico incluye la operación de manejo y medida de los materiales, mezclado, transporte, colocación, acabado y curado.

Cada una de estas fases no satisfechas debidamente, puede influir grandemente en el concreto obtenido, pudiendo traer como consecuencia la presencia de defectos tanto en apariencia como en resistencia, por lo que se deben controlar cuidadosamente en el campo.

La exactitud y la forma de proceder en la medición de las cantidades de materiales que intervienen en las mezclas de concreto hidráulico es de suma importancia, puesto que tanto la consistencia del concreto, como su resistencia, cambian considerablemente cuando se presentan variaciones en las cantidades de cada uno de ellos.

El objetivo final es obtener uniformidad y homogeneidad en el concreto producido.

IV.2.1.1.- DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO POR VOLUMEN

El empleo de este método incluye únicamente la dosificación de los agregados inertes, puesto que el cemento viene envasado con peso y volumen determinado (peso = 50 kg, volumen = 33 lts) y los proporcionamientos en estos casos se calculan para saco de cemento.

La medida de los materiales en volumen, por medio de botes o carretillas, no es de recomendarse, en vista de que las dosificaciones resultan con variaciones muy grandes originando con ello obtención de un concreto poco uniforme y de consistencia variable.

IV.2.1.2.- DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO POR PESO

En la actualidad se expresan las proporciones en peso, en vista de que se emplea exactamente la cantidad de material calculada para cada mezcla de concreto hidráulico.

El peso de cualquiera de los ingredientes que intervienen en la composición de una mezcla, esta directamente relacionado mediante su densidad, con el espacio sólido que ocupa.

El control de la dosificación es mucho mas fácil y rígido, haya o no variación en la calidad de los agregados. La corrección de agua por humedad se hace con toda exactitud.

La operación de medición consiste esencialmente en tolvas para almacenamiento de materiales (agregado fino, agregado grueso y cemento), que están comunicados directamente y por la parte inferior con la bascula pesadora. Mediante un sistema apropiado para abrir las compuertas de las diferentes tolvas, se controla con exactitud el peso de cada uno de los materiales, de acuerdo con el proyecto de la mezcla. Las tolvas deben separar adecuadamente los diversos materiales del concreto, y la forma y deposición de las tolvas para agregados se harán de tal manera que prevengan la segregación y degradación del agregado.

IV.2.1.3.- MEZCLA DEL CONCRETO

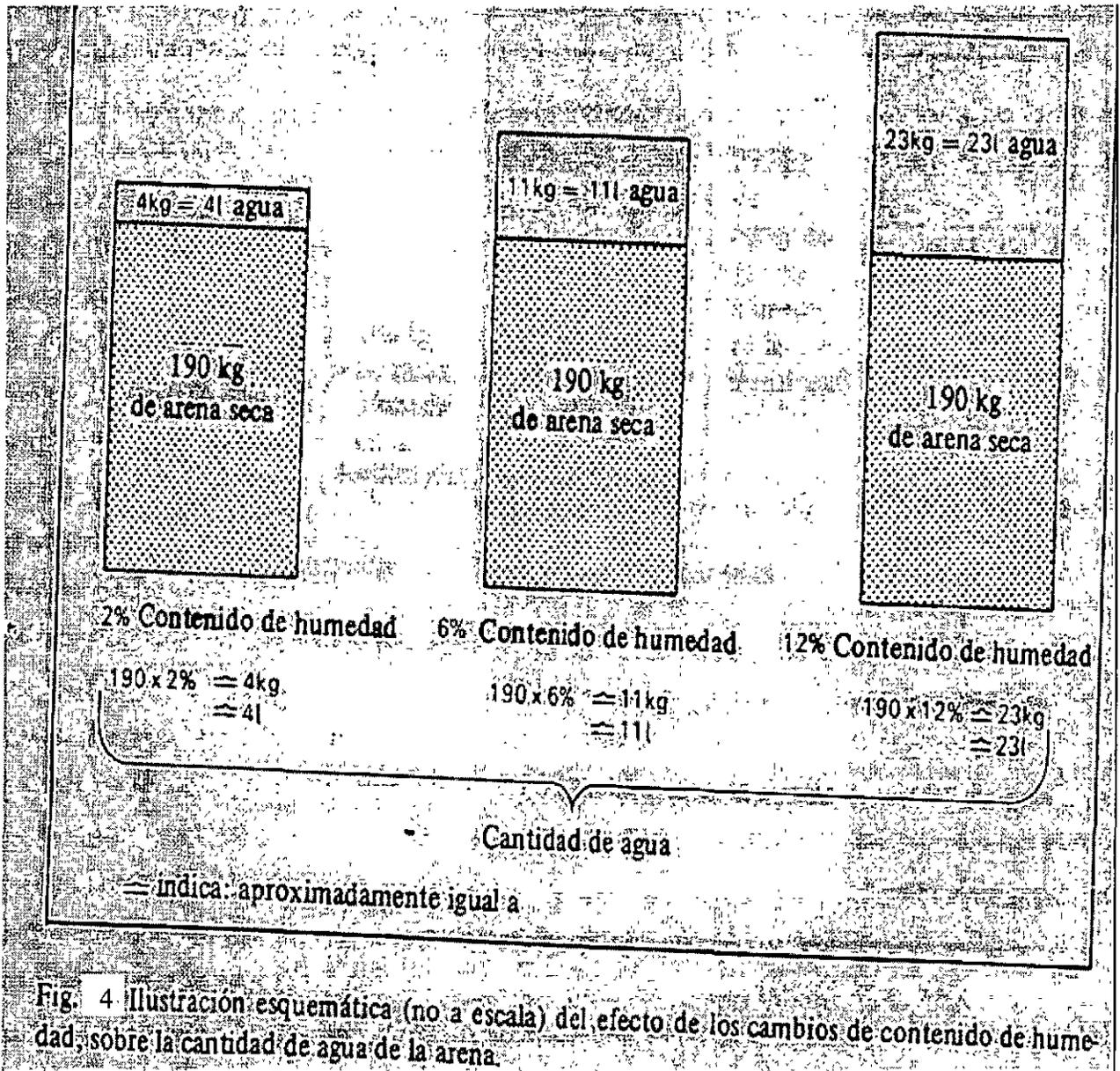
El mezclado es la operación de incorporar íntimamente la lechada de cemento y agua a los agregados inertes, a fin de obtener un material uniforme y plástico. El mezclado se puede llevar a cabo a mano o bien en forma mecánica.

El mezclado en forma mecánica es más rápido y económico, produciendo a la vez un concreto de mejor calidad. El equipo de mezclado debe ser capaz de combinar los agregados inertes con el cemento y el agua dentro del límite de tiempo especificado, proporcionando una masa uniforme y homogénea; igualmente deberá efectuar la descarga de la revoltura sin que haya segregación de los agregados inertes.

El objetivo importante para el éxito del mezclado es la apropiada secuencia y combinación de los ingredientes durante la carga de las mezcladoras.

Es preferible que el cemento se cargue junto con otros materiales, pero debe entrar en la descarga después de que aproximadamente el 10% del agregado haya entrado en la mezcladora.

Un aspecto importante para definir la cantidad de agua por agregar, es tomar en cuenta el agua o humedad de los agregados pétreos. En las Figuras 4, 5 y 6 se presenta de manera objetiva ejemplos de la cantidad de agua de los agregados y de la cantidad de agua por agregar, tomando en cuenta la humedad.



El agua debe entrar primero en la mezcladora, y continuar fluyendo mientras los demás ingredientes se van cargando.

Los aditivos deben cargarse en la mezcladora en el mismo punto de la secuencia del mezclado, mezcla tras mezcla. Los aditivos líquidos deben cargarse con el agua, y los

aditivos en forma de polvo deben ser vertidos dentro de la mezcladora con otros ingredientes secos.

Los tipos más comunes de mezcladoras son las de tambor, de eje vertical y la de espas en espiral.

Una mezcladora de tambor, de diseño satisfactorio tiene un arreglo de espas en espiral y una forma de tambor para asegurar de extremo a extremo el intercambio de materiales paralelo al eje de rotación, y un movimiento envolvente que voltea y esparce la mezcla sobre si misma al mezclarse.

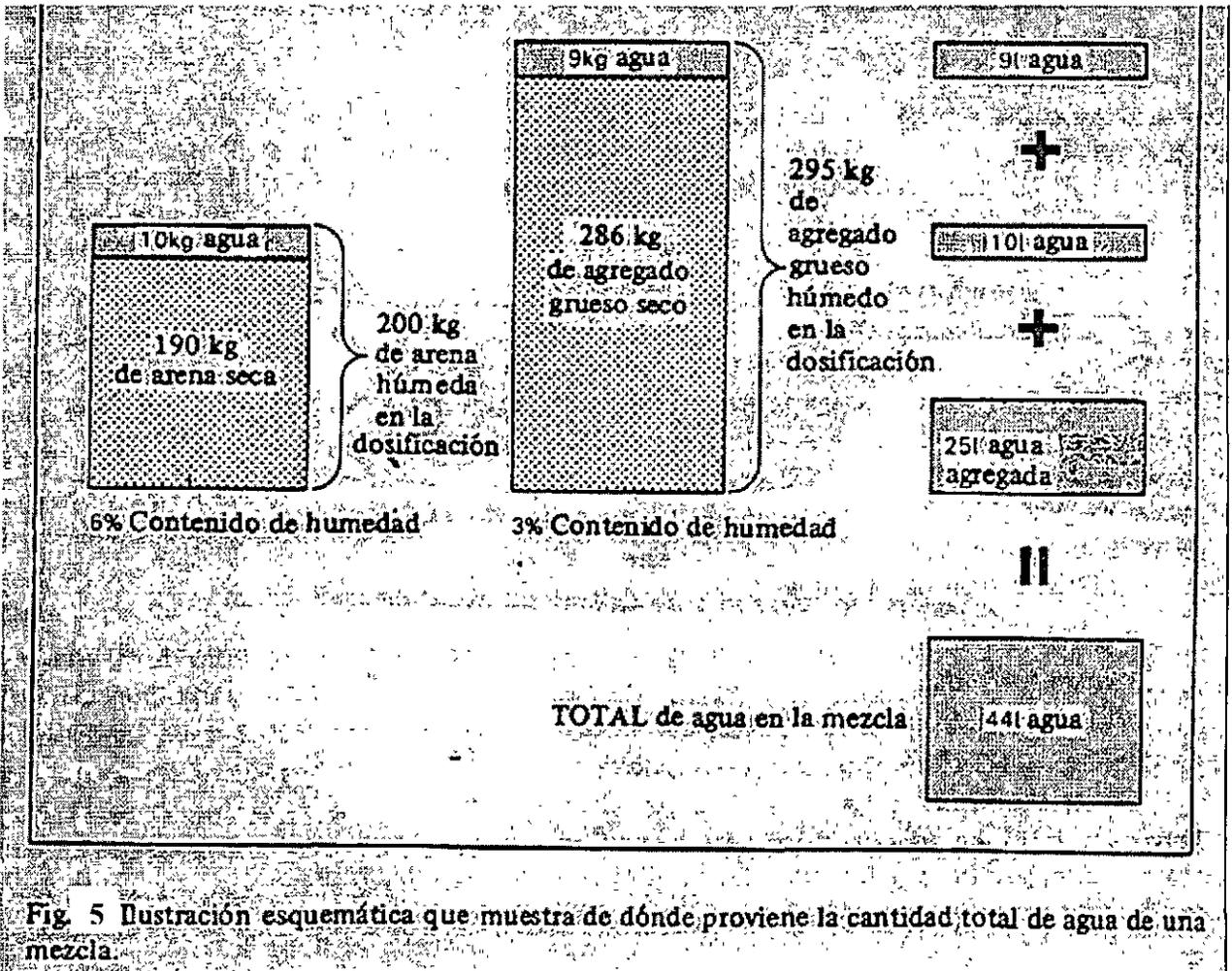


Fig. 5 Ilustración esquemática que muestra de dónde proviene la cantidad total de agua de una mezcla.

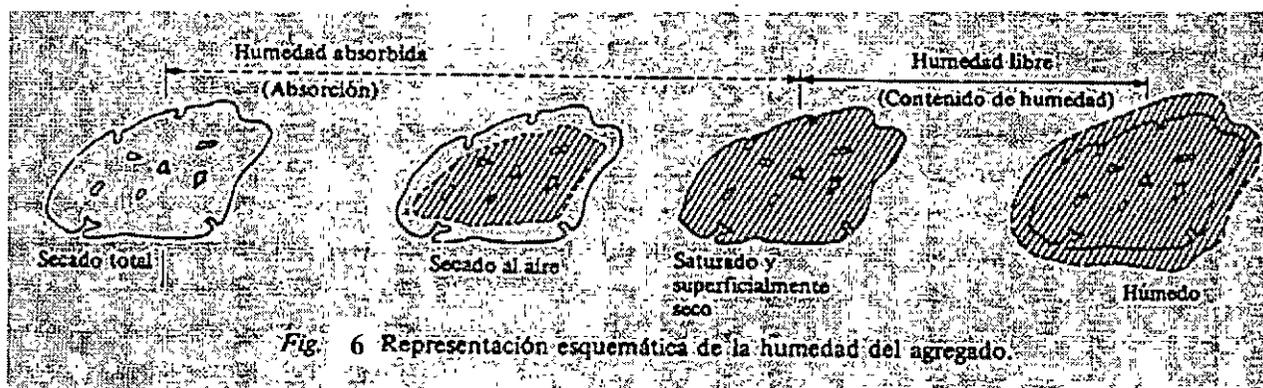


Fig. 6 Representación esquemática de la humedad del agregado.

En la mezcladora de eje vertical, las aspas giran sobre ejes verticales que operan en un recipiente fijo o giratorio que da vueltas en sentido opuesto. Con esta mezcladora, la mezcla puede observarse fácilmente, y, si se necesita, se puede hacer un ajuste rápido.

La mezcladora de paleta en espiral consta de un eje horizontal movido por fuerza motriz con paletas en espiral que operen dentro de un tambor horizontal.

La máquina que se usa con más frecuencia para este fin es la revolvedora o mezcladora, la que consiste esencialmente de un marco en el que se encuentra una cámara llamada tambor y en donde se verifica el mezclado de los materiales. En el interior de dicho tambor se encuentran unas paletas o aspas inclinadas, que son las que al girar el tambor, mezclan la revoltura y dirigen al concreto hacia la salida de descarga, ayudando así al vaciado del tambor.

Las revolvedoras pueden cargarse de tres maneras diferentes; por medio de tolvas de almacenamiento especiales, por medio de un cucharón que suba y descargue los materiales, o por medio de paleo directo de los materiales al tambor. Este último tipo solo se usa en revolvedoras de poca capacidad.

CONTROL EN LA CARGA DE LAS MEZCLADORAS .- Los sistemas de control varían desde dosificadoras individuales controladas manualmente que dependen completamente de la observación visual del operador, de una báscula o de un indicador volumétrico, hasta sistemas totalmente automáticos que son accionados por una señal de arranque y paran automáticamente cuando se ha alcanzado el peso determinado de cada material.

Los materiales deben cargarse en la tolva de la revolvedora en el orden correcto, cuando la tolva se voltea para cargar la revolvedora, el material que se cargo primero será el último en ser descargado; por esto el agregado grueso generalmente es el primero en ser cargado para que este empuje a la arena y al cemento y la tolva descargue limpiamente.

Cuando se vacía directamente en la revolvedora, la arena debe ir encima del agregado grueso; sin embargo es muy común colocar el cemento entre el agregado grueso y la

arena, si el cemento pasa a la tolva desde el surtidor del silo, una parte podría ser arrastrado por un viento fuerte si se coloca encima de la arena.

Cuando el cemento ya se encuentra en la tolva entre el agregado grueso y el fino, vacíese en la revolvedora junto con parte del agua; generalmente es mejor comenzar a vaciar el agua unos segundos antes de añadir los materiales sólidos, y agregar el resto del agua conforme se vacía el resto de los materiales.

Cuando el cemento y el agregado se vacían separadamente en la revolvedora, se debe asegurar que el cemento no entre primero, hay que cargar antes parte del agregado grueso y parte del agua, después el cemento y finalmente el resto del agregado y del agua.

IV.2.1.4.-TIEMPOS DE MEZCLADO DEL CONCRETO:

El tiempo de mezclado para revolvedoras rotatorias de tambor hasta de 1 M³ de capacidad, debe ser de 1.5 a 2 minutos después de haber vaciado todos los materiales.

El tiempo de mezclado para ollas, debido al tiempo de mezcla de acción forzada, son suficientes 30 o 45 segundos.

La guía mas importante para saber si la mezcla se ha terminado, son los ojos del operador de la revolvedora; un buen operador no tarda mucho en saber cuanto tiempo se necesita para lograr el resultado correcto.

Un camión mezclador cuando se emplea como agitador para transportar concreto que ha sido mezclado en una mezcladora de planta, durante su trayecto, el tambor gira lentamente, a razón de 1 o 2 revoluciones por minuto, solamente para conservar el concreto en movimiento constante. Al llegar a la obra debe acelerarse hasta alcanzar de 10 a 15 revoluciones por minuto, durante 3 minutos por lo menos, para que el concreto este bien mezclado y homogéneo.

Un camión mezclador cuando se emplea como tal, si el agua se agrega en la obra el tambor de la mezcladora debe girar alrededor de 100 revoluciones después de la adición del agua, para garantizar que el concreto esta suficientemente mezclado. Se requerirán de 7 a 10 minutos para llevar a cabo el mezclado, puesto que los tambores de las mezcladoras giran por lo general a 10 o 15 rpm, cuando funcionan a alta velocidad.

En la Tabla 11 se indican los tiempos de mezclado mínimos recomendados, con relación a la capacidad de la mezcladora, y en la Figura 7 se presenta el efecto del tiempo de mezclado en la resistencia del concreto.

Tabla 11 Tiempos mínimos de mezclado recomendados

Capacidad de la mezcladora m ³	Tiempo de mezclado, minutos	
	Bureau of Reclamation ^{4,7}	Instituto Americano del Concreto ^{4,15} y Norma ASTM C 94-72
0.8	1½	1
1.5	1½	1½
2.3	2	1½
3.1	2½	1½
3.8	2½	2
4.6	3	2½
7.6		3½

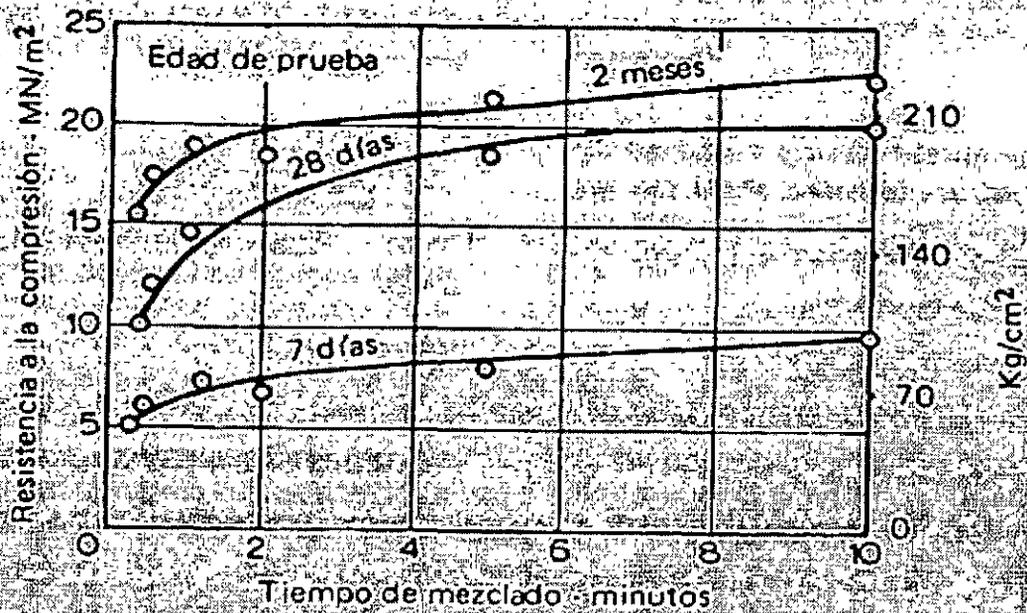
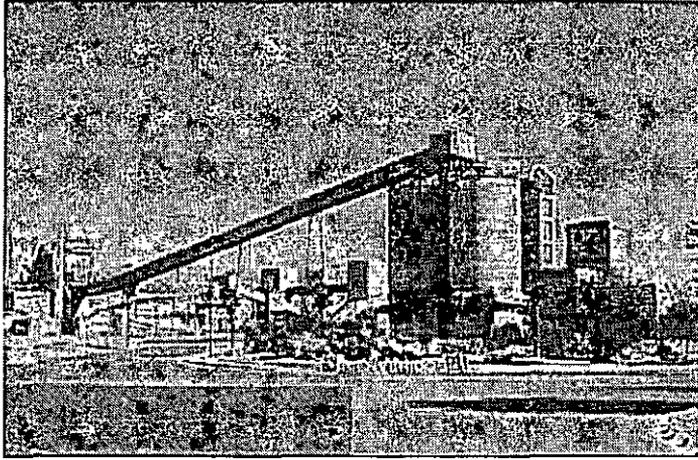


Fig. 7 Efecto del tiempo de mezclado en la resistencia del concreto (1:23)



IV.2.1.5.- CONCRETO PREMEZCLADO:

Actualmente una gran proporción del concreto usado en las obras por los contratistas, es premezclado y puede conseguirse para todo tipo de trabajo, desde concreto pobre hasta de alta resistencia. Se requiere de programar los pedidos con anticipación (mínimo 24 hrs.)

Es conveniente que el contratista y el proveedor establezcan una formal comunicación, para planear los pedidos con suficiente tiempo.

- Detallar los requisitos que debe reunir el concreto.
 - Clasificación (resistencia y trabajabilidad)
 - Tipo de cemento
 - Tamaño tipo de agregados
 - Relación máxima agua / cemento
 - Si debe o no usarse aditivo
 - Información adicional respecto a los acabados

- Al contratar se debe proporcionar; además, de los datos anteriores.
 - Nombre del contratista
 - Nombre y ubicación de la obra
 - Requisitos especiales (aire incluido o temperatura)
 - Cantidad total de concreto
 - La hora
 - La frecuencia de las entradas
 - Revisión de accesos para que el camión pueda ser descargado
 - Pisos firmes para soportar la carga del camión (24 ton)
 - Largo 8 m
 - Ancho 2.5 m
 - Alto 3.5 m
 - 15 m radio de giro para dar vuelta

➤ Notas de entrega.

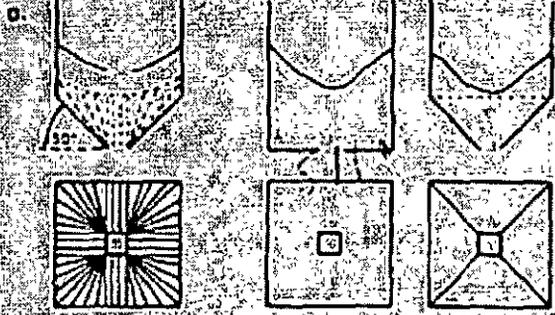
- Verificar que la nota sea del concreto ordenado o contratado
 - Nombre del proveedor y de la planta
 - Número de serie del camión
 - Fecha
 - Número de camión
- Verificar la hora de entrega
- Anotar la hora de entrega

Se espera que el camión este totalmente descargado dentro de los 30 minutos después de su llegada a la obra. Cuando se sepa que la descarga tardará más tiempo, debe avisarse al proveedor al hacer el pedido

En la Figura 8 se indican algunos dispositivos para la alimentación de los materiales y de las básculas para el mezclado del concreto en planta.

En la Tabla 12 se presenta los aspectos que habrá que cuidar en la calibración y mantenimiento de una planta de mezclado de concreto hidráulico, para asegurar su funcionamiento y la elaboración adecuada del concreto.

