

**III.- ENSAYES DE CAMPO Y LABORATORIO EN EL CONTROL
DE CALIDAD DE OBRA**

III.1.- Compactación de materiales Térreos

Definición:

Se entiende por compactación la aplicación mecánica de cierta energía o cantidad de trabajo por unidad de volumen, para lograr una reducción de los espacios entre las partículas sólidas de un suelo, con el objeto de mejorar sus características mecánicas. Al obtenerse un mejor acomodo de las partículas sólidas y la expulsión del aire que contiene el suelo, se produce un aumento de su peso específico o volumétrico.

III.1.1.- Parámetros que influyen en el control de la compactación en obra.

En la actualidad el control de compactación de campo se hace con base en mediciones de peso volumétrico seco del material tratado en la obra.

El peso volumétrico de campo se fija en base a una prueba de laboratorio; la obtención del peso volumétrico seco máximo.

III.1.1.1.- Peso volumétrico o peso específico del suelo. Es la relación entre el peso de la masa y el volumen que ocupa, expresándose de la siguiente forma:

$$\gamma_m = W_m / V_m$$

donde:

γ_m = Peso volumétrico de la masa de suelo (Kg./m³)

W_m = Peso de la masa del suelo (Kg.)

V_m = volumen de la masa del suelo (m³)

A partir del peso volumétrico de la masa del suelo (γ_m) y su correspondiente contenido de agua (ω), se puede determinar el peso volumétrico seco (γ_d) en la forma siguiente:

$$\gamma_d = \gamma_m / (1 + \omega).$$

donde: "ω" se define como la relación de la cantidad de agua con los sólidos, en peso.

Siempre sucede que el peso volumétrico de campo no sea idéntico al peso volumétrico seco máximo. La diferencia entre ambos valores tradicionalmente se mide a través del concepto grado de compactación.

III.1.1.2.- Grado de compactación de un suelo.

Es la relación expresada en porcentaje entre el peso volumétrico seco del lugar y el correspondiente peso volumétrico seco máximo obtenido en laboratorio, expresándose de la siguiente forma:

$$G. C. = (\gamma_d / \gamma_{d \max}) * 100$$

donde:

G. C. = Grado de compactación del suelo (%).

γ_d = peso volumétrico seco del lugar (Kg./m^3)

$\gamma_{d \max}$ = peso volumétrico seco máximo del suelo (Kg./m^3).

Es practica común el obtener el peso volumétrico haciendo una pequeña excavación que se conoce con el nombre de cala volumétrica, de la cual se obtiene el peso del material extraído y el volumen de dicha excavación.

III.1.2.- Métodos para obtener el peso volumétrico de campo.

Existen gran diversidad de métodos para la obtención del peso volumétrico en campo, los cuales en determinado momento deberán adaptarse al tipo de material y a las condiciones en que éste se encuentre. La determinación del peso específico o volumétrico en el lugar, consiste esencialmente hacer una excavación en el sitio de prueba elegido (cala volumétrica), pesar el material extraído y relacionar este peso con el volumen del sondeo. Dicho volumen se determinara con los siguientes métodos:

III.1.2.1.- Cono de arena:

Es un aparato para medir volúmenes con arena de peso volumétrico conocido. Esto se logra llenando con arena el frasco del dispositivo, se montan los conos en la boca del frasco y se cierra la válvula, se pesa el dispositivo conteniendo la arena. Se invierte el dispositivo sobre la base metálica colocada en el sondeo (cala volumétrica), se abre la válvula y se cierra una vez llenado el sondeo y el cono. Por diferencia de

peso, inicial y final del dispositivo, relacionándolo con el peso volumétrico de la arena se determina el volumen de arena desalojado por el dispositivo restándole el volumen del cono obtenemos el volumen del sondeo.