LA UNIFORMIDAD DEL CONCRETO ES AFECTADA POR LA DISPOSICION DE LAS TOLVAS DE ABASTECIMIENTO Y DE LAS BASCULAS DOSIFICADORAS



CORRECTO

INCORRECTO

Fondo completo con inclinación de 50° en rotación con lo horizontal en todos los sentidos hacia la salida; con los esquinos de modo que todo el material se descahace al salir.

Depósito de fondo plano o con cualquier combinación de pendientes que tengan esquinas o áreas ocasionando que no todo el material en la tolva fluya fácilmente por la salida sin patearse.

INCLINACION DEL FONDO DE LAS TOLVAS PARA AGREGADO



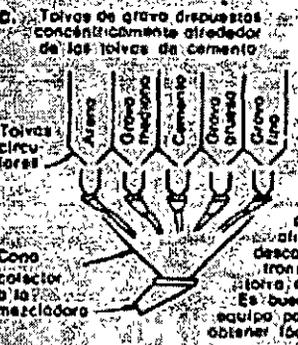
CORRECTO

INCORRECTO

El material cae verticalmente en la tolva directamente sobre la abertura de descarga, permitiendo el descenso del material más uniforme.

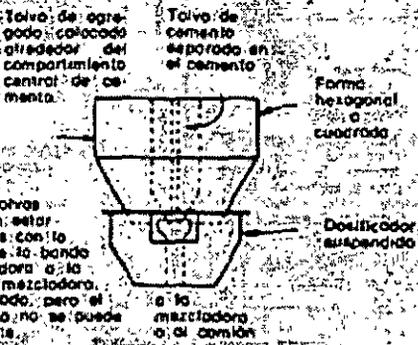
Carga del material dentro de la tolva en ángulo. El material que no cae directamente sobre la abertura no siempre resulta uniforme al descargarse.

LLENADO DE LAS TOLVAS DE AGREGADOS



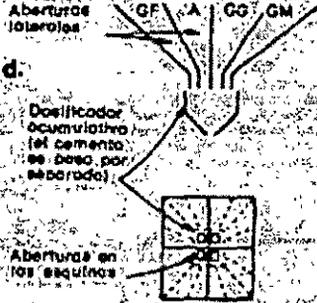
DISPOSICION DESEABLE

Peso automático de cada ingrediente en dosificadores separados que descahen en el cono colector directamente dentro de la mezcladora. Descarga controlada de los dosificadores de cemento de manera que éste fluya en forma simultánea con la descarga de agregados. Las dosificadoras permanecen aisladas del efecto vibratorio de la planta. Esta disposición permite corrección en la sobrecarga.



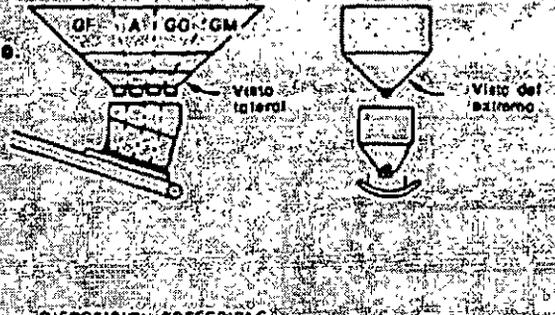
DISPOSICION ACEPTABLE

Peso automático de los agregados, no sea separado o colectivamente. Cemento pesado separadamente. Dosificadoras aisladas del efecto vibratorio de la planta. Equipo de control de peso visible al operador. Es necesaria la secuencia en el traslado de materiales. Existe la fluencia de agregados sobre la superficie del material en la tolva. Esta disposición no permite corrección en la sobrecarga.



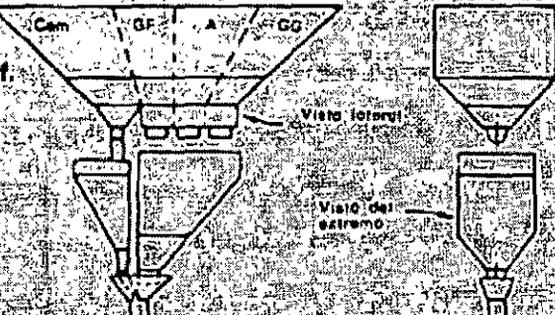
ACOMODOS POCO CONVENIENTES

Cualquiera de las disposiciones que se van arriba para descarga de tolvas con fuertes pendientes provocan segregaciones y deterioro en la uniformidad.



DISPOSICION PREFERIBLE

Peso automático y acumulación de agregados que se fluyen a la mezcladora por banda transportadora. El cemento pesado separadamente se descarga en forma controlada de manera que el cemento fluya mientras los agregados se descargan.



DISPOSICION ACEPTABLE

Peso automático y acumulación de agregados. El cemento pesado separadamente se descarga en forma controlada de modo que el cemento fluya mientras los agregados se descargan.

Figura 8

Tabla 12.- CUIDADO DE LA DOSIFICACIÓN POR PESO Y DE LA MEZCLADORA

1.-	VERIFICAR QUE LA REVOLVERORA ESTE NIVELADA.		Si no está nivelada el concreto no se mezclará debidamente.
2.-	REVISAR SIEMPRE LOS NIVELES DE COMBUSTIBLE, ACEITE Y AGUA, ANTES DE ARRANCAR LA REVOLVEDORA.		Asegúrese de tener suficiente combustible para el trabajo del día.
3.-	ASEGURESE DE QUE LA AGUJA DE LA CARÁTULA DEL MEDIDOR ESTA EN CERO CUANDO LA TOLVA ESTE VACIA.		Si no marca cero hay que ajustarla.
4.-	NO SE DEBE PERMITIR QUE AGREGADO DERRAMADO SE ACUMULE ALREDEDOR DEL MECANISMO O DEBAJO DE LA TOLVA.		El agregado acumulado debajo de la tolva impide que ésta se pueda mover con facilidad y afecta seriamente la lectura del medidor.
5.-	LIMPIAR COMPLETAMENTE EL TAMBOR DESPUÉS DE TERMINAR EL COLADO DEL DIA Y CUANDO HAYA UNA PAUSA, COMO LA HORA DE LA COMIDA.		La acumulación del cemento o mortero afecta la lectura del medidor y hace que se suministre insuficiente agregado
6.-	MANTENER LIMPIA LA TOLVA ESPECIALMENTE CUANDO EL CEMENTO SE COLCA EN LA MISMA TOLVA QUE EL AGRAGADO HUMEDO. GENERALMENTE ESTO SE LOGRA COLOCANDO PRIMERO EL AGREGADO GRUESO EN LA TOLVA, DESPUÉS EL CEMENTO Y FINALMENTE EL AGREGADO FINO.		El agregado grueso ejerce una acción de desgaste sobre el fondo de la tolva, tanto al vaciarlo en la revolvedora como al descargarlo de la misma.
7.-	VERIFICAR UNA VEZ A LA SEMANA QUE LA VELOCIDAD DE LA REVOLVEDORA ES LA RECOMENDADA POR EL FABRICANTE.		Si no es así, el concreto puede quedar mal mezclado y la revolvedora podría averiarse.
8.-	AL MENOS UNA VEZ POR SEMANA, O CON MAS FRECUENCIA SI SE CREE QUE ALGO ANDA MAL, VERIFIQUESE QUE EL SISTEMA DE PESO TRABAJA BIEN Y QUE LOS MATERIALES SE ESTAN SUMINISTRANDO CON LOS PESOS CORRECTOS.		En una maquina con medidor se puede hacer rápidamente una verificación aproximada.

IV.2.2.- TRANSPORTE DEL CONCRETO

El transporte del concreto es un factor de mucha importancia en la homogeneidad y resistencia del producto obtenido, ya que aunque se haya tenido bastante cuidado en el proporcionamiento y mezclado de los ingredientes, la calidad del concreto puede perjudicarse seriamente, con el empleo de métodos inapropiados de transporte y colocación.

El concreto puede ser transportado por métodos y equipos diversos:

- Camión - Revolvedor
- Camión de caja fija (con o sin agitadores)
- Cucharones transportados por camión o carro de ferrocarril
- Conductores o mangueras
- Bandas transportadoras

Cada tipo de transporte posee ventajas y desventajas, que dependen de:

- Las condiciones de uso
- Los ingredientes de la mezcla
- La accesibilidad y ubicación del sitio de colocación
- La calidad y tiempo de entrega
- Las condiciones ambientales

IV.2.2.1.- CONCRETO BOMBEADO.- Puede definirse como un concreto transportado mediante presión a través de tubos rígidos o mangueras flexibles, que se descarga directamente dentro del área de descarga.

Este procedimiento se puede emplear en casi todas las construcciones de concreto, pero es especialmente útil donde el espacio o acceso para el equipo de construcción son limitados. Las bombas de concreto generalmente están montadas en camiones o trailers.

Las bombas de concreto varían de pequeñas unidades con presiones de bomba de 17 a 21 kg/cm² y entregas de 11 a 23 m³/h hasta grandes unidades que ejercen presiones de más de 70 kg/cm² sobre el concreto y tienen un potencial de entrega de 115m³/h .La mayoría de las bombas montadas en camiones, que están equipadas con plumas de colocación opera hidráulicamente, se articula o se reduce y extiende para colocar el concreto en donde se necesita.

EQUIPO DE BOMBEO .-

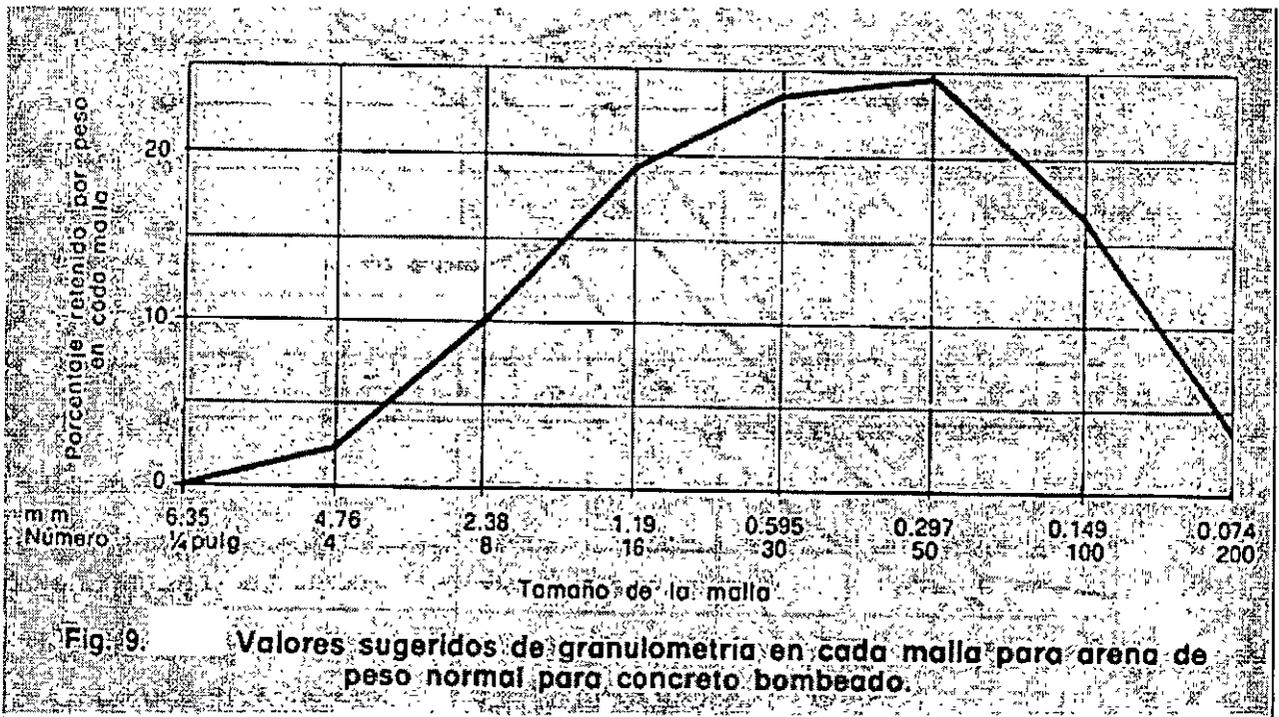
- Bomba de pistón.
- Bombas neumáticas.
- Bombas de presión "Squeeze".

El concreto bombeable, al igual que las mezclas convencionales, implican un buen control de calidad, es decir, agregados uniformes con la granulometría adecuada y materiales dosificados uniformemente y consistentemente y mezclados a la perfección.

El tamaño máximo del agregado grueso angular debe limitarse a una tercera parte del diámetro interior mínimo de la manguera o tubo, y el tamaño máximo de los agregados bien redondeados debe limitarse al 40% del diámetro.

En las Figuras 9, 10 y 11 se indican la granulometrías de la arena y del agregado grueso que son recomendables para concreto bombeado.

En las Figuras 12 y 13 se presentan los diversos tipos de bomba que se utilizan para el bombeado del concreto. En la Figura 14 se presenta un diagrama esquemático de una bomba neumática.



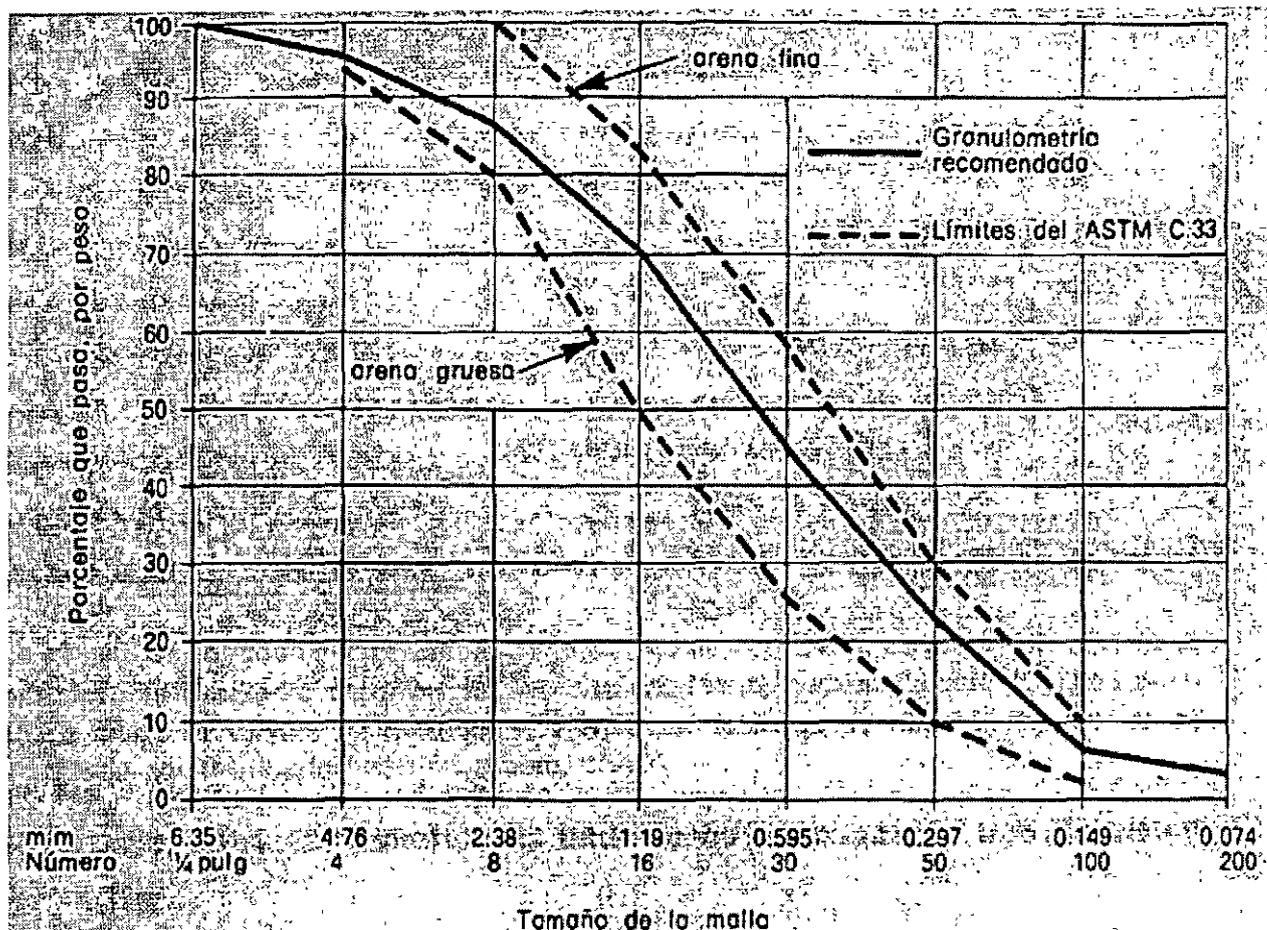


Fig. 10 Límites sugeridos para la granulometría de arena de peso normal para concreto bombeado.

El enrarecimiento del aire que se mantiene en la cámara de la bomba vuelve el tubo a su forma normal ayudando a producir una corriente continua de concreto.

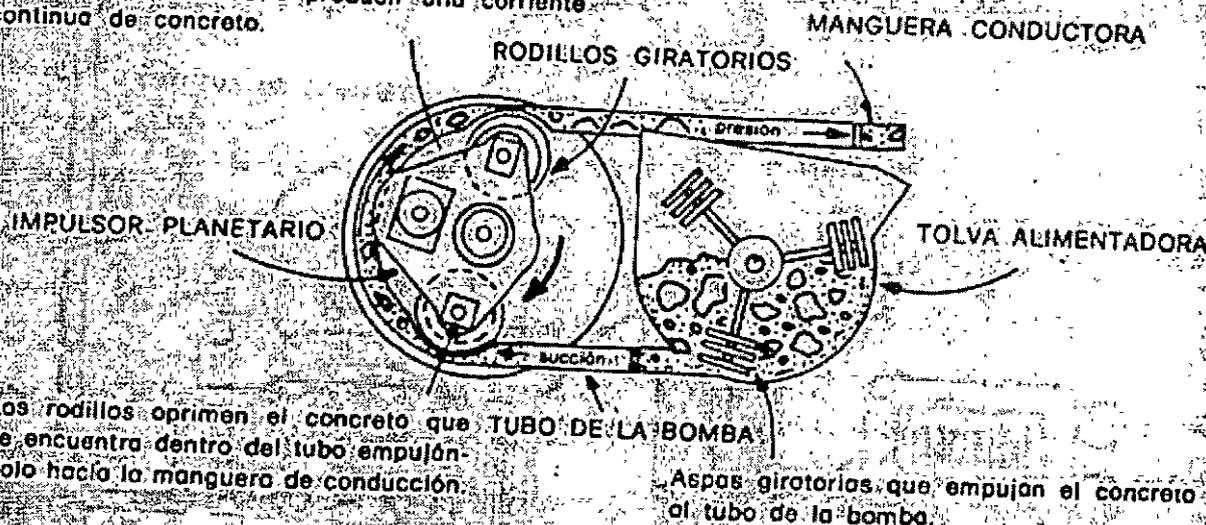


Fig. 12 Diagrama esquemático de una bomba de concreto, tipo de retacado.

DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (Número de malla y pulgadas)

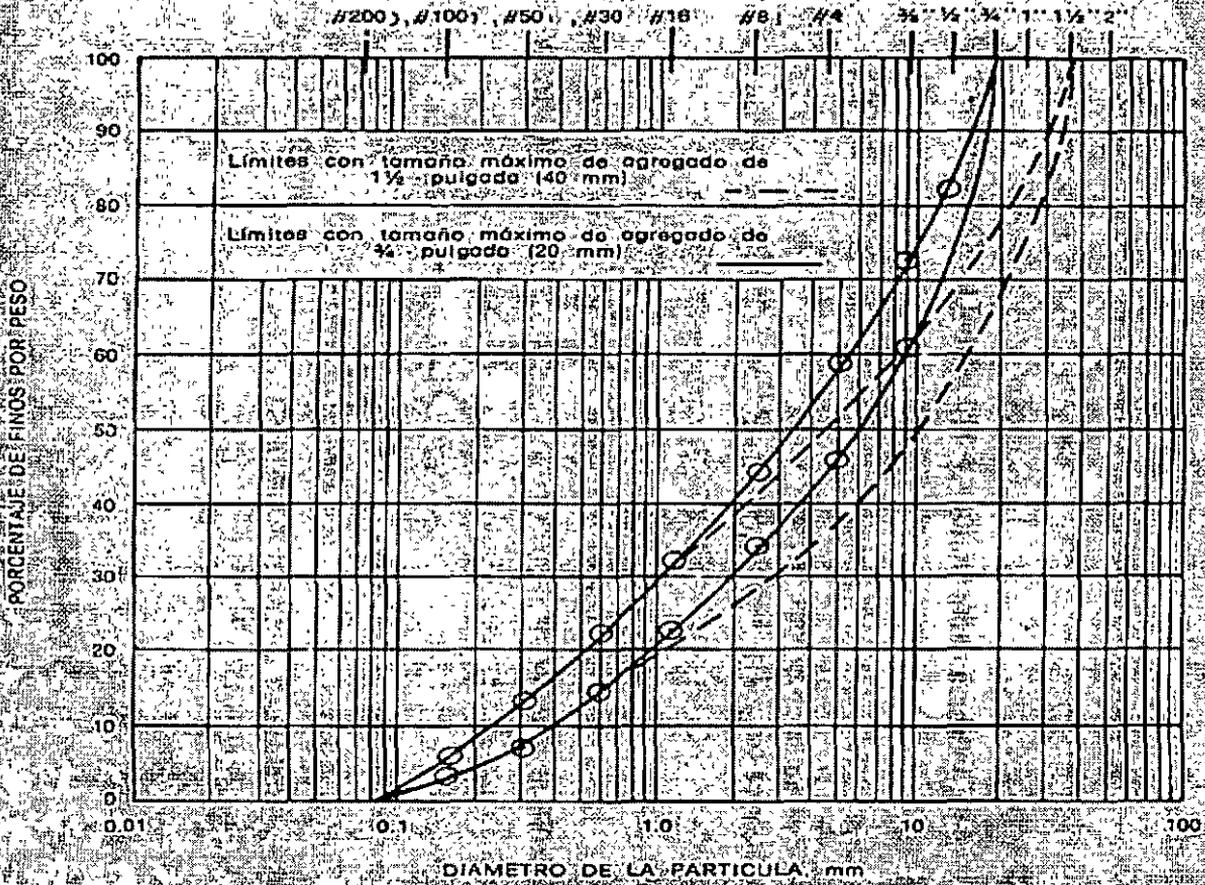


Fig. 11 Granulometría combinada de agregado de peso normal recomendada para concreto bombeado.



Fig 13 Diagrama esquemático de una bomba de concreto, tipo de pistón.

EL CONCRETO SE SEGREGARÁ SERIAMENTE A MENOS QUE SE DEPOSITE DENTRO DE LAS CIMBRAS ADECUADAMENTE

a.

Canalón o corretillo
Canalón o corretillo

CORRECTO **INCORRECTO**

Descárguese el concreto en un colector con una manguera flexible y flexible. Esto evita la segregación. La cimbra y el acero están también hasta que los cubra el concreto.

Permite que el concreto del colector o el corretillo se golpee contra la cimbra y rebote en las varillas de la cimbra causando segregación y huecos en el fondo.

COLOCANDO CONCRETO EN LA PARTE SUPERIOR DE CIMBRAS ESTRECHAS

b.

El asentamiento se reduce conforme se va llenando la cimbra.

Revenimiento constante

CORRECTO **INCORRECTO**

Necesariamente el concreto se irá hundiendo en el fondo de cimbras estrechas y profundas y se haca más poco conforme se alcanza la parte superior. El aumento de agua tiende a igualar la cantidad del concreto. La contracción por asentamiento es máxima.