III.1.2.2.- Trompa y Arena

Dispositivo para colocar la arena en el sondeo que consiste esencialmente en un recipiente en forma cilíndrica con fondo cónico, y una extensión de tubo metálico flexible. Primeramente se verifica el peso específico de la arena seca a utilizar. Para medir el volumen de la cala volumétrica, se pesa arena seca en una cantidad estimada superior en 25% a la que se requiere para llenar el volumen de la cala; se anota su peso y con ella se alimenta el dispositivo. Se introduce la trompa del dispositivo dentro del sondeo con su extremo levantado hasta tocar el fondo del sondeo; simultáneamente y en forma gradual se levanta el dispositivo y se suelta el cordel que sujeta la trompa, hasta que este quede en posición vertical y deje salir la arena con una altura mínima de caída, distribuyendo la arena en toda la sección de cala. Esta operación se repetirá hasta llenar el sondeo, se enraza con un regla con el menor número de pasadas. Posteriormente se obtiene el volumen del sondeo mediante la relación de la diferencia del peso inicial de la arena preparada con el peso final de la arena sobrante incluyendo la del dispositivo y el peso específico de la arena.

III.1.2.3.- Medidor Hidráulico.

Dispositivo especial que incluye una bomba manual, que hace pasar el agua desde un recipiente graduado hasta un globo de material impermeable, colocado dentro del agujero; a la vez que la presión de la bomba ayuda a un mejor contacto entre las paredes de agujero y la membrana de plástico, el recipiente graduado permite conocer automáticamente la cantidad de líquido que se empleó para llenar el agujero.

III.1.2.4.- Empleo de la Membrana delgada de Plástico y agua.

La prueba consiste en efectuar un sondeo de forma regular cubica o cilíndrica cuyo volumen aproximado sea de 100 decímetros cúbicos o más.

Una vez terminado el sondeo, se coloca la tela de plástico cubriendo las paredes y piso de dicho sondeo. Se vierte agua sobre la tela de plástico hasta llenar el sondeo, utilizando una probeta se anota el volumen de agua que se necesitó para llenar el sondeo como volumen de sondeo.

III.1.2.5.- Método basado en el Principio de Arquímedes.

De la muestra inalterada se labra un espécimen de forma regular, con volumen aproximado a cien centímetros cúbicos. Se tara una balanza con un hilo, se sujeta el espécimen con este hilo, a continuación se pesa el espécimen. El espécimen se sumerge en parafina licuada, se pesa el espécimen con parafina, después se pesa el espécimen con parafina sumergido en agua. El volumen del espécimen se calcula restándole al peso del espécimen con parafina el peso del espécimen con parafina sumergido en agua todo esto menos el volumen de la parafina; nos da como resultado el volumen de la muestra.

III.1.2.6.- Método Nuclear.

Estos métodos se desarrollaron sobre todo para el ahorro de tiempo en las operaciones de control.

Todos los aparatos para medir el peso volumétrico tiene una fuente emisora radiactiva, generalmente de rayos gamma (radio, cobalto 60, cesio 137, usualmente), que penetran en el suelo y chocan contra los electrones de las órbitas exteriores de los átomos del mismo, rebotando con una energía menor a la inicial. Estos rayos de retorno son captados por un detector. La pérdida de energía en los choques aumenta la probabilidad de que los rayos sean absorbidos antes de alcanzar el detector, cuando aumentan el número de choques. Si un suelo tiene mayor γ_m , es lógico pensar que los rayos gamma chocarán en él más veces en su recorrido que en otro suelo menos denso y aquí nace la posibilidad de una correlación entre las lecturas del detector y el peso volumétrico de la masa del suelo.

Los medidores nucleares de la densidad emiten radiaciones al suelo que se está probando y miden tanto la densidad como el contenido de humedad. La prueba es rápida y se puede efectuar sin afectar material.

Hay dos métodos básicos para medir la densidad, el medidor de dispersión de retorno y la transmisión directa. El método de transmisión directa ofrece la mayor precisión, menos error por la composición y desigualdad de la superficie. Se puede usar este método para probar una amplia gama de profundidades, desde 51 mm (2") hasta 305 mm (12"). El aspecto más importante del método de transmisión directa es que el operador tiene control directo de la profundidad de la medición.