Usar el mismo revenimiento en la parte superior como en la inferior. Un alto revenimiento en la parte superior produce un exceso de agua y decoloración, pérdida de cohesión y durabilidad en la capa superior.

c.

Manguera para tirar que descarge en una bolsa o en una abertura de la cimbra.

Monoera

Agregado grueso

CORRECTO **INCORRECTO**

Bolsa

Manguera para tirar que descarge en una bolsa o en una abertura de la cimbra.

Agregado grueso

CORRECTO **INCORRECTO**

Caida vertical del concreto en bolsas exteriores debajo de cada abertura de la cimbra, permitiendo que el concreto se detenga y llene fácilmente la cimbra sin segregación.

Permitir que el concreto llueva a gran velocidad dentro de las cimbras o que forme un ángulo con la vertical. Esto inevitablemente resulta en segregación.

COLOCACION EN MUROS PROFUNDOS O CURVOS A TRAVES DE UNA ABERTURA EN LA CIMBRA

d.

Cubo manejado por grúa y que permanezca unido a ella.

Areca comprimida de la grúa para la compuerta del cubo.

Estructura para proteger de daños al cono del colector.

El cono del colector de bajo de la compuerta del cubo unido permanentemente a la estructura.

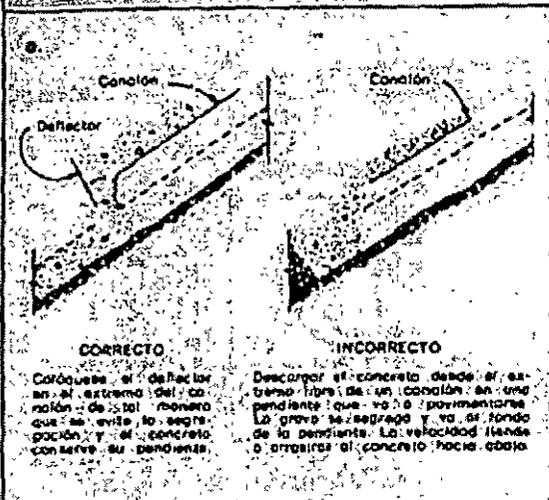
Grúa para operar la compuerta neumática desde la cimbra.

Conducto de caída flexible conectado al cono colector. El conducto se dobla en plano cuando uno está cargando, doblado en concreto permitiendo que se le emplee bajo el menor tamaño de agregado, además de ser lo suficientemente grande para el mayor volumen.

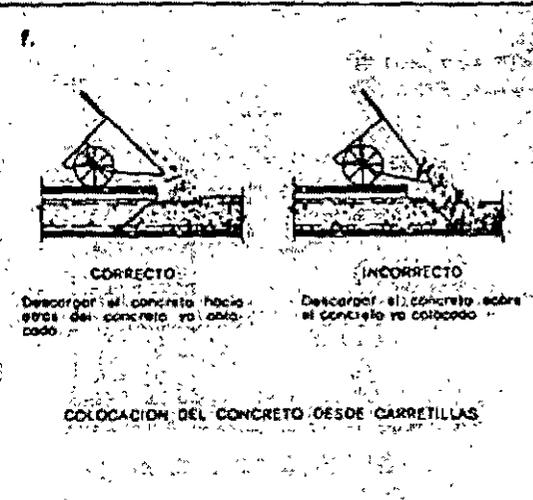
COLOCACION DE CONCRETO EN CIMBRAS PROFUNDAS Y ESTRECHAS

Figura 15

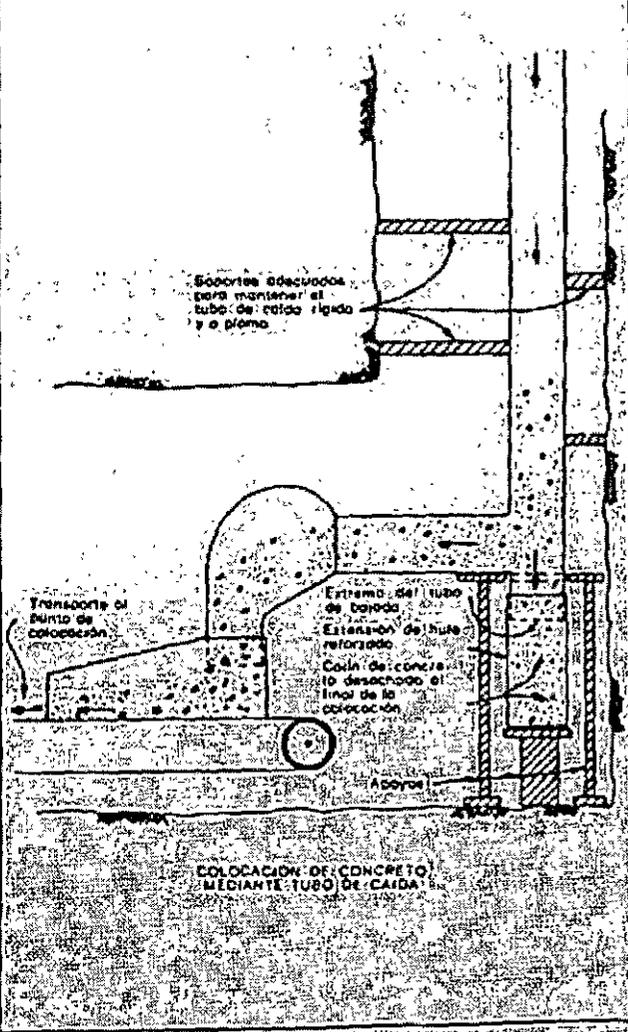
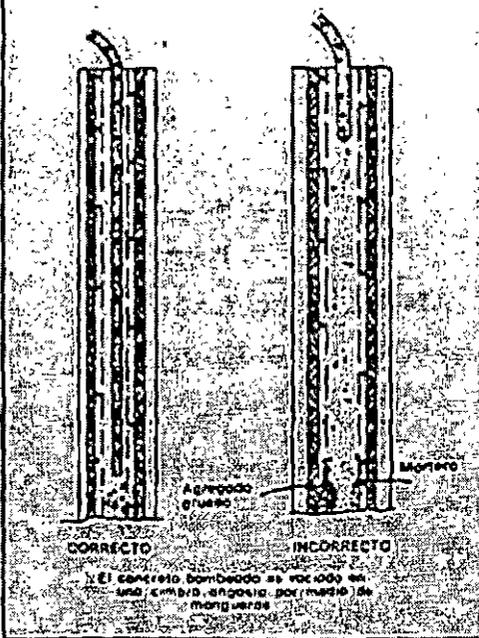
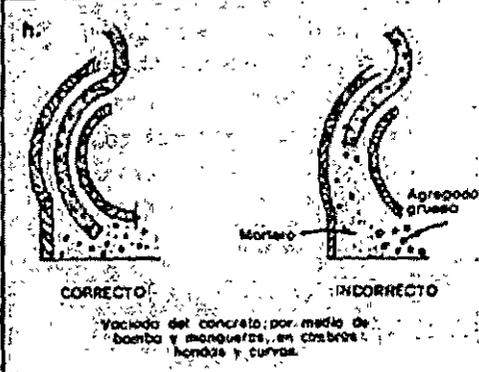
EL CONCRETO SE SEGREGARÁ SERIAMENTE A MENOS QUE SEA DEPOSITADO ADECUADAMENTE EN LAS CIMBRAS



COLOCACION DE CONCRETO SOBRE UNA SUPERFICIE INCLINADA

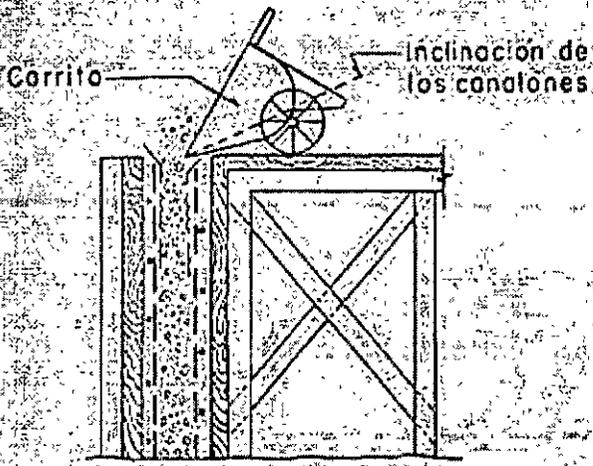


COLOCACION DEL CONCRETO DESDE GARRETIILLAS



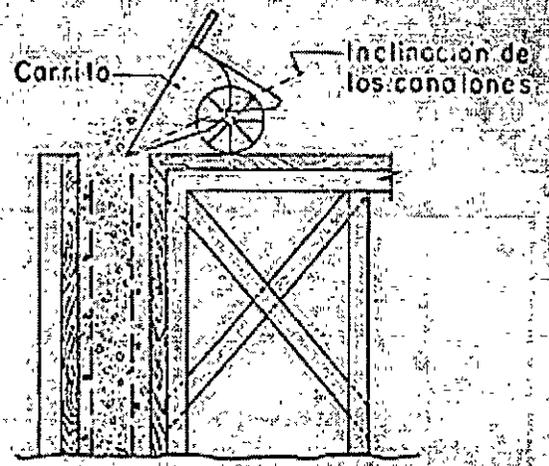
COLOCACION DE CONCRETO MEDIANTE TUBO DE CAIDA

Fig. 16 Métodos correctos e incorrectos de colocación de concreto.



METODO CORRECTO

Descargando el concreto dentro de las tolvas de alimentación o dentro de canales flexibles de salida, se evita la separación de los materiales. Las formas y el refuerzo deben permanecer limpios hasta que el concreto los cubra.

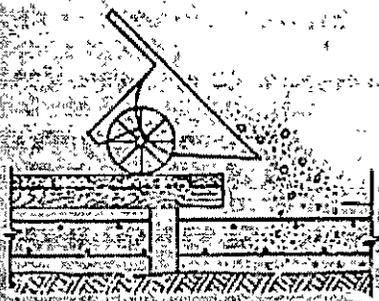


METODO INCORRECTO

El permitir que el concreto golpee ligeramente contra las formas al descargarse de los carritos ocasiona desalineamiento de ellas y separación del agregado en el fondo.

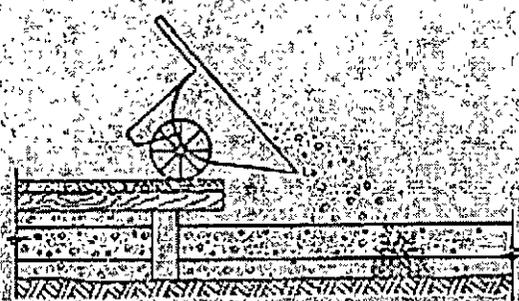
COLOCACION DE CONCRETO EN TRABES MEDIANTE CARRITOS

FIG. 17



METODO CORRECTO

Descarga del concreto cerca del sitio a donde puede llegar el carrito.



METODO INCORRECTO

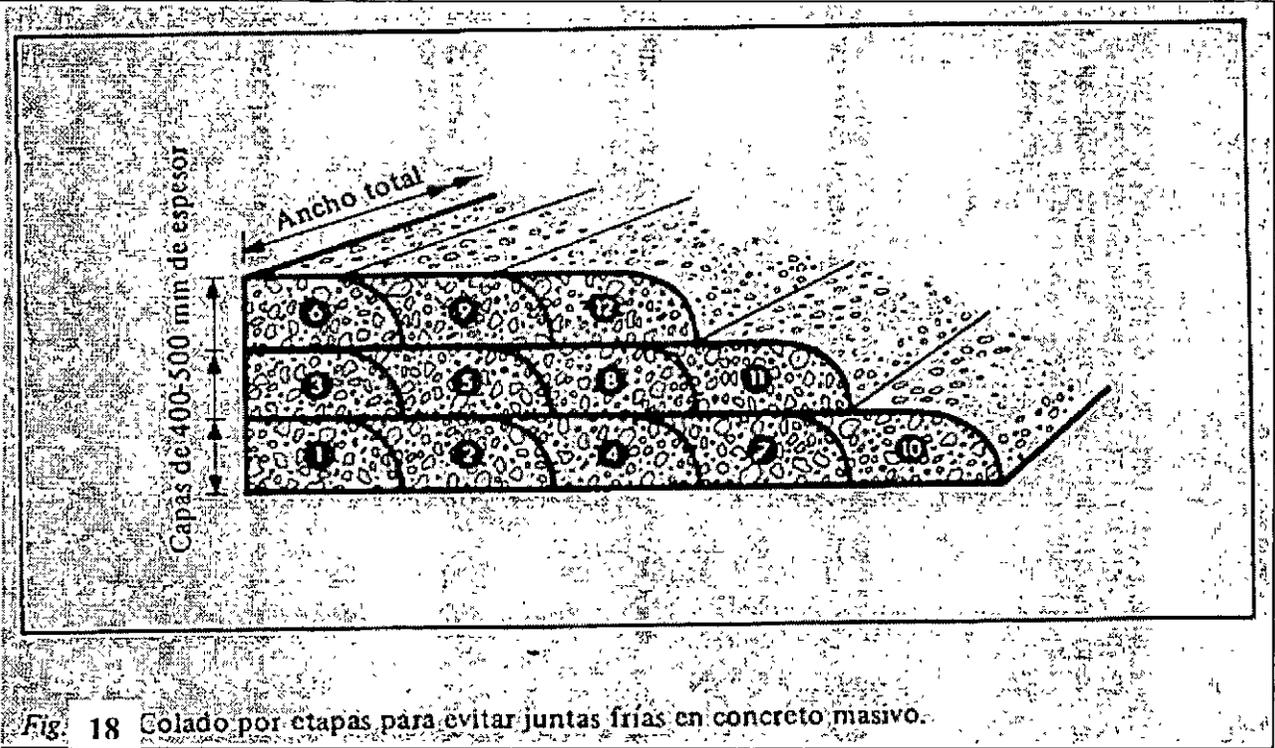
Descarga del concreto lejos del sitio que puede cubrir normalmente el carrito ocasiona segregaciones.

COLOCACION DE CONCRETO EN LOSAS MEDIANTE CARRITOS

TABLA 13 RECOMENDACIONES PARA EL COLADO DEL CONCRETO

1.-	EL CONCRETO DEBE DEPOSITARSE EN SU POSICIÓN FINAL, O LO MÁS CERCA POSIBLE DE ESTA.	El paleo a mano, como en el caso de las losas, significa pérdida de tiempo y esfuerzo. Debe tenerse especial cuidado cuando se utiliza una tolva móvil para colar el concreto en muros y otras secciones angostas. Cuidadosamente se coloca el concreto en franjas.
2.-	EL CONCRETO DEBE COLOCARSE EN CAPAS UNIFORMES.	Se debe evitar colados en cúmulos grandes o capas inclinadas, ya que siempre existirá riesgo de segregación.
	EN MUROS Y COLUMNAS NINGUNA CAPA DEBE TENER MAS DE 45 CM DE ESPESOR.	Con capas mayores, el peso del concreto hace imposible eliminar el aire en la parte inferior aún con vibración.
	EN LOSAS DELGADAS, COMPACTADAS CON VIGAS VIBRADORAS, SE RESTRINGEN LAS CAPAS A 15 O 20 CM, CON ESPESOR MAYOR ES NECESARIO USAR VIBRADORES.	Las vigas vibradoras no compactan losas de mayor espesor.
3.-	NO DEBE HABER RESTRICCIÓN EN CUANTO A LA ALTURA DESDE LA QUE SE CUELA EL CONCRETO.	Esto no es aplicable a mezclas con tendencias a la segregación, o que no puedan compactarse completamente.
4.-	EL CONCRETO DEBE COLOCARSE LO MÁS RÁPIDO POSIBLE; PERO NO MÁS DE LO QUE PUEDE RESISTIR EL MÉTODO DE COMPACTACIÓN Y EQUIPO.	Las velocidades de colado y compactación deben ser compatibles e iguales.
5.-	CUANDO SE REQUIERA BUEN ACABADO EN COLUMNAS Y MUROS DEBEN LLENARSE LAS CIMBRAS A UNA VELOCIDAD MAYOR DE LOS 2 M DE ALTURA POR HORA.	También se debe evitar demoras e interrupciones que puedan causar variaciones.
6.-	ES PRECISO ASEGURARSE DE QUE CADA CAPA DE CONCRETO HAYA SIDO BIEN COMPACTADA, ANTES DE COLAR LA CAPA SIGUIENTE.	Además, cada nueva capa debe colarse mientras la anterior aún responde a la vibración; esto hará que las capas se entrelacen.

7.-	SE DEBE EVITAR LA FORMACIÓN DE JUNTAS FRIAS.	El buen planeamiento es necesario, especialmente cuando se trata de colados grandes.
8.-	EN COLUMNAS Y MUROS , EL COLADO DEBE HACERSE DE MANERA QUE EL CONCRETO NO SE ESTRELLE CONTRA LA CARA DE LA CIMBRA; ASIMISMO BEBE DEBE EVITARSE EL IMPACTO FUERTE SOBRE EL ACERO.	Es probable que esto no solo acuse segregación, sino que también dañe la cimbra, afectando el acabado.
9.-	ES PRECISO CERCIORARSE SIEMPRE DE QUE EL COLADO DEL CONCRETO PUEDE OBSERVARSE DESDE EL EXTERIOR DE LA CIMBRA.	Debe tenerse lámparas disponibles para observar el colado en muros y columnas de sección delgada.

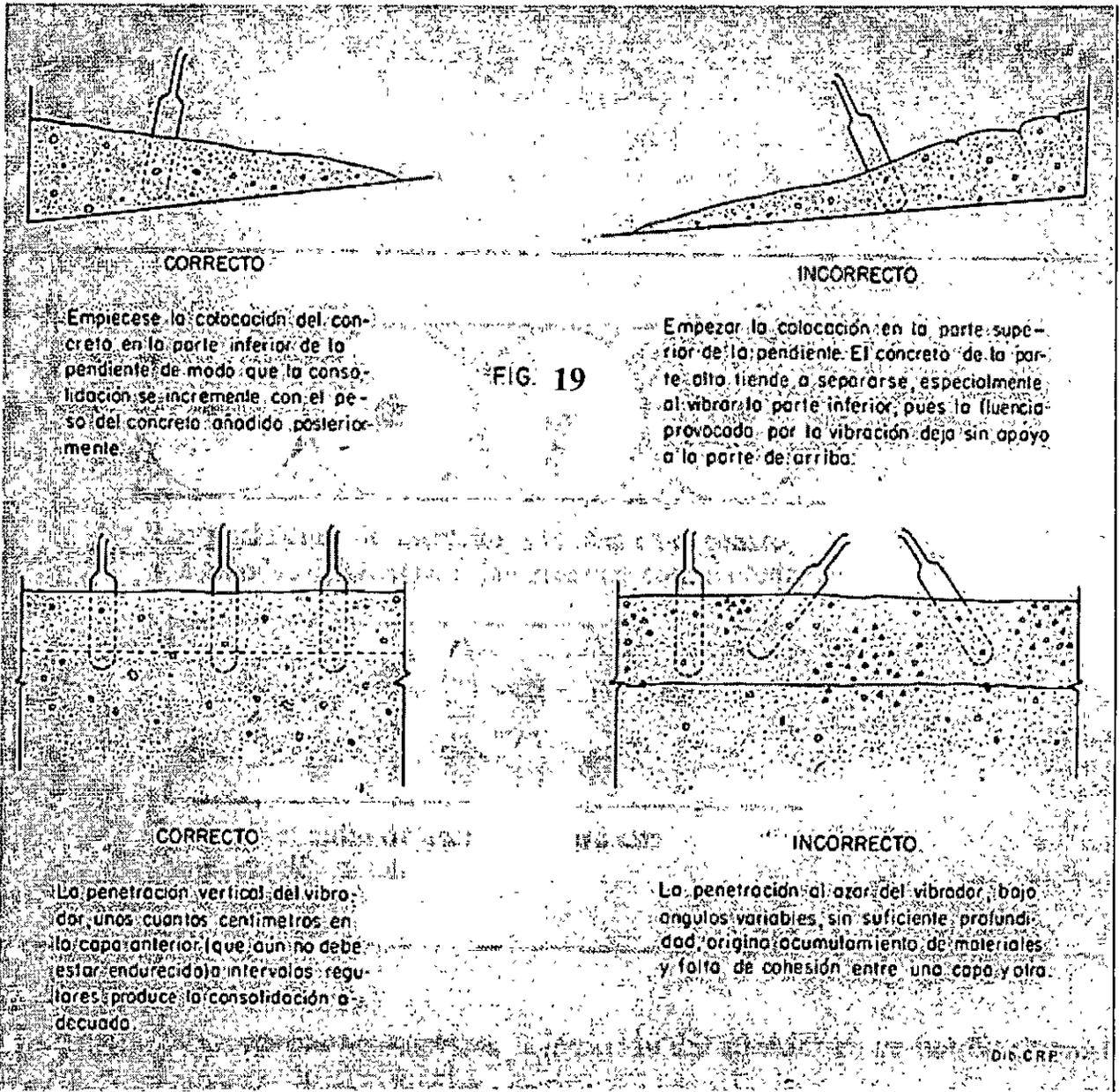


La separación que pueda existir entre el agregado grueso y el mortero, puede reducirse evitando vibraciones excesivas, caídas inadecuadas y movimientos laterales bruscos, durante las operaciones de manejo y colocación del concreto.

IV.2.4.- COMPACTACION .-

La compactación del concreto una vez depositado en las formas; debe ser llevado a cabo uniforme y totalmente por medio de varillado o vibrador con máquinas que aseguren el perfecto acomodamiento del concreto, haciendo que el acero quede cubierto en su totalidad y las esquinas perfectamente llenas con superficies libres de defectos.

En las Figuras 19, 20, 21 y 22 puede apreciarse las maneras correcta e incorrecta de realizar la compactación del concreto, por medio de vibradores. En la Tabla 14 también se indican las recomendaciones para el empleo de vibradores en el acomodo del concreto.



CORRECTO

Empezarse la colocación del concreto en la parte inferior de la pendiente de modo que la consolidación se incremente con el peso del concreto añadido posteriormente.

INCORRECTO

Empezar la colocación en la parte superior de la pendiente. El concreto de la parte alta tiende a separarse, especialmente al vibrar la parte inferior, pues la fluencia provocada por la vibración deja sin apoyo a la parte de arriba.

FIG. 19

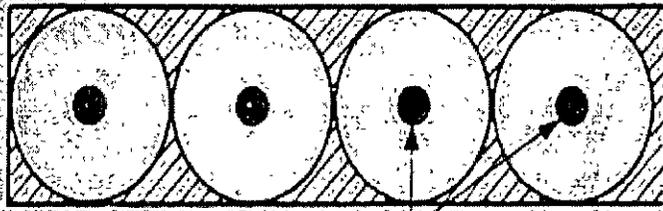
CORRECTO

La penetración vertical del vibrador unos cuantos centímetros en la capa anterior, que aun no debe estar endurecida a intervalos regulares, produce la consolidación adecuada.

INCORRECTO

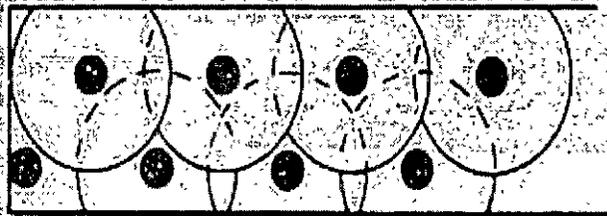
La penetración al azar del vibrador, bajo ángulos variables, sin suficiente profundidad, origina acumulación de materiales y falta de cohesión entre una capa y otra.

DIC. CRP



Incorrecto

Las posiciones de inserción situadas en el centro y a grandes distancias, dejan áreas no compactadas.



Correcto

Traslapar el radio de acción asegura una compactación total.

Fig 20 En muros y otras secciones angostas, la inserción del atizador en un patrón alternado asegura la compactación de todo el concreto.

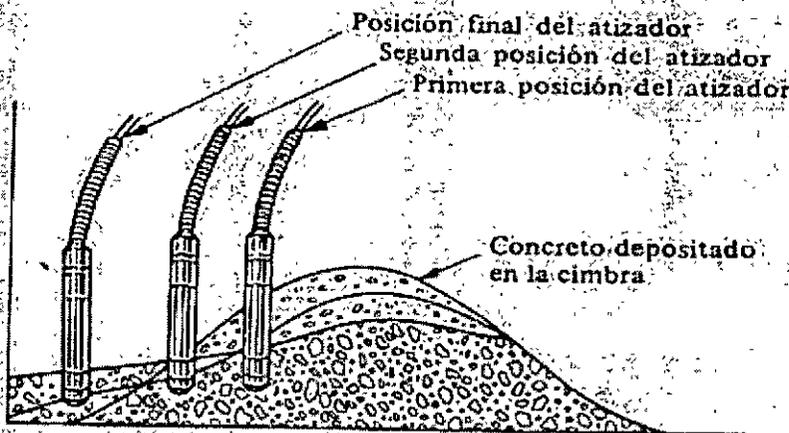


Fig 21 Manera de emplear el atizador para aplanar el cúmulo y llenar las esquinas difíciles. Hágase fluir el concreto en forma de lengüeta hasta una junta de esquina o tope, teniendo cuidado de evitar la segregación. No se coloque el concreto primero en la junta, para después vibrarlo.

COMO NO DEBE HACERSE

Cima compactada en la superficie

Concreto no compactado

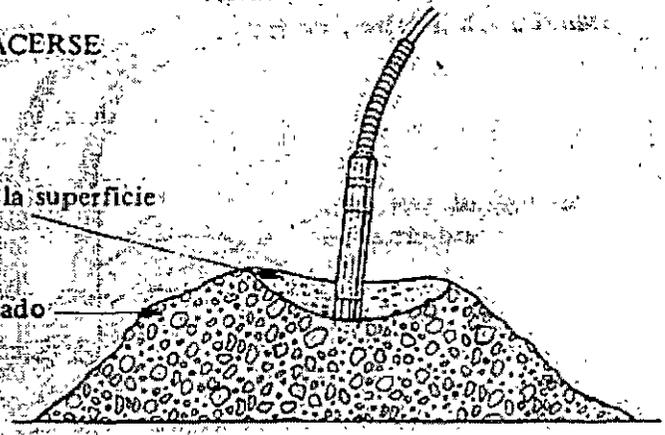


Fig 22 Insertese el atizador rapidamente para evitar una compactación de la cima, lo que restringe el escape de aire.

TABLA 14.- RECOMENDACIONES PARA EL EMPLEO DE VIBRADORES

1.-	ASEGURARSE DE QUE SE PUEDE OBSERVAR LA SUPERFICIE DEL CONCRETO.		Puede ser necesario el empleo de lámparas para observar cuando se cuele en secciones estrechas y profundas.
2.-	INTRODUCIR EL VIBRADOR CON RAPIDEZ.		Al introducir el vibrador debe dejarse que penetre hasta el fondo de la capa lo más rápidamente posible y por su propio peso.
3.-	DEJARLO DENTRO DEL CONCRETO DURANTE 10 SEGUNDOS.		Depende de la Trabajabilidad del concreto como del tamaño del vibrador.
4.-	SACARLO LENTAMENTE.		Lo principal es verificar que se cierre el agujero que dejó el vibrador, de lo contrario, aparecerá en el concreto acabado.
5.-	INTRODUCIR DE NUEVO EL VIBRADOR, A NO MÁS DE 50 CM DE DISTANCIA DE SU POSICIÓN ANTERIOR.		Con vibrador de menor diámetro se requieren inserciones aún más cercanas.
6.-	EVITAR QUE EL VIBRADOR TOQUE LA CARA DE LA CIMBRA, CONSÉRVESE A UNOS 7.5 O 10.0CM DE LA CIMBRA.		No solamente se dañará la cara de la cimbra, sino que quedará marcada en la superficie acabada del concreto.
7.-	EVITAR QUE EL VIBRADOR TOQUE EL ACERO DE REFUERZO.		No causa daños siempre que el concreto esté fresco; pero puede transmitirse a una sección de concreto endurecido, y afectar la adherencia.
8.-	EVITAR UTILIZAR EL VIBRADOR PARA HACER FLUIR EL CONCRETO.		
9.-	EVITAR INSERTAR EL VIBRADOR EN LA PARTE SUPERIOR DEL CÚMULO DEL CONCRETO.		Aunque debe evitarse la formación de cúmulos, a veces esto sucede, hay que insertar el vibrador alrededor de su perímetro
10.-	VERIFICAR QUE EL VIBRADOR PENETRE HASTA 1 CM EN LA CAPA ANTERIOR.		Permitirá que las capas se entrelacen

11.-	INTRODUCIR TODO EL LARGO DE LA CABEZA DEL VIBRADOR EN EL CONCRETO.		Esto es esencial para mantener fríos los cojinetes
12.-	EVITAR QUE EL VIBRADOR TRABAJE MIENTRAS NO ESTE DENTRO DEL CONCRETO.		De lo contrario se corre el riesgo de sobrecalentar los cojinetes.
13.-	EVITAR DOBLECES EN LAS FLECHAS FLEXIBLES.		
14.-	SI EL ACABADO ES IMPORTANTE, UN POCO DE VIBRACIÓN ADICIONAL REDUCE LAS CAVIDADES.		
15.-	ASEGURARSE DE QUE EL MOTOR NO SE MUEVA POR LAS VIBRACIONES.		No debe moverse tirando de la flecha flexible.
16.-	LIMPIAR BIEN EL VIBRADOR DESPUÉS DE USARLO.		

IV.2.5.- CURADO

Cuando se mezcla cemento con agua, tiene lugar una reacción química; esta reacción, llamada hidratación, es la que hace que el cemento, y por lo tanto el concreto, se endurezca y después desarrolle resistencia. Este desarrollo de resistencia se observa sólo si el concreto se mantiene húmedo y a temperatura favorable, especialmente durante los primeros días. El concreto que ha sido correctamente curado es superior en muchos aspectos: no sólo es más resistente y más durable bajo ataques químicos, sino que también es más resistente al desgaste y más impermeable; por añadidura, es menos probable que lo dañen las heladas y los golpes accidentales que reciba.

El concreto empieza a adquirir resistencia tan pronto como termina el proceso de fraguado del cemento. La mayor parte de la resistencia adquirida por el concreto, es desarrollada durante los primeros 28 días, ya que la hidratación de los componentes del cemento y su endurecimiento no se verifica instantáneamente, se necesitándose días, meses y en algunos casos años, para tenerse la resistencia definitiva.

La cantidad de agua contenida en el concreto fresco es considerablemente mayor que la necesaria para la hidratación del cemento; sin embargo, la pérdida apreciable de agua por evaporación o por cualquier otra causa, después de que ha tenido lugar el fraguado inicial, puede retardar o evitar la hidratación completa. Si a los 3 días se retira por completo el agua que esta en contacto con el cemento, se suspende el endurecimiento de éste, quedando con el 52% de la resistencia que bajo la presencia del agua, podría haber desarrollado al cabo de 28 días.

El mayor beneficio que puede obtenerse con el curado, se tiene generalmente cuando se hace durante 7 días como mínimo sin embargo, se obtienen mejores resultados si el curado se prolonga por 10 a 14 días; se puede considerar que no es práctico, económicamente, prolongar el curado después de 14 días, aunque la resistencia deseada no se haya aún desarrollado, puesto que ésta se puede alcanzar a los 28 días.

El objetivo del curado es evitar o compensar la pérdida de humedad necesaria, durante la temprana y relativamente rápida etapa de hidratación. El procedimiento usual para hacer esto es conservar la superficie expuesta húmeda; con un curado apropiado, no sólo se evita dicha pérdida de agua, sino que se eliminan las contracciones excesivas que pueden originar un agrietamiento superficial. En la Tabla 15 se indican los diversos métodos para el curado del concreto.

TABLA 15.- MÉTODOS DE CURADO

1.-	MEDIANTE RIEGOS.		Se lleva a cabo con riegos continuos mediante mangueras, o aspersores insertados en tuberías galvanizadas.
2.-	MEDIANTE INUNDACIONES.		Se deposita una película delgada de agua con espesor de 2 a 5 cm, recubriendo la superficie por curar.
3.-	CON EL EMPLEO DE TIERRA HÚMEDA O PAJA HÚMEDA.		Se coloca una capa de 3 a 15 cm de paja o tierra humedecida por un periodo de 3 a 10 días
4.-	USANDO RECUBRIMIENTOS DE PAPEL.		Se emplea papel fuerte y flexible, que puede emplearse hasta 15 veces sucesivas. Impide que el agua del concreto se evapore fácilmente.
5.-	OTROS MÉTODOS SON USANDO POLIETILENO, YUTE, PAPEL DE SACOS DE CEMENTO.		El traslape de las juntas de polietileno y papel de sacos de cemento debe ser de 30 cm. Debe conservar húmeda la superficie del concreto.
6.-	DEJANDO LOS MOLDES EN SU LUGAR LO MÁS QUE SE PUEDA.		Impide que el sol y el viento active la evaporación del agua de mezcla. Sin embargo, resulta antieconómico no aprovechar la cimbra para lo que realmente es útil.
7.-	EMPLEANDO CLORURO DE CALCIO.		Compuesto que absorbe la humedad de la atmósfera y la condensa en forma de agua, los cristales varían entre 1 y 2 mm y se colocan a razón de 1 kg/m ²

8.-	EMPLEANDO PRODUCTOS QUÍMICOS QUE FORMAN UNA PELÍCULA IMPERMEABLE.	Dichos productos pueden ser un silicato de sodio, al evaporarse el agua forma una capa de aspecto vidrioso que es impermeable y evita que el agua del concreto se evapore.
9.-	USANDO RECUBRIMIENTOS BITUMINOSOS.	Se usa el asfalto o el alquitrán, se rocía la superficie del concreto para sellar la superficie evitando que se tenga pérdida de agua.
10.-	PROCEDIMIENTOS ACELERADOS DE CURADO.	Consistirán en aplicar temperaturas superiores a la ambiente. Generalmente son cámaras o cuartos calentados directamente con vapor; de modo que la atmósfera que rodee al concreto se encuentre saturada de humedad y temperatura de 35 a 50 °C.

Los procedimientos acelerados de curado se emplean para artículos prefabricados (manufacturados), tales como: trabes, tubos, postes, losas, tabiques y piedra artificial. Estos artículos se introducen junto con sus moldes durante unas 12 a 24 h. El concreto en tales condiciones endurece a las 24 h, lo que endurecería en unos 6 días curado a temperatura ambiente.

IV.2.6.- IMPERMEABILIDAD DEL CONCRETO

IMPERMEABILIDAD.- Facilidad que presentan los materiales al paso de los líquidos. En nuestro caso, depende de la permeabilidad y de la calidad del concreto.

El concreto contiene una variedad de poros en la pasta y en los agregados; la porosidad de la pasta se ve afectada por la relación agua-cemento.

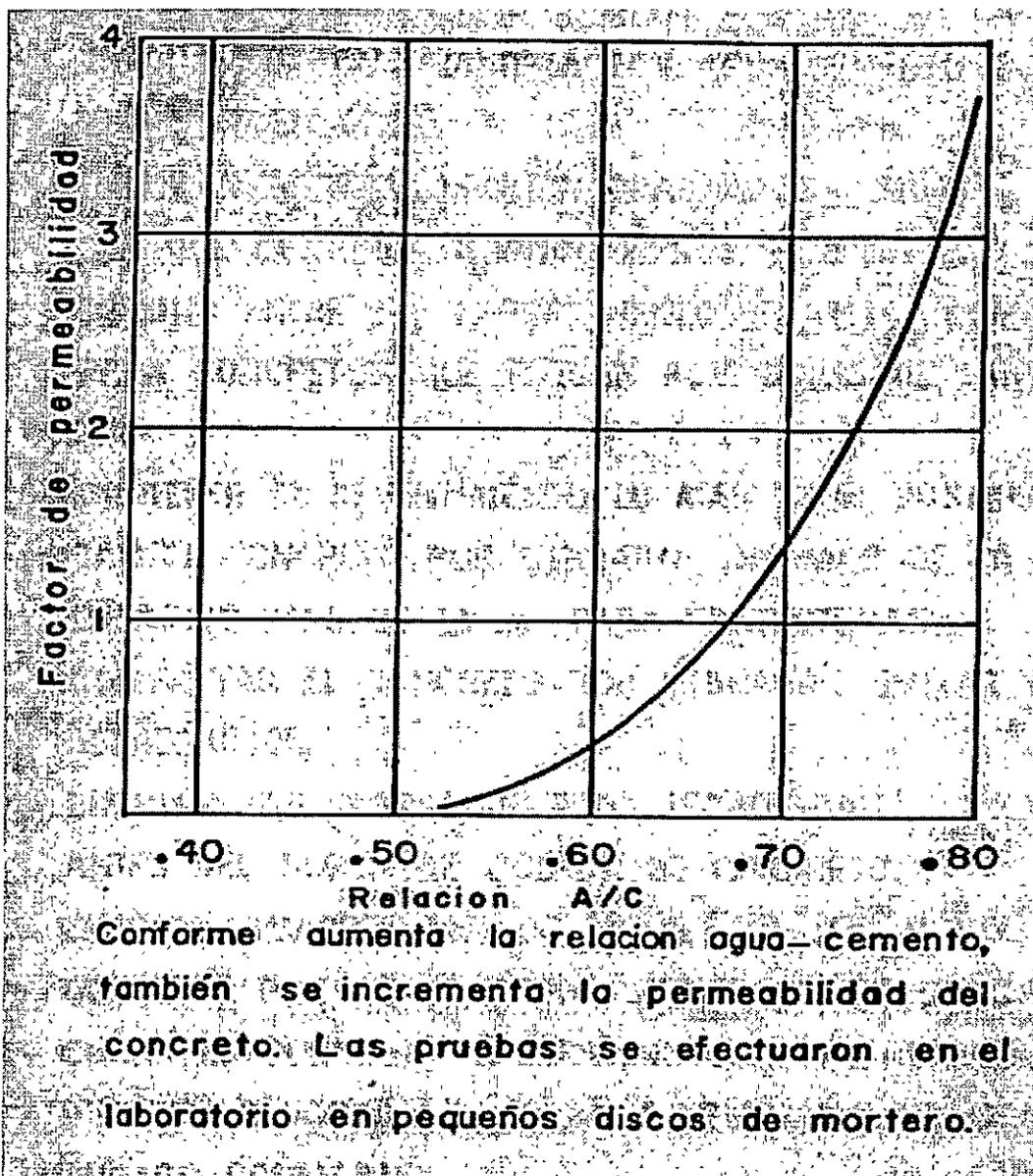
La permeabilidad puede medirse mediante pruebas de laboratorio. Estas pruebas son de poca utilidad; ya que la permeabilidad depende en mucho de las prácticas constructivas.

La mejor garantía para elaborar un concreto impermeable es:

- a) estricto control de la relación agua-cemento.
- b) Colado y curado adecuados.

La inclusión de aire hace que disminuya el sangrado e impide la formación de canales de agua dentro del concreto. El concreto deberá compactarse por vibrado, a fin de disminuir la permeabilidad. Lo más importante son buenas prácticas de construcción; un buen diseño; buenos materiales; adecuado manejo del producto y un curado correcto.

En la Figura 23 se presenta el efecto de la permeabilidad del concreto con la variación de la relación agua-cemento.



LA MEJOR FORMA DE OBTENER UN CONCRETO IMPERMEABLE ES:

- Emplear una cantidad mínima de agua en la mezcla del concreto con una relación agua-cemento que no exceda de 0.50 en peso.
- Utilizar agregados bien graduados, sanos, en una mezcla que contenga cuando menos 310 kg/m^3 de cemento.
- Incluir entre 3 y 7 por ciento de aire, como máximo para concretos que tengan agregados de tamaño pequeño.

- d. Mantener el revenimiento lo mas bajo posible para colocar el concreto por vibrado, no mas de 10 cm para losas ni mas de 13 cm para estructuras.
- e. Compactar el concreto por vibrado. Evitar que haya segregación.
- f. Limpiar las juntas de toda lechosidad y polvo poco antes del siguiente colado de concreto.
- g. Emplear amarres en los moldes de los muros que puedan quitarse por debajo de la superficie de concreto.

Curar el concreto manteniéndolo continuamente húmedo durante cinco días, o bien aplicando un compuesto de curado confiable.

IV.2.7.- DURABILIDAD DEL CONCRETO

Al construir una estructura de concreto suponemos que debe tener una vida útil, es decir, que debe ser durable.

Definición .- Es la resistencia que presenta el concreto por cualquier agente ajeno a él; prácticamente es la resistencia a influencias deteriorantes que pudieran por inadvertencia o ignorancia, residir en el propio concreto, o que fuesen inherentes al medio ambiente al cual se expone

La durabilidad esta íntimamente relacionada con la resistencia, contracción, impermeabilidad y condición superficial del concreto; con el diseño estructural; con los materiales, mano de obra y condiciones de exposición.

FACTORES QUE AFECTAN LA DURABILIDAD:

- Características de los materiales que constituyen el concreto.
- Propiedades físicas del concreto endurecido.
- Condiciones impuestas a la estructura.
- Practicas empleadas durante la construcción, y
- Diseño estructural.

COMO MEDIR LA DURABILIDAD: Es algo dificil, ya que está sujeta a un complejo de leyes e influencias que no es posible determinar tan simplemente como la resistencia, es decir, mediante una simple prueba.

INTEMPERISMO.- Cualquier material expuesto a los elementos externos durante cualquier periodo, piden su apariencia de nuevos; el concreto no es la excepción. Un intemperismo acelerado se manifiesta por grietas, descascaramiento y desintegración del concreto.

CAUSAS DEL INTEMPERISMO:

- El congelamiento dilata al concreto y lo agrieta.

- Los ataques de agentes exteriores, como los sulfatos y ácidos.
- La dilatación y la contracción originan esfuerzos muy dañinos.

CONDICIONES QUE PUEDEN SER DAÑINAS PARA EL CONCRETO:

- reacción peligrosa entre ciertos minerales de los agregados y los álcalis del cemento.
- Exposición a los sulfatos. Una
- Exposición a sustancias dañinas en aguas freáticas, aguas de mar, o en aguas industriales.
- Ciclos repetidos de congelación y deshielo.
- Drenaje defectuoso en servicio.
- Concreto de mala calidad.

DEFICIENCIAS PROPIAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO:

Un concreto elaborado con materiales defectuosos, donde la mano de obra haya sido de calidad inferior o cuando las proporciones de la mezcla no hayan sido las adecuadas para las condiciones de exposición esperadas, puede resultar defectuoso y con una vida útil menor.

- 1.- Materiales defectuosos.
- 2.- Mano de obra deficiente.
- 3.- Mezcla mal diseñada.

AGREGADOS DEFECTUOSOS .- Los materiales pétreos siempre deben ser sometidos a un proceso de ensayos para conocer sus propiedades físicas.

EL CEMENTO .- El proceso de fabricación de este material lleva implícito un escrupuloso control de calidad, por ello es muy difícil que sea la causa de una mezcla defectuosa, más bien la causa podría ser una mala dosificación.

AGUA .- Probablemente sea uno de los ingredientes que más contribuyen a un concreto deficiente; por su calidad propia o por su mala dosificación.

ADITIVOS .- Generalmente son los que más afectan a los concretos; por su empleo indiscriminado y sin conocimiento.

MANO DE OBRA DE MALA CALIDAD .- Desafortunadamente es la que más contribuye a concretos de calidad deficiente; pero esto más que nada es por falta de una supervisión adecuada.

PROPORCIONAMIENTO INADECUADO DE LA MEZCLA .- Todo concreto que se pretenda que sea durable debe ser diseñado conociendo sus características que se desean. Las cuales dependen de las propias de los materiales.

ATAQUES QUÍMICOS O MECÁNICOS .- Para un concreto que va a estar expuesto a sustancias o agentes agresivos, hay medios para prevenir o al menos reducir a un mínimo los daños; a continuación se dan solo algunos ejemplos.

CONDICION DE EXPOSICIÓN: Ácidos inorgánicos, tales como: el sulfúrico, clorhídrico, nítrico, etc.

TRATAMIENTO: Mastique asfáltico, plomo, resina, laminas de hule, etc.

EFECTO: ataque activo y desintegración.

CONDICION DE EXPOSICIÓN: Aceites del petróleo.

TRATAMIENTO: ladrillo, epoxy, poliéster, neopreno, vinilo.

EFECTO: perdidas pequeñas de aceite por penetración.

IV.3.- PRUEBAS DE EVALUACIÓN DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO

IV.3.1. EVALUACIÓN DE LA TRABAJABILIDAD

La Trabajabilidad se define como la facilidad con la que puede manejarse el concreto fresco, y colocarse con una pérdida mínima de homogeneidad en sus moldes. La consistencia, cohesividad y plasticidad son algunos de los términos que se utilizan para describir la apariencia de un concreto fresco. Se dice que un concreto que satisface las condiciones anteriores es trabajable.

La Trabajabilidad deseada en cada caso dependerá de los medios de compactación existentes. Asimismo, una Trabajabilidad satisfactoria para concreto masivo podría no ser suficiente para secciones delegadas o muy reforzadas.

La Trabajabilidad puede ser mejor definida como la cantidad de trabajo útil que se necesita para producir una compactación completa.

La necesidad de obtener una compactación completa es importante ya que con ello se aumenta la resistencia del concreto. La presencia de vacíos en el concreto reduce mucho su resistencia: un 5% de vacíos puede disminuir la resistencia hasta en un 30%.

FACTORES QUE AFECTAN A LA TRABAJABILIDAD:

- Contenido de agua de la mezcla.
- Contenido de cemento.
- Tamaño máximo del agregado.
- Aditivos.
- Textura, etc.

MEDICION DE LA TRABAJABILIDAD:

No existe ninguna prueba que mida directamente la Trabajabilidad. Sin embargo existen pruebas mediante las cuales se puede correlacionar.

PRUEBA DE REVENIMIENTO .- Es muy útil para detectar variaciones en la uniformidad de la mezcla. Un aumento en el revenimiento puede significar que el contenido de humedad se ha elevado inesperadamente.

PRUEBA DEL FACTOR DE COMPACTACION .- Se mide la relación de peso específico, es decir, el cociente del peso específico realmente obtenido en la prueba entre el peso específico del mismo concreto totalmente compactado.

EXISTEN OTRAS PRUEBAS COMO SON:

- Prueba de fluidez.
- Prueba de remoldeo.
- Prueba vebe (v. Bahrner de Suecia)
- Prueba de la esfera de Kelly.

IV.3.2. PRUEBAS DE CONCRETO FRESCO

IV.3.2.1. MUESTREO

La muestra deberá ser de por lo menos de 30 litros, cuando se vaya a usar en pruebas de resistencia.

Se podrán recabar muestras más pequeñas para pruebas rutinarias de contenido de aire y revenimiento.

Las muestras se deberán transportar al lugar en donde se vayan a moldear los especímenes o en donde se vayan a realizar las pruebas, remezclándolas previamente para garantizar su uniformidad.

La muestra se deberá proteger contra los rayos del sol y el viento durante el período comprendido entre la toma de la muestra y la elaboración del espécimen, el cual no deberá de exceder de 15 minutos.

LUGARES DE MUESTREO

MUESTREO EN REVELADORAS FIJAS .- exceptuando a las pavimentadoras, la muestra se deberá obtener interponiendo un recipiente en la descarga de la mezcladora, cuando se haya descargado aproximadamente la mitad del volumen.