El método de medición de dispersión de retorno elimina la necesidad de hacer una perforación en el suelo compactado debido a que el dispositivo descansa sobre la superficie, sin embargo, no es un método muy preciso porque son probables los errores por composición. Este método funciona mejor en capas de 50 a 75mm (2" a 3") de espesor.

III.1.3.- Pruebas de compactación.

De acuerdo con la naturaleza de los materiales y con el uso que se les pretende dar, se han establecido procedimientos de prueba para llevar a cabo la compactación de los suelos en el laboratorio, con el objeto de referir y evaluar la compactación que se alcanza con los procedimientos aplicados en el campo, para determinar el grado de compactación del material. Tomando en cuenta la forma de aplicar la energía al material, las pruebas de compactación que generalmente se emplean son los siguientes tipos:

III.1.3.1.- Pruebas Dinámicas.

Pruebas de compactación AASHTO estándar, PROCTOR SCT, AASHTO modificada tres (3) y cinco (5) capas.

Todas las pruebas dinámicas hoy en uso tienen las siguientes características; el suelo se compacta en capas en un molde cilíndrico metálico, la compactación se logra al aplicar a cada capa dentro del molde, un cierto número de golpes uniformemente distribuidos con pisón. En todos los casos, la energía específica de compactación puede calcularse con bastante aproximación, también se especifica un tamaño máximo de partículas que puede contener el suelo y se eliminan los tamaños mayores por cribado previo a la prueba.

III.1.3.2.- Prueba por Carga Estática

Ejemplo de esta es la prueba de compactación Porter.

Sirve para determinar el peso específico máximo y la humedad óptima en suelos con partículas gruesas, que se emplean en la construcción de terracerías, pudiendo efectuarse también en arenas y en materiales finos cuyo índice plástico sea menor de seis (6). El método consiste en preparar especímenes con material que pasa la malla

No. 25.4mm.-1", agregándoles diferentes cantidades de agua y compactándolos con carga estática.

III.1.3.3.- Prueba por Amasado.

Método de compactación de HVEM.

En este tipo de prueba el suelo se compacta mediante cierto número de aplicaciones de carga con un pisón que produce presiones que varían gradualmente de cero a cierto valor máximo y luego en sentido contrario. En esta prueba la energía de compactación no puede cuantificarse en la forma simple de la compactación por impactos, pero puede hacerse variar a voluntad introduciendo cambios en uno o mas de los siguientes factores: fuerza máxima de apisonado, numero de capas, numero de pisadas por capa, área del pisón y tamaño del molde.

III.1.3.4.- Pruebas por vibración.

Método de compactación que se utiliza una mesa vibratoria. Con respecto a estas pruebas en forma general se describirá cada una de ellas no profundizando en este tema.

En este tipo de compactación se estudia el efecto de la frecuencia, la amplitud y la aceleración, así como la influencia de las sobrecargas, la granulometría del suelo y el contenido de agua.

III.1.4.- Parámetros que se obtienen en las pruebas de compactación.

III.1.4.1.- Peso específico seco máximo.

Es un valor máximo que se obtiene al someter a un suelo cuya humedad es baja se le van dando ciertos incrementos a su contenido de agua y se le aplica cada vez la misma energía de compactación, su peso volumétrico va aumentando, propiciado por la acción lubricante del agua, hasta que llega un momento que el peso volumétrico del material seco alcanza este valor. Este valor se obtiene mediante los métodos de pruebas mas comunes como son pruebas Proctor y Porter Estándar.

III.1.4.2.- Humedad optima.

Es el contenido de agua con el que se obtiene el mejor acomodo de las partículas y el mayor peso específico o volumétrico del material, para una determinada energía de compactación.

III. 2.- Concreto Hidráulico.

Definición:

El concreto es una mezcla de dos componentes: pasta y agregados. La pasta está compuesta de cemento portland, agua y aire. Los agregados son materiales inertes como arena, grava y piedra triturada. Los agregados se dividen en dos tamaños, fino y grueso. El agregado fino es siempre arena, el agregado grueso es usualmente grava o piedra triturada.