MUESTREO EN MEZCLADORA PAVIMENTADORA .- el contenido de la mezcladora pavimentadora se deberá descargar y la muestra se deberá recoger en cuando menos cinco porciones diferentes del material descargado.

MUESTREO EN MEZCLADORAS Y OLLAS GIRATORIAS MONTADAS EN CAMIONES .- la muestra se deberá tomar a tres o más intervalos regulares de la descarga, haciendo pasar repetidas veces un recipiente a través del material que se está descargando, o desviando la descarga completamente.

MUESTREO EN MEZCLADORAS ABIERTAS EN LA PARTE SUPERIOR, MONTADAS EN CAMIONES, AGITADORAS, CAMIONES DE VOLTEO Y OTROS TIPOS DE RECIPIENTES ABIERTOS .- las muestras se deberán tomar por cualquiera de los procedimientos descritos anteriormente, escogiendo el que mejor se adapte a las condiciones dadas. En la Figura 23 se observan los aspectos del muestreo de camiones revolvedores.

MUESTREO DE CONCRETO

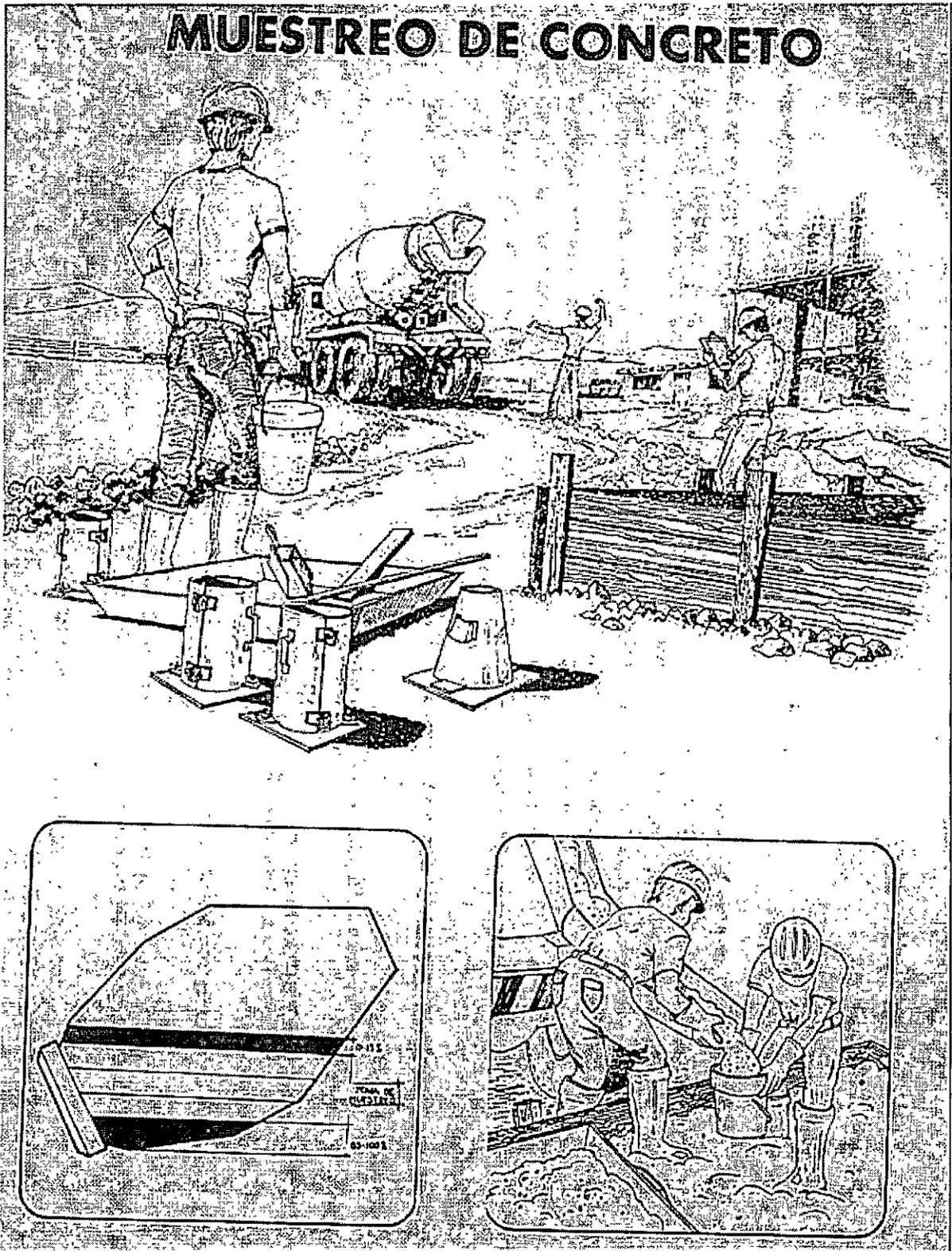


Figura 23

IV.3.2.2. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO, RENDIMIENTO DE VOLUMEN Y CONTENIDO DE AIRE (GRAVIMETRICO) DEL CONCRETO.

- Se emplea un recipiente metálico de forma cilíndrica de 15 l. de capacidad cuando el tamaño máximo del agregado es hasta de 2" , o de 30 l. cuando el tamaño máximo es mayor de 2".
- Se calibra el recipiente empleando agua a una temperatura de 16.7° C.
- Se acomoda el concreto en tres capas dentro del recipiente, aplicando 25 golpes por capa con la varilla punta de bala, si el recipiente es de 15 l. , y 50 si es de 30 l. , se enrasa y se pesa.
- Se calcula el peso volumétrico, rendimiento de volumen y el contenido de aire del concreto con las siguientes fórmulas.

$$P = w/V_r; \quad S = ((N \times C) + P_f + P_g + P_a)/P; \quad R = S/N; \quad N1 = I/R = N/S;$$

$$A = (T - P)/T = (S - V)/S (100) \quad T = P1/V$$

S: Volumen de concreto por revoltura, m³ .

N: Número de sacos de cemento por revoltura.

C: peso neto de un saco de cemento; Kg.

Pf: peso total de agregado fino por revoltura, Kg.

Pg: peso total de agregado grueso por revoltura, Kg.

W: peso del concreto del recipiente de prueba, Kg.

Vr: volumen del recipiente de prueba, m³.

Pa: peso total de agua por revoltura, Kg.

P: peso volumétrico del concreto, Kg/cm³.

R: rendimiento del concreto por saco de cemento, m³.

N1: número de sacos de cemento (consumo real) por m³ de concreto.

A: contenido de aire (porcentaje de vacíos) en el concreto.

T: peso volumétrico teórico del concreto, calculado sobre la base de un concreto sin aire, Kg/m³.

P1: peso total de los ingredientes que componen una revoltura, Kg.

V: volumen absoluto total de los ingredientes que integran una revoltura, m³.

IV.3.2.3. PRUEBA DE REVENIMIENTO

El cono de revenimiento humedecido deberá colocarse sobre una superficie plana húmeda y no absorbente.

Se llena el molde con tres porciones de muestra equivalente a $\frac{1}{3}$ de la parte del volumen del cono, acomodando cada porción con 25 penetraciones de la varilla punta de bala.

Se levanta el cono y se mide la diferencia de altura que queda entre la parte superior del molde y la de la muestra; esta diferencia es la que se conoce como el valor de revenimiento de un determinado volumen de concreto.

En la Figura 24 se observan los pasos para ejecutar la prueba de revenimiento.



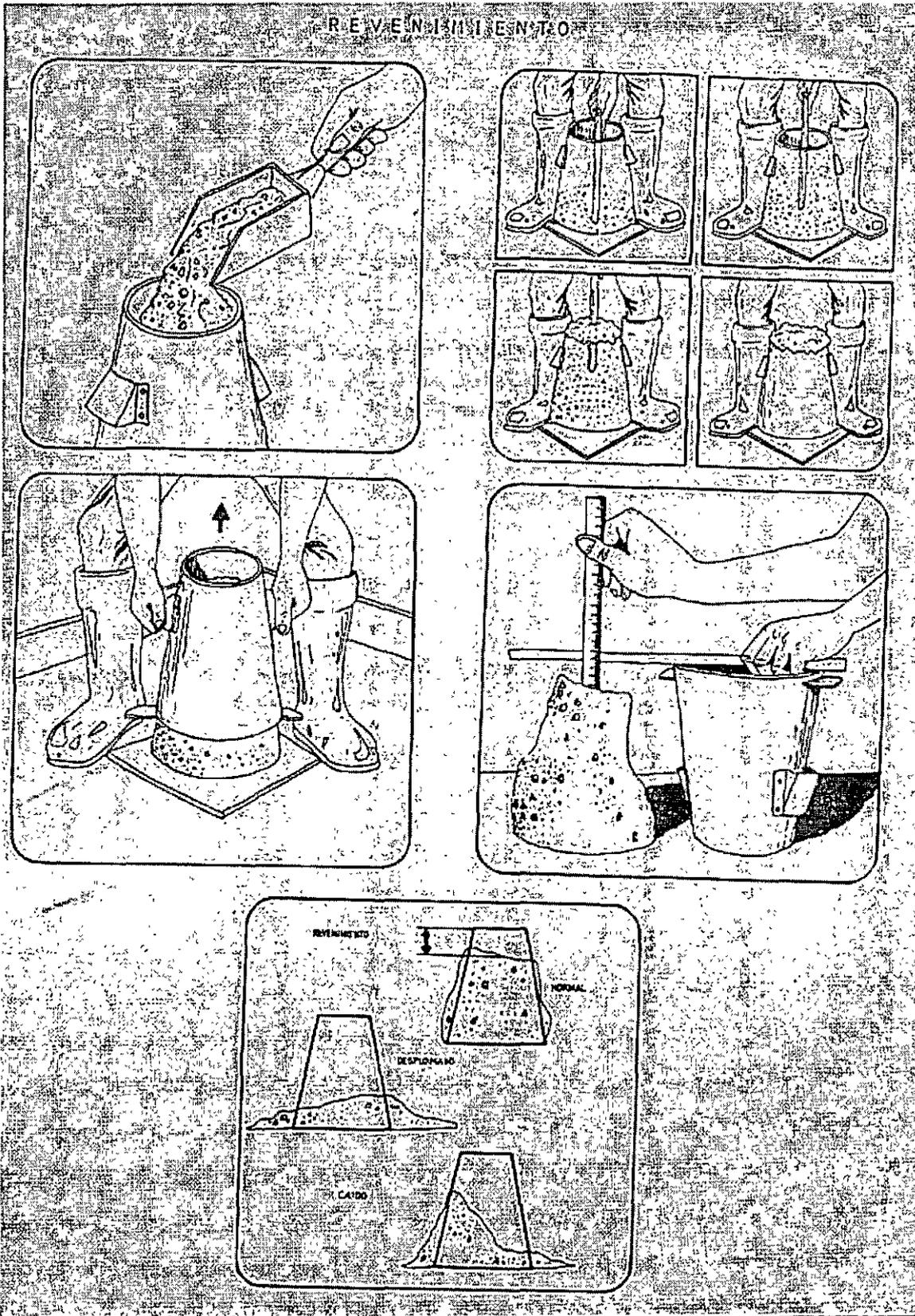


Figura 24

IV.3.2.4. PRUEBA DE PENETRACIÓN (ESFERA DE KELLY)

La prueba de penetración se asemeja a la de revenimiento, particularmente es más sencilla y rápida de realizarse, pudiéndose aplicar al concreto en una carretilla o en la cimbra; se aconseja su empleo para la verificación rutinaria de la consistencia del concreto para fines de control.

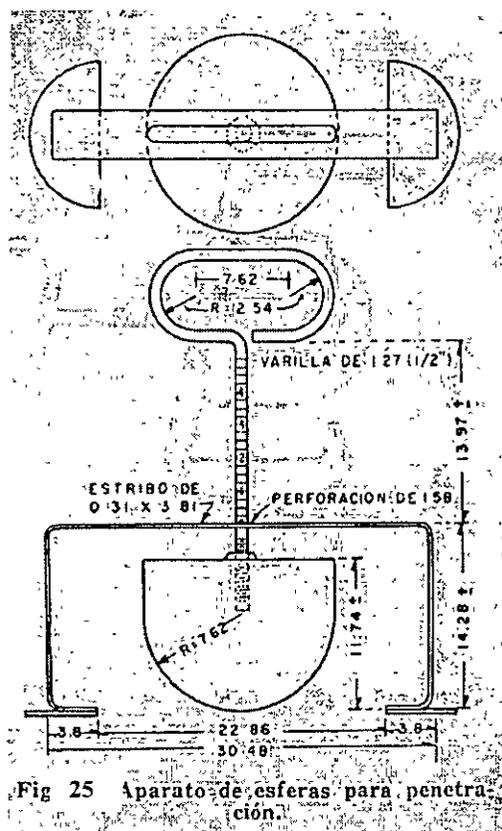
El concreto puede ensayarse al colocarse en los moldes antes de cualquier manipulación o bien en un recipiente adecuado tal como un bote, una charola, una tolva o una carretilla.

En cualquier caso el espesor mínimo del concreto deberá corresponder cuando menos a 3 veces el tamaño máximo del agregado, pero en ningún caso menor de 20 cm, y la distancia horizontal entre la línea central del mango y el borde del recipiente en que se halle el concreto deberá ser de 25cm.

Se pone en una condición tersa la superficie del concreto.

Se coloca la base del aparato y la esfera (Figura 25) sobre la superficie nivelada del concreto con el mango en posición vertical y con libertad para deslizarse a través del marco.

Se suelta el peso y se espera hasta que se detenga para tomar la lectura. Se recomienda efectuar tres penetraciones por cada bachada, reportando como valor de penetración el promedio de las tres lecturas.

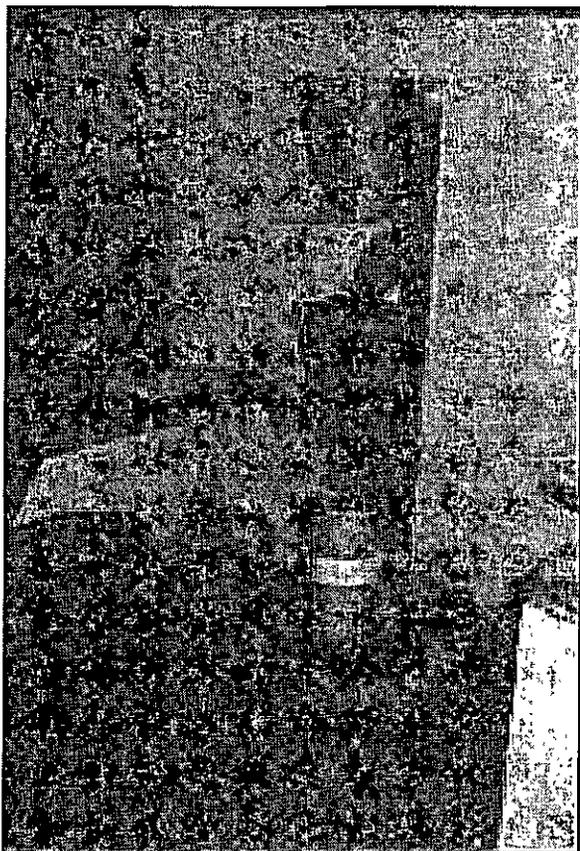


IV.3.2.5. PRUEBA DEL FACTOR DE COMPACTACION

El factor de compactación es la relación entre el peso volumétrico del concreto obtenido en la prueba y el peso volumétrico del mismo concreto totalmente compactado.

Para determinar el factor de compactación se siguen los siguientes pasos:

- Previamente se determina el peso volumétrico del concreto totalmente compactado.
- Se determina el peso volumétrico de la prueba, llenando la primera tolva con concreto fresco y dejándolo caer en la siguiente; por último se vacía el contenido de esta tolva al molde cilíndrico (Figura 26).
- Con los datos obtenidos de la prueba se determina el peso volumétrico y finalmente se determina el factor de compactación dividiéndolo el peso volumétrico de la prueba entre el peso volumétrico del concreto totalmente compactado.
- La prueba del factor de compactación es más sensible para concretos de poca Trabajabilidad.



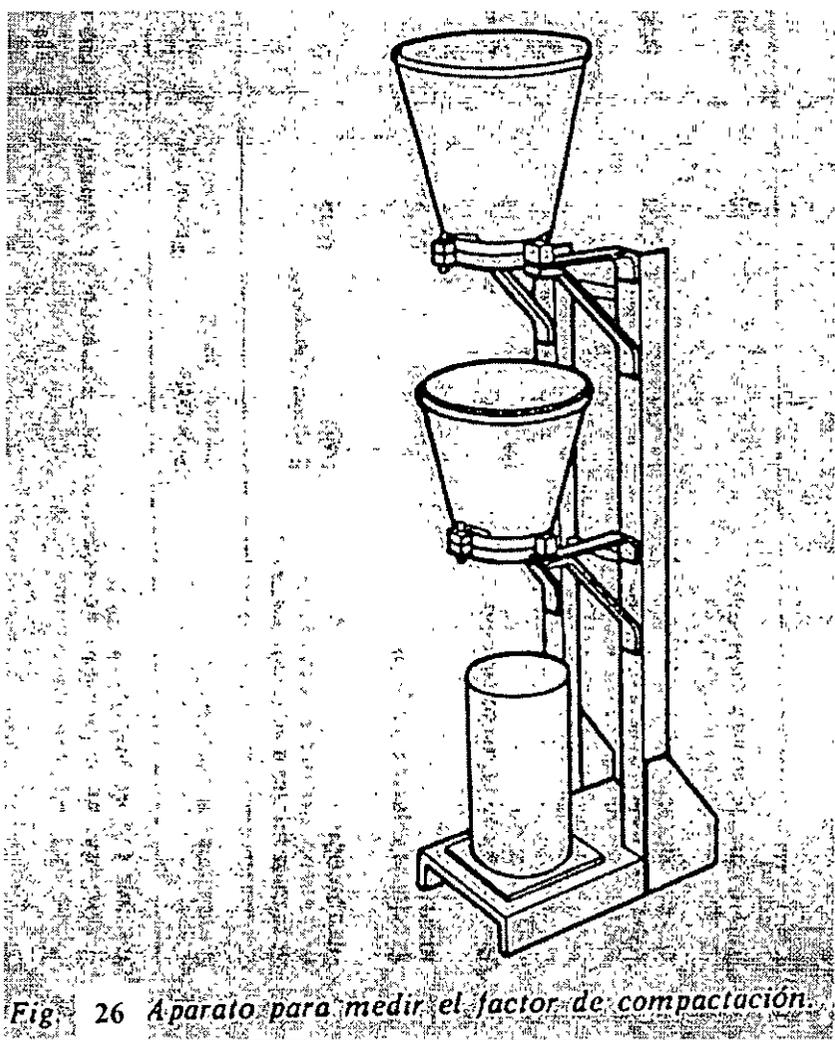


Fig 26 Aparato para medir el factor de compactación

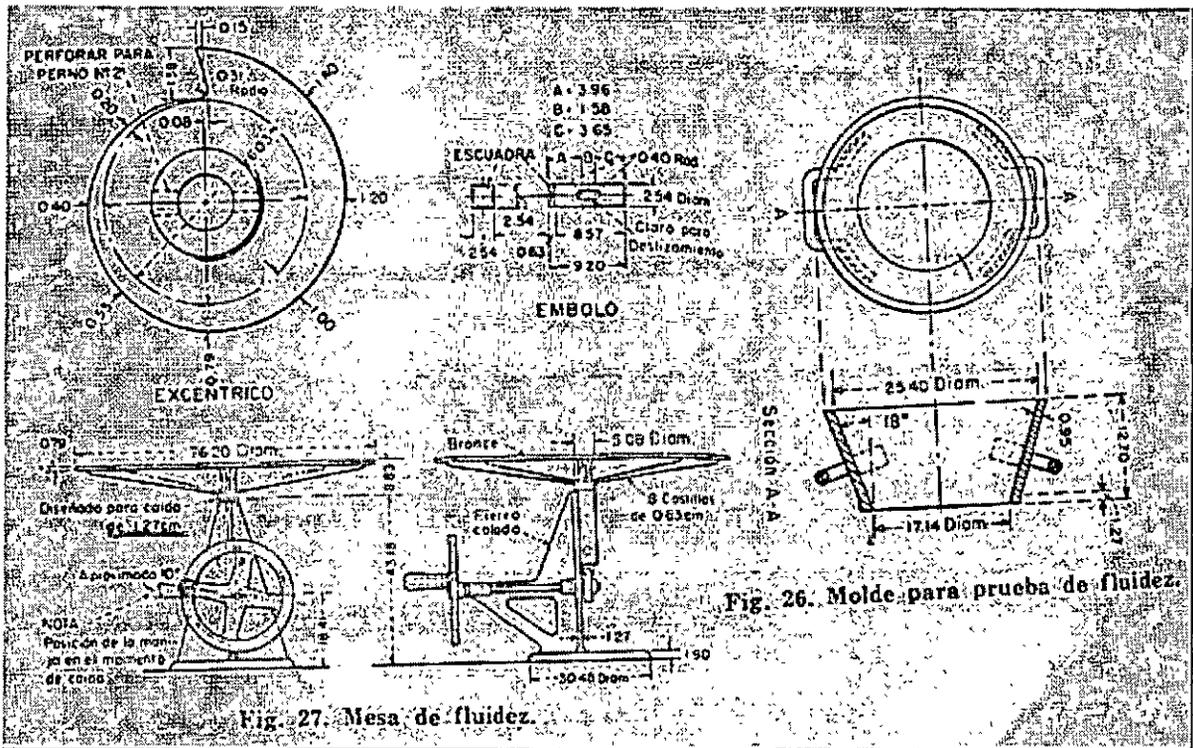
V.3.2.6. PRUEBA DE FLUIDEZ

La prueba de fluidez indica la consistencia del concreto y su tendencia a la segregación midiendo la dispersión de un pequeño volumen de concreto sujeto a sacudidas.

- Se coloca el molde de fluidez en el centro de la mesa se llena con concreto en dos capas y se compacta con 25 golpes por capa (Figura 27).
- Se levanta el molde y se sacude la muestra 15 veces durante 15 segundos.
- Se mide el diámetro promedio del concreto esparcido.
- Se calcula la fluidez del concreto como el porcentaje del incremento en el diámetro promedio del concreto esparcido con respecto al diámetro original.

$$\text{Fluidez} = \left(\frac{D-25\text{cm}}{25} \right) 100$$

La prueba de fluidez es valiosa para medir la segregación, pero también de una buena indicación de la consistencia de mezclas rígidas ricas y más cohesivas.



IV.3.2.7. PRUEBA DE REMOLDEO

La prueba de remoldeo es el esfuerzo necesario para cambiar la forma de una muestra de concreto fresco.

Se emplea una mesa de fluidez ajustada para caídas de 6.3 mm (1/4").

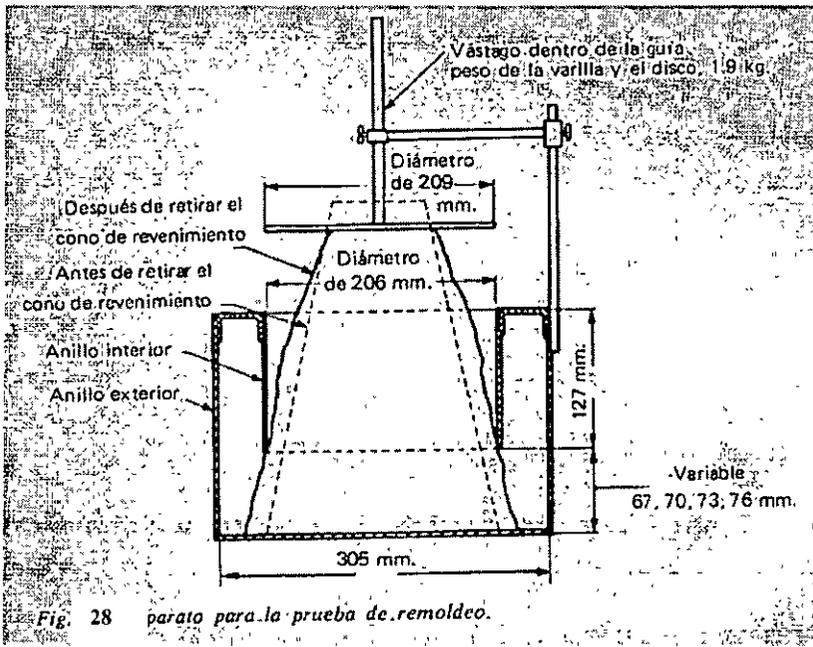
Se coloca un cono de revenimiento en un cilindro de 305 mm de diámetro y 203 mm de altura que está montado sobre la mesa de fluidez.

Se llena el cono de revenimiento de manera estándar, se quita y se coloca un pisón en forma de disco (de 1.9 kg de peso) en la parte superior de la muestra de concreto.

Se sacude la mesa a razón de una caída por segundo, hasta que el fondo del pisón esté 81mm por encima de la placa de base.

El remoldeo es el esfuerzo necesario para que la muestra cambie de la forma cónica a la cilíndrica y se expresa por el número de sacudidas que se requieren para lograrlo.

La prueba de remoldeo es exclusivamente de laboratorio (Figura 28).



IV.3.2.8. PRUEBA VEBE

La prueba Vebe es parecida a la de remoldeo; se omite el anillo interior y la compactación se logra por vibración en lugar de sacudidas (Figura 29).

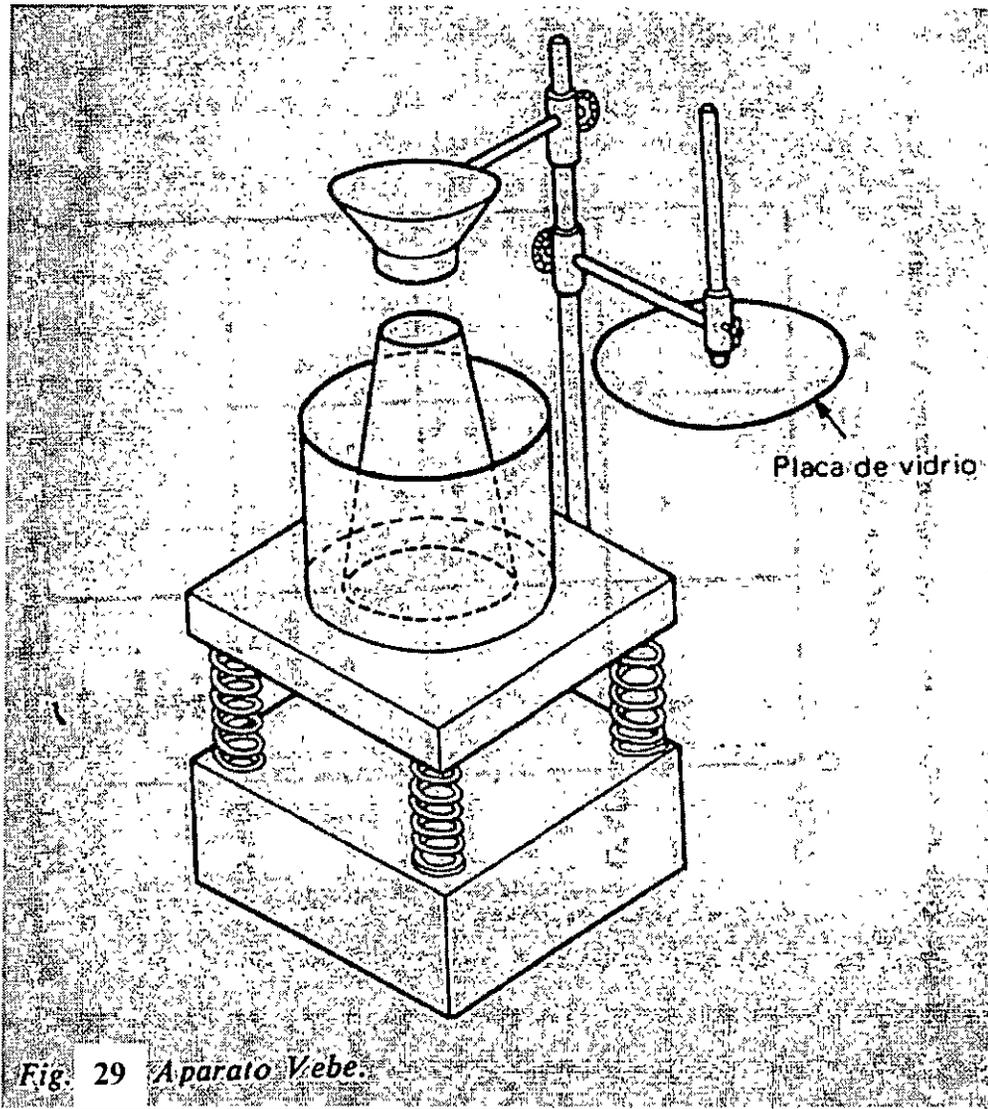
Se coloca un cono de revenimiento en un cilindro de 305 mm de diámetro y 203 mm de altura que está montado sobre una mesa vibratoria.

Se llena el cono de revenimiento de la manera estándar, se quita y se coloca un pisón en forma de disco (1.9 kg de peso) en la parte superior de la muestra de concreto.

Se somete la muestra a una vibración a razón de 300 r.p.m. Y una aceleración máxima de 3 a 4 veces g (aceleración terrestre).

El remoldeo se considera completo cuando el pisón de placa de vidrio esté completamente cubierto por el concreto y todas las cavidades de la superficie han desaparecido. La Trabajabilidad de la mezcla se expresa en segundos Vebe.

La prueba de Vebe es de laboratorio y es muy adecuado para mezclas secas.

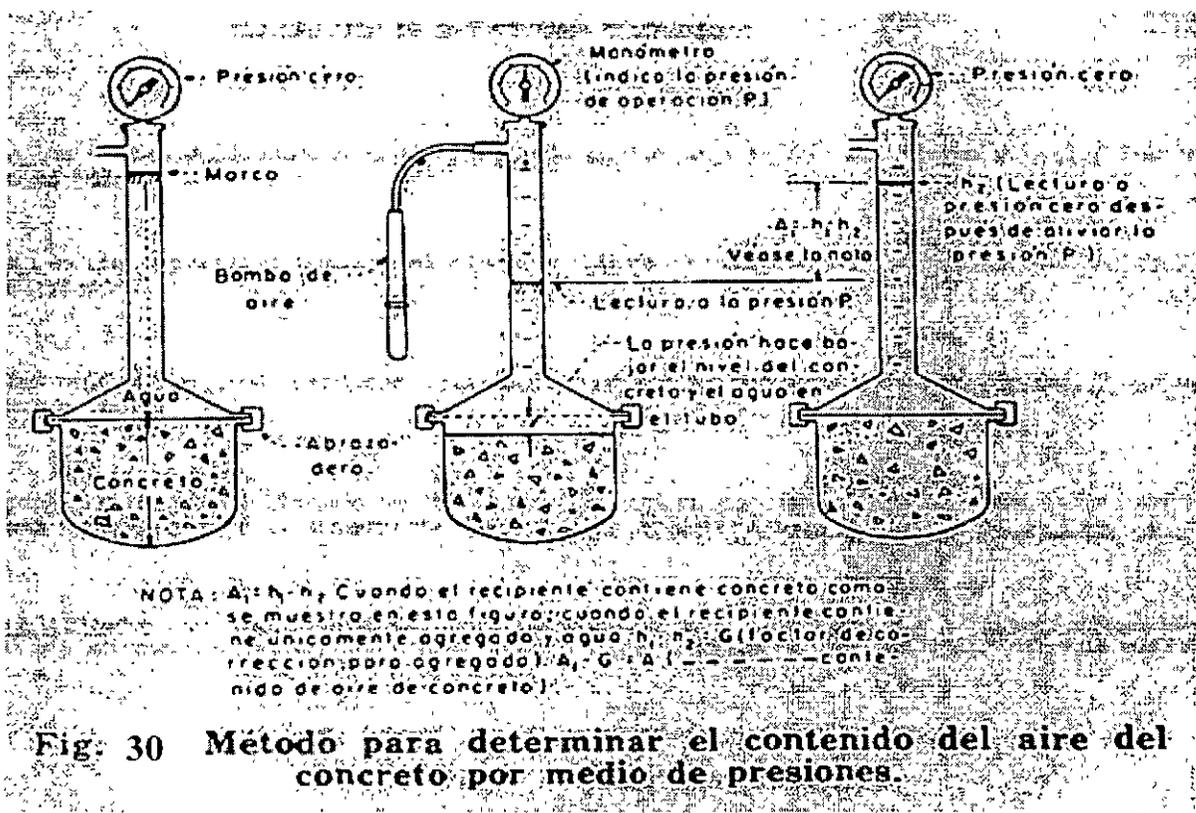


IV.3.2.9. CONTENIDO DE AIRE POR EL METODO VOLUMÉTRICO

Ejecución de la prueba (Figura 30):

- Se llena el recipiente de medición con concreto fresco en tres capas de igual espesor, dando 25 golpes a cada capa con la varilla de punta semiesférica de 1.57 (5/8").
- Se enrasa, se coloca la sección superior en su posición correcta y se agrega agua hasta la marca cero.

- Se aprieta el tapón, se invierte y se agita la unidad hasta que el concreto se desprenda de la base. A continuación, con el cuello hacia arriba se rueda y se bambolea hasta que se considere que el aire ha sido eliminado del concreto.
- Se coloca verticalmente el aparato se agita ligeramente y se deja reposar hasta que el aire suba a la superficie. Se repite esta operación hasta que no se observe ningún descenso en la columna de agua.
- Cuando ya no se observe descenso en la columna de agua. Se quita el tapón y se agrega en pequeños incrementos, un tazón lleno de alcohol isopropílico para dispersar la espuma que se forma.
- Se hace una lectura directa del líquido en el cuello del aparato en la parte inferior del menisco, con una aproximación hasta de 0.1%
- El contenido de aire del concreto será el valor directo leído del aparato más 1 (correspondiente al 1% de alcohol isopropílico agregado).



IV.3.2.10. ELABORACIÓN DE ESPECIMENES CILINDRICOS

Se preparan los moldes aplicándoles una película de aceite para sellar las juntas y evitar que se pegue el concreto en el molde.

Se colocarán en una superficie horizontal plana y libre de vibraciones con protección contra los rayos del sol y el viento.

Se llenan los moldes con tres porciones iguales de concreto, acomodando cada porción con 25 golpes de la varilla punta de bala.

Cuando se emplee vibrador el llenado de los moldes se hará en dos capas, vibrando cada una hasta que el material grueso desaparezca de la superficie; el vibrador no deberá tocar la pared ni la base del molde.

Después de elaborados los especímenes cilíndricos éstos se identificarán y permanecerán en el mismo sitio hasta que hayan endurecido (mínimo 16 hrs.) lo suficiente para que se puedan mover sin que sufran daños.

CRITERIOS PARA DEFINIR EL TAMAÑO DE LOS MOLDES PARA ESPECÍMENES CILÍNDRICOS

Los especímenes cilíndricos normales deberán ser de 15 x 30 cm para agregados en tamaño máximo hasta de 5cm.

Los especímenes más pequeños deberán tener una relación del diámetro del espécimen al tamaño máximo de agregado de 3 a 1, excepto que el diámetro del espécimen no deberá ser menor de 7.5 cm, para mezclas que contengan agregados con retenido en la malla núm. 4, mayor del 5%.

Para concreto que contenga agregado de tamaño nominal mayor de 5 cm, los especímenes cilíndricos deberán tener un diámetro de por lo menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado.

Se preparan los moldes aplicándoles en su interior una película de aceite para evitar que el concreto se pegue en el molde.

Se colocarán en una superficie horizontal plana y libre de vibraciones, con protección contra los rayos del sol y del viento.

Se llena el molde en dos capas aplicando a cada una 25 golpes, con la varilla punta de bala. Cuando se emplee vibrador el llenado de los moldes se hará en una sola capa aplicando vibración hasta que el material grueso desaparezca de la superficie; el vibrador no deberá tocar la pared ni la base del molde.

Después de elaborados los especímenes estos se identificarán y permanecerán en el mismo sitio hasta que hayan endurecido (mínimo 16 hrs.) lo suficiente para que se puedan mover sin que sufran daños (Figura 31).

ELABORACION DE CILINDROS

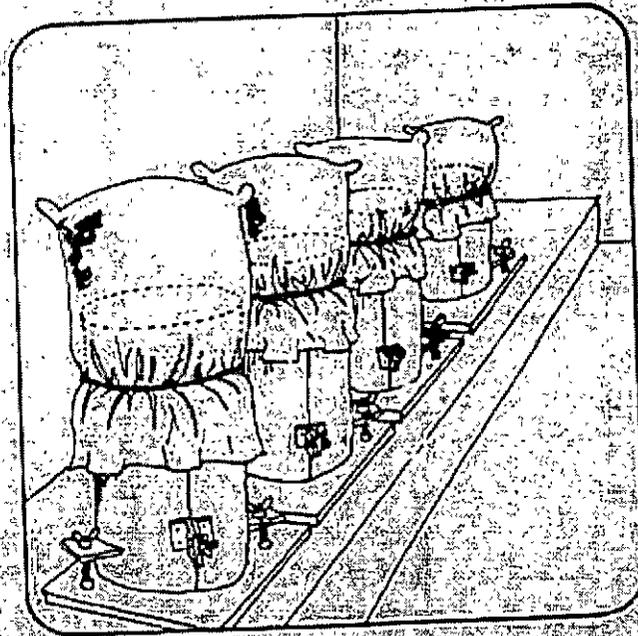
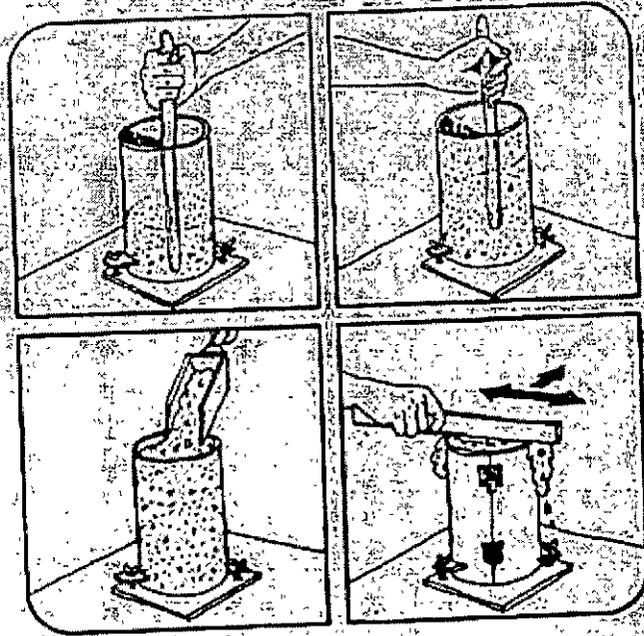


Figura 31

IV.3.2.11. ELABORACIÓN DE VIGAS DE CONCRETO

CRITERIOS PARA DEFINIR EL TAMAÑO DE LOS MOLDES PARA VIGAS DE CONCRETO

Los especímenes para la prueba de flexión deberán tener una sección transversal de 15 x 15 cm y una longitud mínima de 5 cm más que el triple del peralte, para agregados con tamaño máximo nominal de 5 cm.

La relación de ancho promedio al peralte promedio (b/d) no deberá exceder de 1.5

Para agregados con tamaño máximo nominal mayor a 5 cm, la dimensión mínima de la sección transversal no deberá ser menor de 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

En la Tabla 16 se indica el diámetro de la varilla utilizada en el acomodo del concreto y el número de golpes por capa y en la Figura 32 puede observarse el acomodo del concreto en los moldes.

Tabla 16

AREA DE LA PARTE SUPERIOR DEL ESPECIMEN	DIÁMETRO DE LA VARILLA	NUM. DE GOLPES POR CAPAS
$\leq 150 \text{ cm}^2$	0.95 cm	25
151 a 299 cm^2	0.95 cm	Uno por cada 5 cm de superficie (45 en promedio).
$\geq 300 \text{ cm}^2$	1.58 cm	Uno por cada 10 cm^2 de superficie.

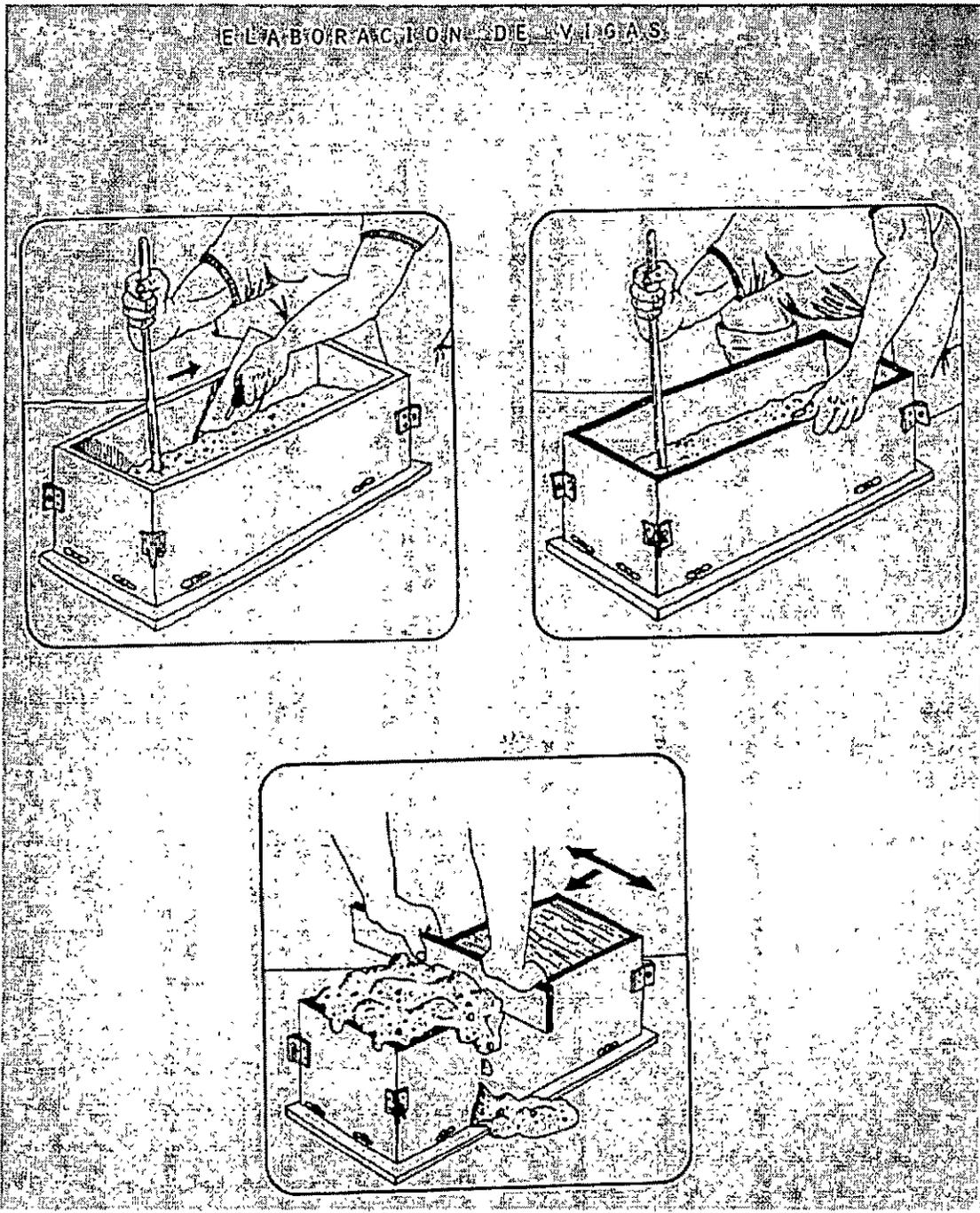


Figura 32

IV.3.2.11. CURADO DE ESPECIMENES DE CONCRETO

Se retiran los especímenes de los moldes después de que haya pasado un lapso de tiempo comprendido entre las 16 y 48 hrs., posterior a su elaboración.

Los especímenes que se empleen para comprobar si las porciones de la mezcla son adecuadas para una determinada resistencia o como base para aceptación o para control de calidad, inmediatamente después del desmoldeado se trasladarán y almacenarán en una condición húmeda a una temperatura de $23 \pm 2^\circ \text{C}$ (SCT: 18 a 24°C) en el laboratorio.

Los especímenes elaborados para determinar el momento de retirar la cimbra o para poner en servicio una estructura, deberán recibir el mismo tratamiento de curado que dicha estructura y finalmente almacenarse en agua con cal diluida en el laboratorio, durante 24 ± 4 hr. inmediatamente antes de la prueba.

Los especímenes deberán trasladarse del campo al laboratorio en cajas resistentes de madera u otros recipientes adecuados, rodeados con arena o aserrín u otros materiales de empaque adecuados, en condiciones húmedas; las vigas deberán transportarse con el eje longitudinal en posición vertical.

La condición húmeda se puede lograr por inmersión total en agua con sal diluida o por medio de un cuarto húmedo con una humedad relativa de 95 a 100%. Los especímenes en proceso de curado no deberán exponerse al goteo o corriente de agua.

La prueba de resistencia acelerada ha alcanzado la perfección y esta lista para ser explotada. La experiencia adquirida en el uso de estas pruebas en Canadá, México, E.U.A., y otras ciudades, indica que dichas pruebas son medios seguros para controlar la calidad del concreto y puede indicarle a los ingenieros tanto acerca la resistencia última del concreto como lo hacen las pruebas de resistencia a 28 días. La diferencia es que ellos lo hacen en 26 o 27 días mas rápido y con igual seguridad.

Los tres procedimientos ASTM, tienen sus limitaciones. Por lo tanto, la selección de cualquier procedimiento de prueba en particular, dependerá de las condiciones de trabajo y de las preferencias de los superintendentes de trabajo e ingenieros En la Tabla 17 se detallan los procedimientos.

TABLA 17.- DESCRIPCION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CURADO ACELERADO

Procedimiento	Moldes	Medio de curado acelerado	Temperatura de curado acelerado °C (K)	Edad a la que comienza el curado	Duración Del curado acelerado	Edad al momento de la prueba
A.- agua caliente	Reutilizables o para usarse una sola vez	Agua	35°C (308 K)	Inmediatamente después de colar	23.5 horas \pm 30 minutos	24 horas \pm 30 minutos
B.- agua en ebullición	Reutilizables o para usarse una sola vez	Agua	Uno o dos grados debajo de la temperatura de ebullición	23 horas \pm 15 minutos después de colar	3.5 horas \pm 5 minutos	28.5 horas \pm 15 minutos
C.- autógeno	Para usarse una sola vez	Calor de hidratación	Temperatura inicial del concreto incrementada por el calor de hidratación	Inmediatamente después de colar	48 horas \pm 15 minutos	49 horas \pm 15 minutos

IV.3.2.12. CABECEO DE ESPECIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO

Para el cabeceo de especímenes cilíndricos se puede emplear cemento hidráulico para especímenes recién moldeados o azufre, para aquellos que ya están endurecidos.

El cabeceo de especímenes cilíndricos recién moldeados, se realiza aplicando delgadas capas de una pasta de cemento en la superficie superior de éste, después de 2 ó 4 horas de elaborados; esta operación se efectúa estando el espécimen todavía en el molde. Se puede emplear cemento Pórtland tipo I o III.

El cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto endurecido se realiza aplicando una capa de azufre fundido de 3 mm, asegurando de que la capa no presente desniveles mayores a 0.05 mm.

La placa que se emplea para cabecear cilindros (cabeceador) deberá tener un diámetro por lo menos 2.5 mm mayor que el del espécimen y su superficie de asiento no deberá apartarse de un plano en más de 0.5 mm en 150 mm; asimismo, la placa de base deberá estar libre de estrías, ranuras o depresiones mayores de 0.25 mm de profundidad en 32 mm² de su área.

El azufre que se emplee deberá tener una resistencia mínima a la compresión de 350 kg/cm² a la edad de 2 hr.

IV.3.3. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

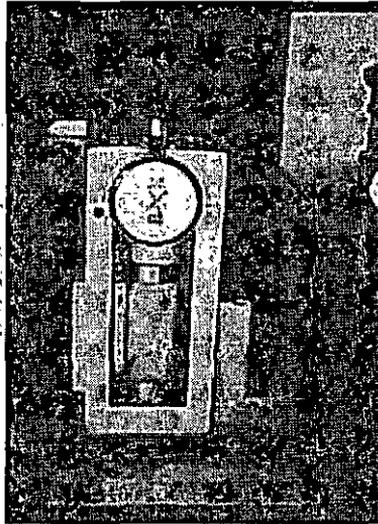
La máquina de ensaye podrá ser de cualquier tipo que tenga capacidad suficiente que permita aplicar las cargas con la rapidez que se requiere, deberá estar equipada con un aplaca de base y una carga con asiento esférico.

Se coloca el espécimen en la máquina de prueba alineando su eje con el centro de empuje del bloque de asiento esférico.

Se aplica carga al espécimen con una rapidez constante dentro de un margen de 1.5 a 3.5 kg/cm² por segundo.

Durante la aplicación de la primera mitad de la carga máxima, se deberá permitir una rapidez de carga mayor.

La resistencia del espécimen se calculará dividiendo la carga máxima aplicada entre el área del cilindro.



IV. 3.4. PRUEBA DE FLEXION EN VIGA CON CARGA EN LOS TERCIOS

Se preparará el espécimen marcando los cuatro puntos para la aplicación de carga, los cuales se ubicarán a una distancia de $L/3$ (Figura 33).

Se colocará el espécimen de lado respecto de la posición en que haya sido colado y centrarse sobre los bloques de apoyo.

Si no se obtiene un contacto completo entre el espécimen y los bloques de aplicación de carga y los apoyos, se deberán uniformizar estas áreas de contacto empleando yeso o azufre.

La carga se debe aplicar rápidamente hasta aproximadamente el 50% de la carga de ruptura.

Se sigue aplicando carga continuamente a una velocidad que constantemente aumente el esfuerzo de las fibras extremas a no más de 10 kg/cm^2 por minuto.

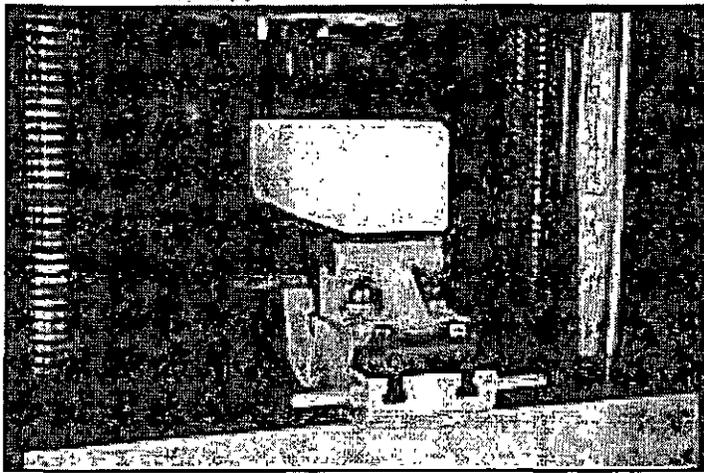
Se calcula el módulo de ruptura (R) con el ancho y el peralte promedio, obtenidos de las mediciones efectuadas en el centro y en los extremos de la viga.

Si la fractura se presenta en el tercio central, el módulo de ruptura se determinará con la fórmula

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Si la fractura ocurre fuera del tercio central, en no más del 5% de su longitud, el módulo de ruptura se calculará con la fórmula

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$



IV.3.5. PRUEBA DE FLEXION EN VIGA CON CARGA AL CENTRO

Se preparará el espécimen marcando los tres puntos para la aplicación de carga, los cuales se ubicarán a una distancia de $L/2$ (Figura 34).

Se pondrá en contacto el bloque de aplicación de carga con la superficie superior, a la mitad de la longitud entre apoyos.

Si no se obtiene un contacto completo entre el espécimen y el bloque de aplicación de carga o los apoyos, se deberán uniformizar estas áreas de contacto empleando yeso o azufre.

La carga se deberá aplicar rápidamente hasta aproximadamente el 50% de la carga de ruptura.

Se sigue aplicando carga continuamente a una velocidad que constantemente aumente el esfuerzo de las fibras extremas a no más de 10 kg/cm^2 por minuto.

Se calcula el módulo de ruptura (R) con el ancho y el peralte promedio obtenidos de las mediciones efectuadas en el centro y en los extremos de la viga, aplicando la fórmula:

$$R = 3 PL / 2bd^2$$

En la Figura 35 se muestra la relación entre la resistencia a la flexión (Módulo de Ruptura) y vigas de tamaños diferentes probadas con los dos procedimientos de carga a los tercios y al centro.

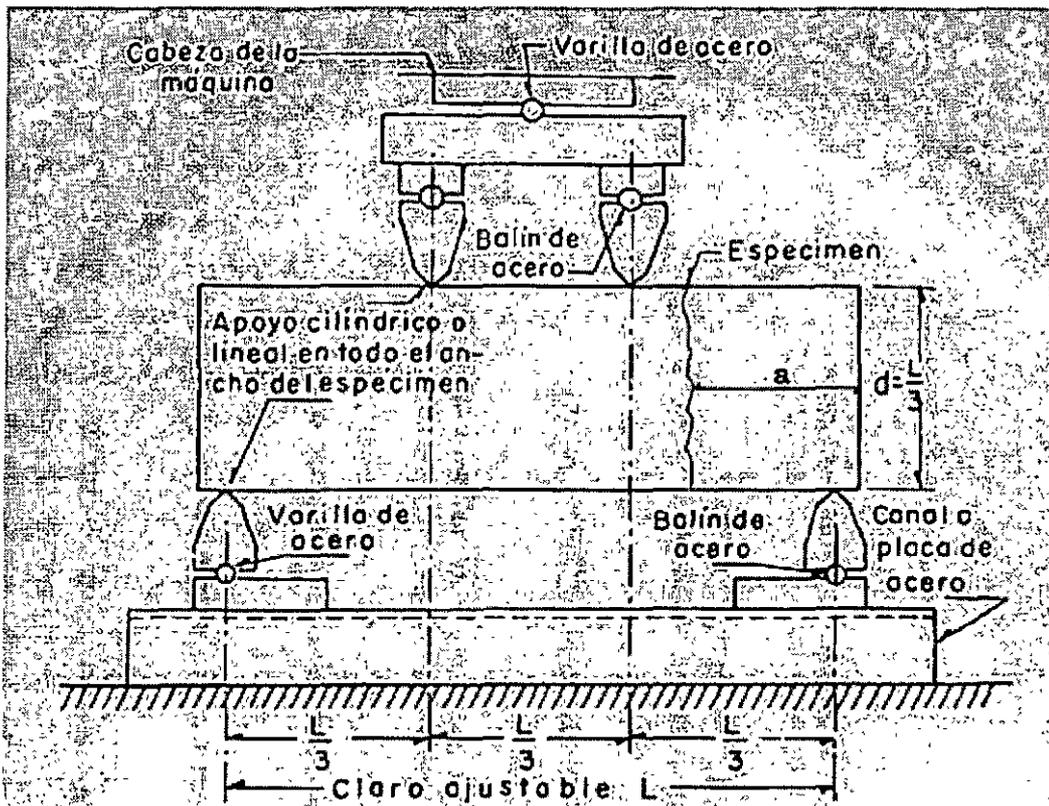


Fig 33 Diagrama del aparato para la prueba de flexión de concreto por el método de carga en los tercios.

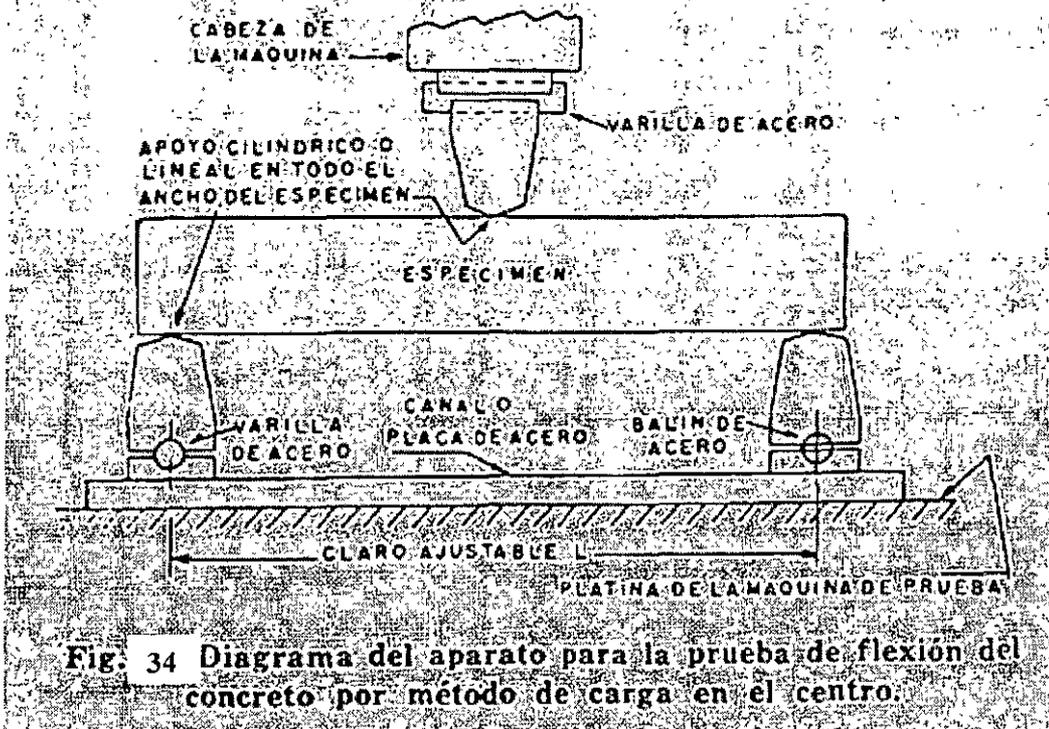


Fig: 34 Diagrama del aparato para la prueba de flexión del concreto por método de carga en el centro.

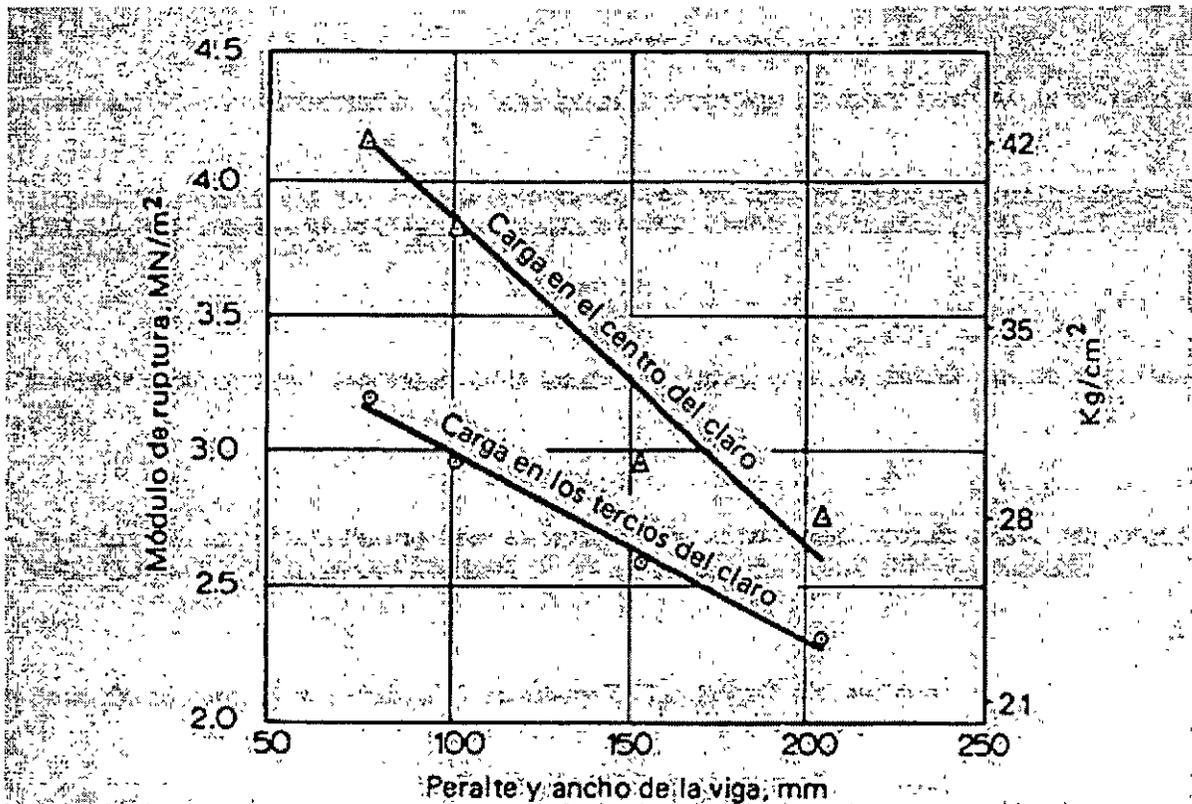


Figura 35 Módulo de ruptura de vigas de diferentes tamaños, sometidas a cargas concentradas en el centro y a los tercios del claro. 8:20 (Crown copyright)

IV.3.6. PROPORCIONAMIENTO DEL CONCRETO

IV.3.6.1. CONTROL DE CALIDAD

La calidad es la característica medible o contable de un producto.

La calidad siempre está sujeta a cierta variación, que pueden deberse a dos tipos de causas: "asignables y aleatorias".

Las causas asignables, pueden atribuirse a ciertos factores específicos, tales como falta de adiestramiento de los operadores, defectos en la maquinaria o en las materias primas, etc.

Las causas aleatorias son un conjunto de causas desconocidas e inevitables cuyos efectos son pequeños y pueden predecirse por medio de la teoría probabilística, en términos generales.

En un proceso productivo:

- Si las únicas causas de variación son las aleatorias, se dice que está bajo control estadístico.

- Si Intervienen una o más causas asignables, se dice que está fuera de control estadístico.

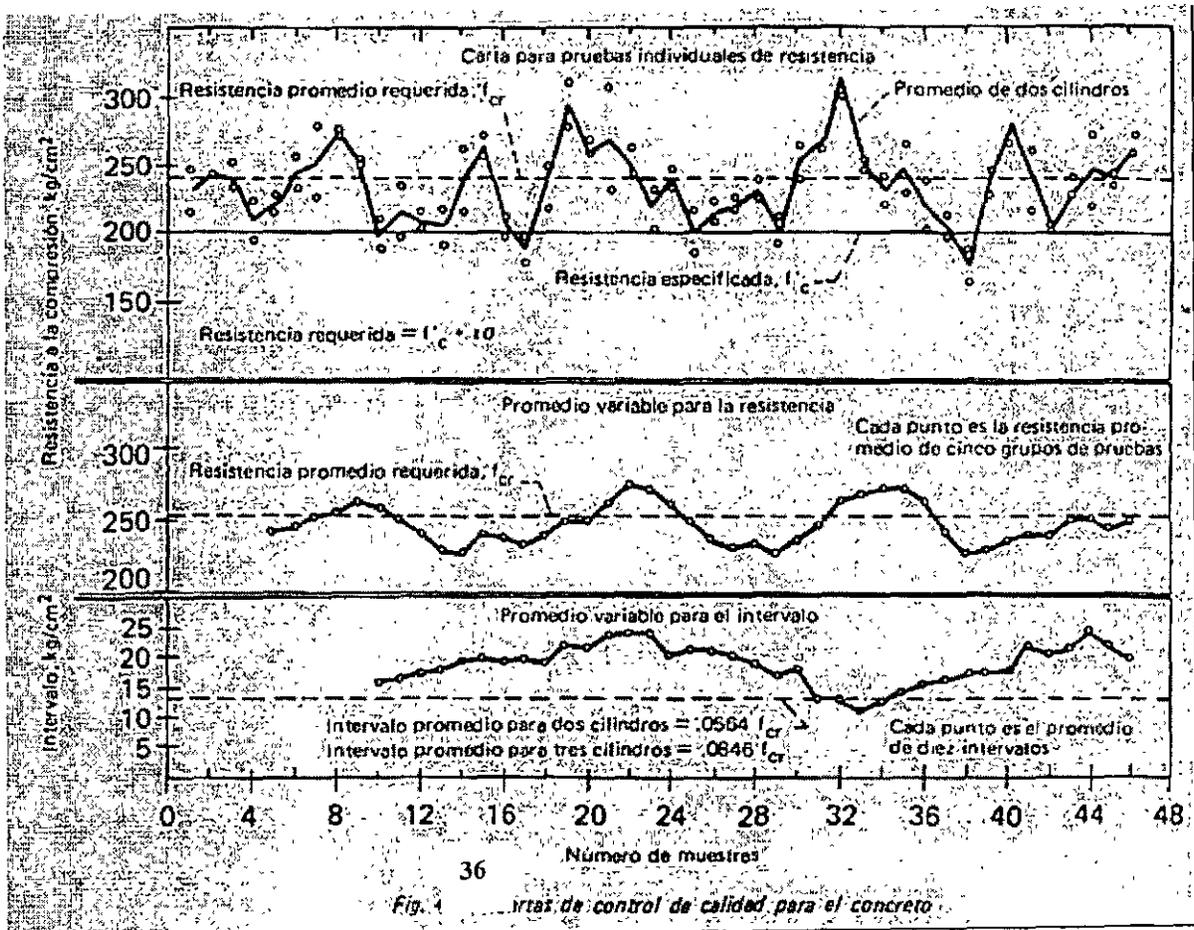
CRITERIOS PARA ESTABLECER EL CONTROL DE CALIDAD MEDIANTE CARTAS DE CONTROL DE CONTROL

Para establecer el control estadístico de calidad de un producto, generalmente se emplean, para el análisis de datos, las técnicas estadísticas como las cartas de control para variables y para atributos, límites de tolerancia y muestreo de aceptación.

La característica fundamental de las cartas de control es la de inferir sobre el proceso de producción en base a muestras tomadas de dicha producción.

Para establecer cartas de control de una característica, sea medible o contable, se supone que sólo actúan causas aleatorias.

Para el propósito del control de calidad del concreto, las técnicas aplicables son las cartas de control y los límites de tolerancia. En la Figura 36 se presentan un ejemplo de gráficas de control del concreto.



IV.3.6.2. BASES PARA ESTABLECER LOS REQUISITOS DE RESISTENCIA

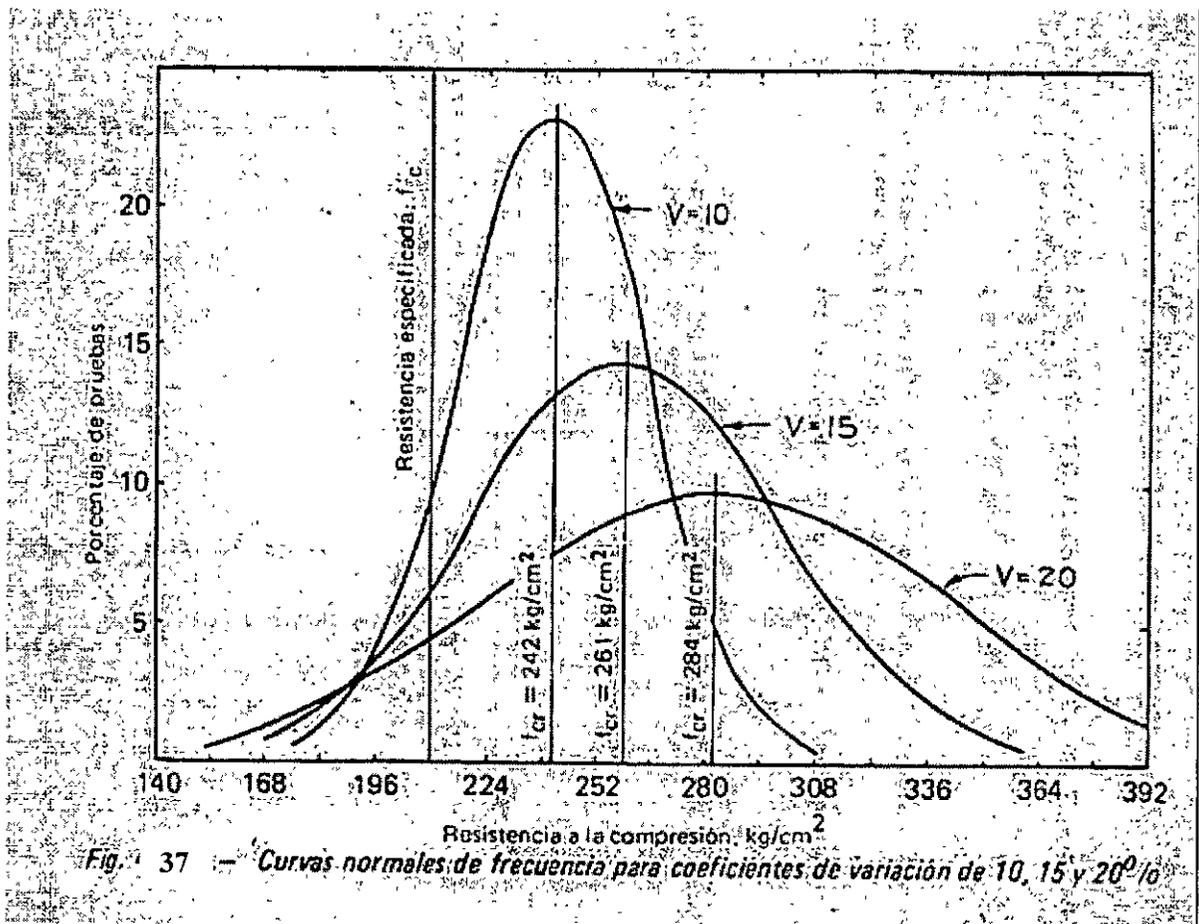
En el Reglamento ACI-318-77 se presentan los criterios par establecer las especificaciones y de mantener la uniformidad requerida del concreto. Los valores enlistados representan los máximos valores promedios requeridos para cumplir los tres criterios siguientes; utilizando la desviación estándar máximo de la amplitud de variación en cada caso (Figura 37).

- Una probabilidad de 1 en 10 de que la resistencia en una prueba individual aleatoria sea inferior a f'_c

$$F_{cr} = f'_c + t \sigma = f'_c + 1.2825 \sigma$$

- Una probabilidad de 1 en 100 de que un promedio de 3 pruebas consecutivas de resistencia sea inferior a la f'_c

$$F_{cr} = f'_c + \frac{1\sigma}{\sqrt{3}} = f'_c + \frac{2.326\sigma}{\sqrt{3}} = f'_c + 1.343 \sigma$$



- Una probabilidad de 1 en 100 de que una prueba de resistencia individual que de por debajo de $f'c - 35 \text{ Kg/cm}^2$

$$F_{cr} = f'c - 35 + t \sigma = f'c - 35 + 2.326 \sigma$$

El factor t se obtiene de la Tabla 18 definida por un análisis de la teoría de probabilidades, para una distribución de tipo normal.

Tabla 18

PORCENTAJES DE PRUEBAS QUE DENTRO DE LOS LIMITES $X \pm t$	DE CAEN LOS	PROBABILIDAD DE QUE CAIGAN POR DEBAJO DEL LIMITE INFERIOR	t
40		3 en 10	0.25
50		en 10	0.67
60		2 en 10	0.84
68.27		1 en 6.3	1.00
70		1.5 en 10	1.04
80		1 en 10	1.28
90		1 en 20	1.65
95		1 en 40	1.96
95.45		1 en 44	2.00
98.0		1 en 100	2.33
99.0		1 en 200	2.58
99.73		1 en 741	3.00

IV.3.6.3. PROPORCIONAMIENTO CON BASE A LA EXPERIENCIA DE CAMPO

En el Reglamento ACI-318-77 se indica que cuando se tenga un registro de las instalaciones para la producción de concreto, con base en por lo menos 30 pruebas consecutivas de resistencia, la resistencia a la compresión promedio requerida para seleccionar la proporción deberá exceder a la $f'c$ por lo menos, como se indica en la Tabla 19:

TABLA 19.- RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA

DESVIACIÓN ESTANDAR	RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA
20 kg/cm^2 o menos	$f'c + 30 \text{ kg/cm}^2$
20 - 30	$f'c + 40 \text{ kg/cm}^2$
30 - 35	$f'c + 50 \text{ kg/cm}^2$
35 - 40	$f'c + 65 \text{ kg/cm}^2$

40 desconocida	$f'c + 85 \text{ kg/cm}^2$ $f'c + 85 \text{ kg/cm}^2$
-------------------	--

Las pruebas de resistencia para establecer la desviación estándar deben verificarse en concretos producidos para obtener una resistencia o resistencias específicas hasta de 70 kg/cm² arriba de lo especificado.

IV.3.6.4. SELECCIÓN DE LAS PROPORCIONES DE LA MEZCLA DE CONCRETO

En el Reglamento ACI-319-77 se indica que el proporcionamiento de los materiales para el concreto, deberán establecerse con el fin de lograr:

- Trabajabilidad y consistencia
- Resistencia a la congelación y deshielo y otras condiciones hostiles
- Requisitos de la prueba de resistencia

IV.3.6.5. PROPORCIONAMIENTO POR MEDIO DE LA RELACIÓN AGUA / CEMENTO

En el Reglamento ACI-318-77 se indica que si no se cuenta con datos adecuados en un registro de 30 pruebas consecutivas o mezclas de pruebas de laboratorio, puede otorgarse permiso para basar las proporciones del concreto en los límites de relación agua/cemento que se muestran en la tabla 20:

TABLA 20.- TOLERANCIAS MÁXIMAS EN LA RELACION AGUA / CEMENTO
(CUANDO NO EXISTEN DATOS DE RESISTENCIA DE MEZCLAS DE PRUEBAS O EXPERIENCIA DE CAMPO)

Resistencia a la compresión especificada, $f'c \text{ kg/cm}^2$ *	Tolerancias máximas en la relación agua / cemento			
	Concreto sin aire incluido		Concreto con aire incluido	
	Relación absoluta, en peso	Litros por saco de cemento de 50 Kg.	Relación absoluta, en peso	Litros por saco de cemento de 50 Kg.
175	0.65	32.4	0.54	27.0
210	0.58	29.3	0.46	23.0
245	0.51	25.7	0.40	20.0
280	0.44	22.2	0.35	17.5
315	0.38	19.1	0.30	15.0
350	0.31	15.5	**	**

* Resistencia a los 28 días para cementos que cumplen lo límites de resistencia de la Norma ASTM C150 Tipo I, IA, -II O IIA, y resistencia a los 7 días para cementos Tipo III

o IIIA; con la mayoría de los materiales, las relaciones agua / cemento dadas proporcionan resistencias promedio mayores que las indicadas en la sección 4.2.2.

** Las proporciones de mezclas de concreto para resistencias mayores de 300 kg/cm², con aire incluido, deben basarse en los métodos de la sección 4.2.2 o 4.2.3.

El concreto proporcionado por medio de los límites de la relación agua / cemento, también deberán apegarse a los requisitos para exposición especial y a los criterios de las pruebas de resistencia a la compresión.

IV.3.6.6. PROPORCIONAMIENTO POR MEDIO DE MEZCLAS DE PRUEBAS DE LABORATORIO

En el Reglamento ACI-318-77 se indica que cuando se hacen mezclas de prueba de laboratorio:

- El contenido de aire estará dentro de $\pm 0.5\%$ y el revenimiento en ± 2 cm del máximo permitido por las especificaciones.
- Debe establecerse una curva que muestra la variación agua / cemento (o el contenido del cemento) y la resistencia a la compresión (Figura 38).
- La curva debe basarse por lo menos en tres puntos que representen mezclas cuya resistencias a la compresión resulten por encima y por debajo de la resistencia promedio (Figura 39).
- La relación agua/cemento máxima permisible (o el contenido mínimo de cemento), será la que se obtenga de la curva mencionada en el punto anterior, a menos que se requiera una relación agua / cemento menor o una resistencia mayor de acuerdo con los requisitos para exposición especial.

IV.3.6.7. REQUISITOS DE EXPOSICIÓN ESPECIAL

En el Reglamento ACI-318-77 se indica que el concreto que después de curado va a estar sujeto a temperaturas de congelación mientras está húmedo deberá tener aire incluido, de acuerdo con lo indicado en la tabla 21:

TABLA 21. CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA DIVERSOS TAMAÑOS DE AGREGADO GRUESO

Tamaño máximo nominal del agregado grueso en mm	Contenido del aire total, en porcentajes por volumen
10	6 a 9
13	5 a 9
20	4 a 8
25	3.5 a 6.5
40	3 a 6
50	2.5 a 5.5
75	1.5 a 4.5

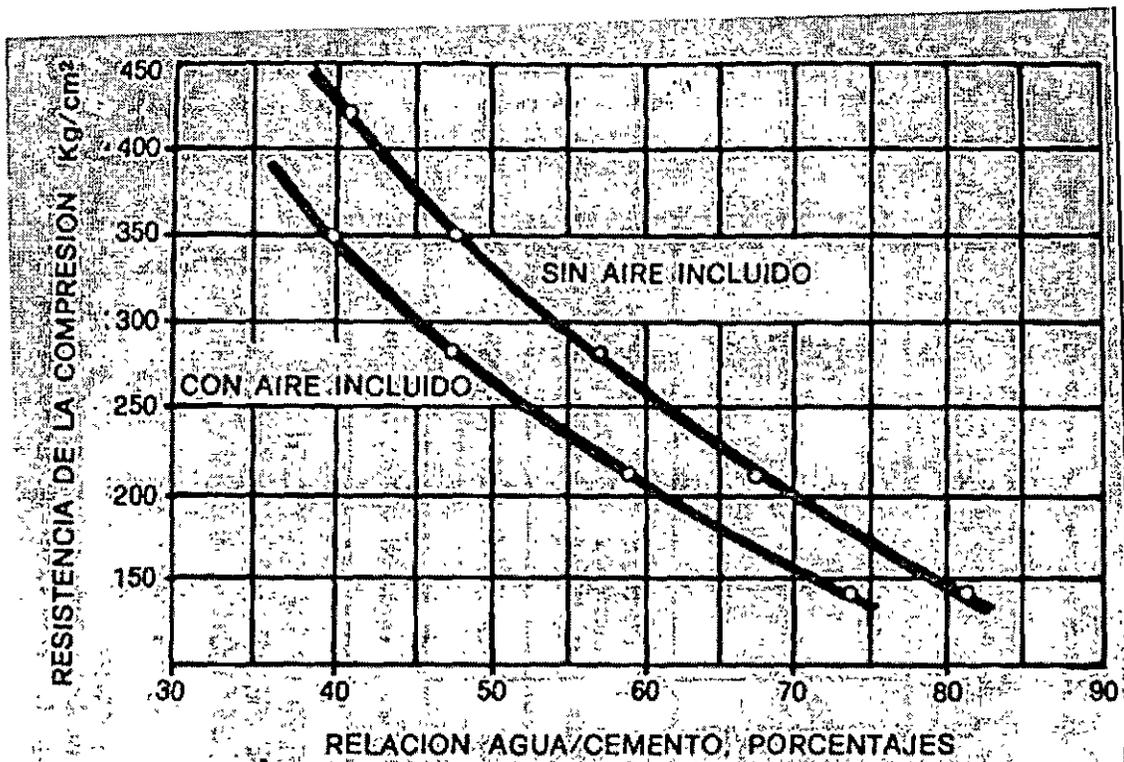


Fig 38 Curvas típicas de resistencia y relación agua/cemento

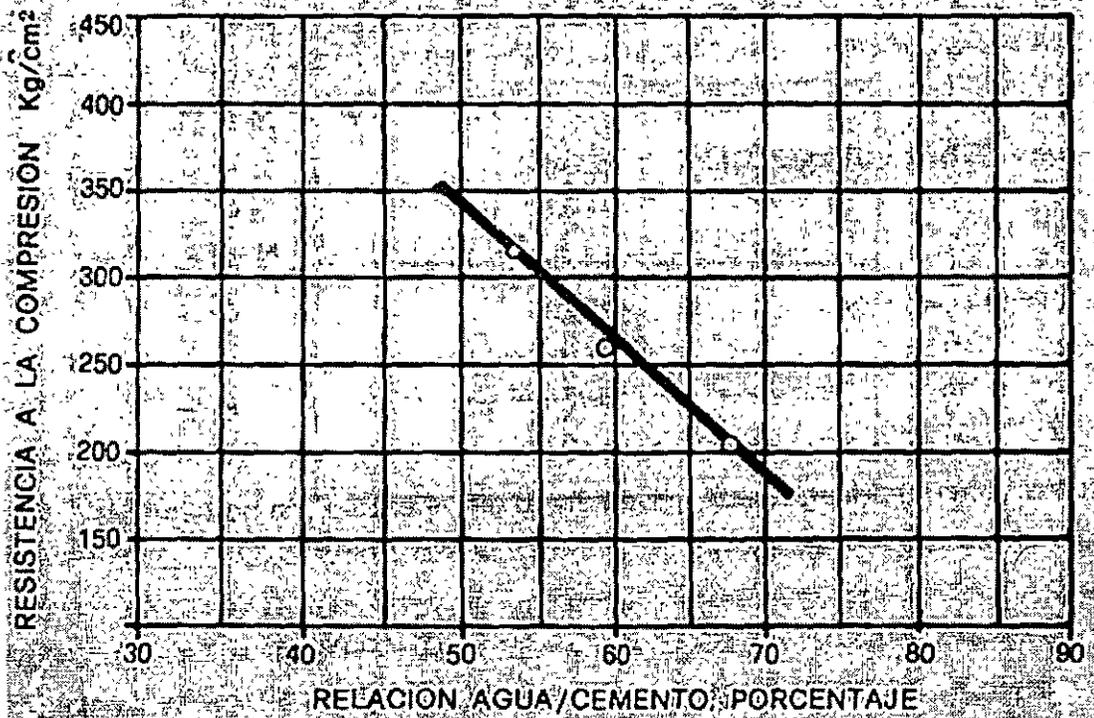


Fig 39 Curva típica de tres puntos

Para concreto hecho con agregado de peso normal , la relación agua / cemento no deberá exceder de 0.53 por peso.

Cuando el concreto esté hecho con agregados ligeros, la resistencia a la compresión específica $f'c$ debe ser de por lo menos 200 kg/cm^2 .

Para que el concreto sea impermeable debe apegarse a lo siguiente:

- Concreto elaborado con agregado de peso normal

Si va a estar expuesto al agua dulce, relación agua /cemento de 0.50 máxima

Si va a estar expuesto al agua de mar, relación agua / cemento = 0.45

- Concreto elaborado con agregado ligero

Si va a estar expuesto a agua dulce, $f'c \geq 260 \text{ Kg./ cm}^2$

Si va a estar expuesto a agua de mar, $f'c \geq 280 \text{ kg/cm}^2$

Para concreto que va a estar expuesto a concentraciones perjudiciales de soluciones que contengan sulfatos, debe hacerse con cemento resistente a los sulfatos, y además:

- Para concreto hecho con agregado de peso normal

Relación agua / cemento por peso_ 0.50

- Para concreto hecho con agregado ligero

Resistencia a la compresión $f'c$ _ 260 kg/cm^2

IV.3.6.8. DOSIFICACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO

En la Norma SCT 3.01.02 se indica:

- La dosificación de los materiales requeridos en la elaboración del concreto para la $f'c$ fijada por el proyecto y/o ordenada por la SCT, será determinada por el contratista bajo su exclusiva responsabilidad.
- Las cantidades de los materiales que intervengan en la dosificación del concreto podrán ser medidas en peso o en volumen.
- Podrán dosificarse por volumen los concretos con una $f'c$ menor o igual a 150 kg/cm^2 , siempre y cuando la densidad de los agregados sean mayor o igual a 2.3.

IV.3.7. EJEMPLO SOBRE UN PROPORCIONAMIENTO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO.

Concreto que se colocará en muros cuyos espesores serán entre 46 y 76 cm, ligeramente reforzados y que estarán expuestos a condiciones severas de temperatura en agua pura donde fluctúa el nivel, suponiendo agregados con las características siguientes:

Grava: TM - 40 mm		Arena: MF - 2.60
P.V.S.S.	1750 kg/m ³	1,460 kg/m ³
Gravedad Esp.	2.71	2.66
Absorción	0.5%	1.0
Cont. de Humedad	1.0 %	4.0 %

Dosificación:

De la tabla 22.- Relación a/c – 0.50 (uso de aire incluido)

De la tabla 23.- Revenimiento 5 a 7.5, colocación por vibrado

De la tabla 24.- TM – 40 mm es satisfactorio.

De la tabla 25.- Aire incluido – 4.5% Cant. De agua – 156 l/m³ (Rev. 5-7.5)

De la tabla 26.- Cant. De grava 0.73 m³/m³

Contenido de cemento: $156/0.50 = 312 \text{ kg/m}^3$ a/c = 312 (*)

Grava : $0.73 \times 1,750 = 1,278 \text{ kg/m}^3$

Cálculo de la arena (por diferencia de pesos):

Ingrediente	Peso, kg/m ³	
Agua	156	
Cemento	312 (*)	a/c relación 0.50
Grava	1,278	
Total menos arena	<hr/> 1,746	

Peso unitario del concreto: 2,364 (tabla 27)

Arena: $2,364 - 1,746 = 618$

Corrección por humedad de los materiales pétreos:

Grava: 1.0 - 0.5 = 0.5%
 Arena: 4.0 - 1.0 = 3.0%
 Agua:

$$1,278 + (1,278 \times 0.005) = 1,284 \text{ Kg. (*)}$$

$$618 + (618 \times 0.03) = 637 \text{ Kg. (*)}$$

$$156 - 6 - 19 = 131 \text{ L (*)}$$

(*) cantidades para mezcla de prueba.

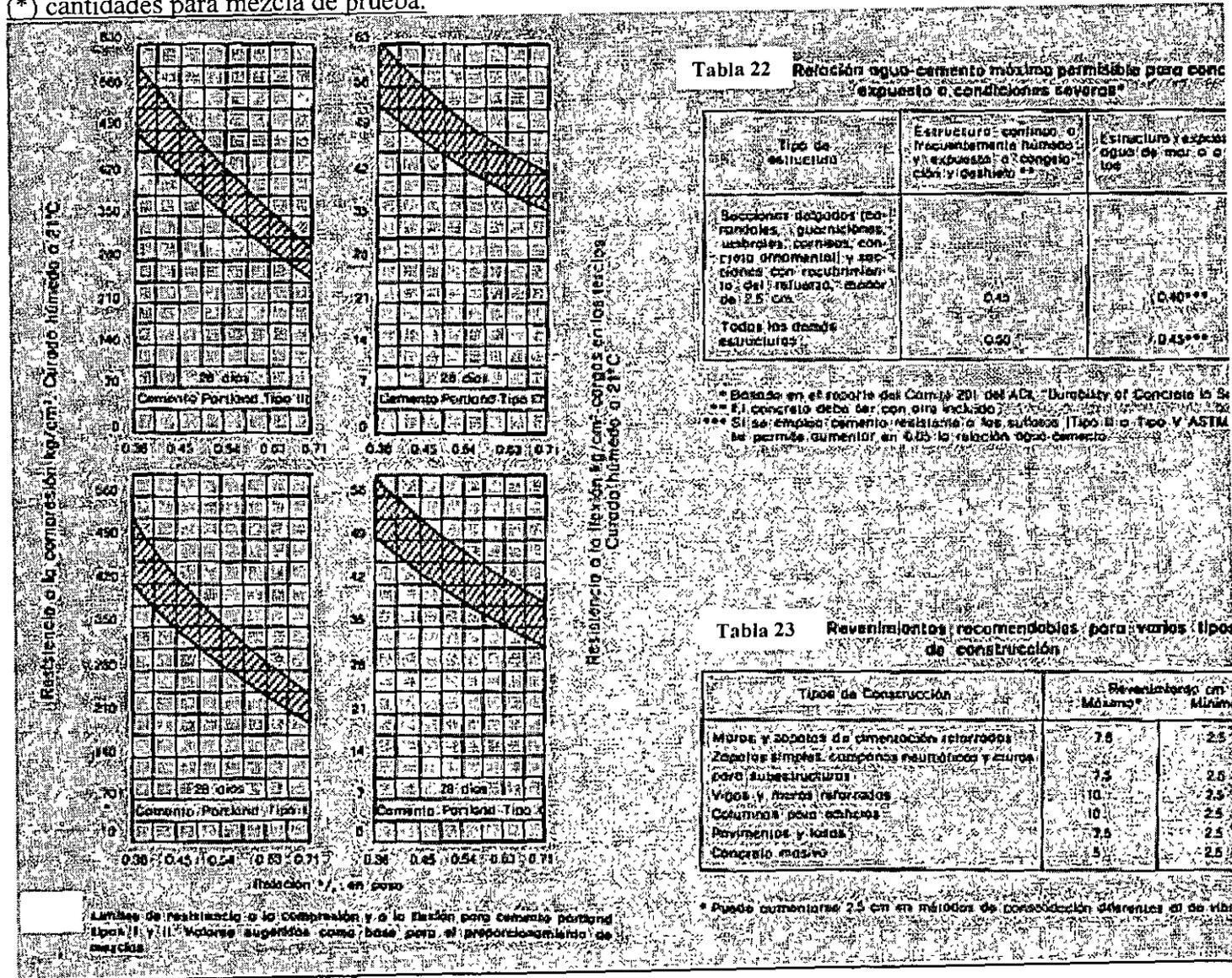


Tabla 22 Relación agua-cemento máxima permisible para concreto expuesto a condiciones severas*

Tipo de estructura	Estructura continua o frecuentemente húmeda y expuesta a congelación y/o salinidad**	Estructuras expuestas a agua de mar o a los
Secciones de puentes (columnas, pilas, tabiques, coronas, concreto ornamental) y secciones con recubrimiento del refuerzo menor de 2.5 cm.	0.45	0.40***
Todas las demás estructuras	0.50	0.45***

* Basada en el reporte del Comité 201 del ACI, "Durability of Concrete in Severe Environments".
 ** El concreto debe ser con aire incluido.
 *** Si se emplea cemento resistente a los sulfatos (Tipo III o Tipo V ASTM) se permite aumentar en 0.05 la relación agua-cemento.

Tabla 23 Revestimientos recomendados para varios tipos de construcción

Tipo de Construcción	Revestimiento en Milímetros	
	Máximo*	Mínimo
Muros y soportales de construcción reforzada	7.5	2.5
Zócalos simples, cornisas, rematados y curvas para subestructuras	7.5	2.5
Vigas y Armas reforzadas	10	2.5
Columnas para techos	10	2.5
Pavimentos y baldas	7.5	2.5
Concreto masivo	5	2.5

* Puede aumentarse 2.5 cm en muros de construcción diferentes al de vibrado.

Tabla 24

Tamaños máximos del agregado recomendable para varios tipos de construcción

Distancia máxima de la superficie en cm	Tamaño máximo de agregado - mm			
	Muros, revestidos, pisos, y estribos	Muros sin revestidos	Losas macizas reforzadas	Losas con poco refuerzo o sin él
0.5 a 12.5	13 a 20	20	20 a 25	20 a 40
15 a 20	20 a 40	40	40	40 a 75
20 a 75	40 a 75	75	40 a 75	75
Mayor de 75	75 a 75	150	40 a 75	75 a 150

Basado en superficies cuadradas

Tabla 25 Requisitos aproximados de agua de mezclada y de contenido de aire para diferentes reventamientos y tamaños máximos de agregados

Reventamiento en cm	Aguas libres por metro cúbico de concreto para el tamaño máximo de agregado indicado en mm						
	10	13	20	25	40	50	75
Concreto sin aire incluido							
2.5 a 7.5	201	198	187	178	166	156	142
7.5 a 15	228	216	204	193	175	160	151
15 a 22.5	231	223	211	202	177	161	153
Cantidad de aire requerido en el concreto sin espesores de aire en por ciento	5	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3
Concreto con aire incluido							
2.5 a 7.5	181	178	166	150	148	142	133
7.5 a 15	201	183	151	125	165	157	148
15 a 22.5	216	204	192	184	172	162	160
Presión total recomendada de aire en por ciento	10	7	6	5	4.5	4	3.5

Estos contenidos de agua de mezclada se basan en el caso de las relaciones del cemento para las relaciones del concreto. Son máximas para el agregado grueso angular, razonablemente bien formado y producido dentro de los límites de las especificaciones aceptadas.

Los valores de reventamiento para concretos con agregado mayor de 40 mm están basados en pruebas de reventamiento de concreto cubo a fin de quitar las partículas mayores de 40 mm.

Tabla 26

Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Tamaño máximo de agregado en mm	Volumen de agregado grueso seco y variado en un metro cúbico de concreto para formas de diferentes longitudes			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.60	0.49	0.42	0.4
13	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.58	0.54	0.62	0.6
25	0.71	0.62	0.67	0.6
40	0.75	0.73	0.71	0.6
50	0.78	0.76	0.74	0.7
75	0.82	0.80	0.78	0.71
100	0.87	0.85	0.83	0.6

Los volúmenes están basados considerando a los agregados en condiciones variadas como está definido en ASTM C27 "Unit Weight of Aggregate". Estos volúmenes se han seleccionado de relaciones empíricas para producir concreto de trabajabilidad adecuada para construcciones reforzadas usuales. Los volúmenes pueden aumentarse en un 10 por ciento para concretos de mayor calidad, tal como algunas veces es necesario cuando la colocación es mediante bomba o pueden reducirse en un 10 por ciento.

Tabla 27

Primer peso estimativo de concreto fresco

Tamaño máximo de agregado en mm	Primer peso estimativo de concreto fresco (kg por metro cúbico)	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
10	2260	2100
13	2310	2230
20	2330	2300
25	2380	2310
40	2410	2350
50	2440	2370
75	2470	2400
100	2510	2440

Estos valores fueron calculados basados en un contenido de cemento de 133 kg de cemento por metro cúbico de concreto, un reventamiento de 7.5 a 10 cm según la tabla de agua requerida está basada en un reventamiento de 7.5 a 10 cm según la tabla de agua. El primer peso estimativo se puede corregir con el mismo factor cuando la información necesaria por cada 10 kg de agregado en el concreto es de 1.5 kg de agregado por cada 10 kg de agregado en el concreto. El peso por metro cúbico en 15 kg en el mismo concreto por cada 100 kg de agregado en el concreto de cemento de 133 kg de cemento. El peso por metro cúbico de concreto en el mismo sentido por cada 0.1 que el agregado se debe de corregir el peso de 3.7 kg por cada 100 kg de concreto en 60 kg de el mismo sentido.