Durante el mezclado, el cemento y el agua forman una pasta que rodea cada partícula de agregado. A las pocas horas, el concreto comienza a endurecer debido a la hidratación, que es una reacción química entre el cemento y el agua. Al ocurrir la hidratación, la pasta une entre sí las partículas del agregado, formando una masa resistente, durable y sólida.

La calidad del concreto está directamente relacionada con las calidades de la pasta de cemento. A su vez, la calidad de la pasta está directamente relacionada con la cantidad de agua que se mezcla con el cemento, y el grado de curado. Al reducir la cantidad de agua, la resistencia de la pasta aumenta, haciendo el concreto más fuerte y más durable.

El concreto se comportará tal como se desee (por ejemplo en los edificios, puentes, compuertas, diques, pavimentos para estacionamientos, embarcaderos, rompeolas, revestimientos, etc.) si las especificaciones bajo las cuales es elaborado son las correctas y si se siguen al pie de la letra. Esto podrá llevarse a cabo si el control de calidad por parte del contratista y la confirmación de la calidad por el propietario funcionan como deben, ellas serán las correctas si cubren los niveles necesarios de las propiedades de los materiales, los proporcionamientos requeridos para la mezcla y las prácticas de construcción serán correctamente seleccionadas y

especificadas si se procede con el conocimiento adecuado y se usa para relacionar el comportamiento del concreto con los factores relevantes del medio ambiente de servicio, para la vida útil que se pretenda. Al seleccionar estas características se debe tomar en cuenta el cambio tolerable y el intolerable en el concreto en una estructura particular en un lugar de servicio dado. En resumen, si el concreto no se comporta como se desea, es porque las especificaciones no eran las correctas o porque no se siguieron adecuadamente; porque no se ordenó lo que se debía o porque lo que se ordenó no se llevó a cabo.

La prueba para el concreto pueden agruparse de la siguiente manera. Primero tenemos las pruebas para evaluar el funcionamiento de los materiales disponibles y establecer las proporciones de la mezcla. Estas usualmente se hacen en el laboratorio e incluyen las pruebas para determinar el peso unitario, la resistencia y la manejabilidad.

Otro grupo de pruebas se usa principalmente con fines de control e incluye las de revenimiento, proporción de aire y resistencia. Estas se usan algunas veces también en la evaluación de los materiales y en la dosificación de las mezclas.

III.2.1.- Frecuencia de las pruebas

- Usualmente, las pruebas para la humedad se hacen una o dos veces al día. La primera revoltura de arena en la mañana con frecuencia está muy húmeda, porque la humedad baja al fondo del silo. Sin embargo, al ir sacando arena del silo la humedad puede estabilizarse en un valor menor. La primera prueba para la humedad generalmente se hace a esa hora. Después de unas cuantas pruebas, la humedad puede determinarse con bastante precisión a simple vista y/o con el tacto. Las pruebas sólo se hacen necesarias cuando se aprecian con facilidad que se ha producido un cambio.

- La prueba de revenimiento, se hace al principio de las operaciones a cada día, y cuando la apariencia del concreto indique un cambio en la consistencia.

- Las pruebas para determinar la proporción de aire deben hacerse con suficiente frecuencia en el punto de entrega, para asegurarse de que la proporción de aire sea la correcta aunque la temperatura y la granulometría del agregado cambien.

- El número de pruebas de resistencia que deben hacerse dependen de los requisitos de las especificaciones de la obra y de la ocurrencia de las variaciones. Los Building Code Requirement For Reinforced Concrete (ACI 318-63) especifican que

para cada clase de concreto debe hacerse cuando menos una prueba con dos muestras para cada 114.7m^3 (150yd^3) de concreto, pero no menos de una prueba por cada día de trabajo. El National Building Code of Canada de 1965 requiere que se haga una prueba de resistencia que conste de tres muestras para cada 76.5m^3 (100yd^3) de concreto colado, y no menos de una prueba para cada clase de concreto colado, y en cada día. Además, pueden ser necesarias adicionales, cuando la temperatura o la humedad cambian bruscamente o cuando los materiales o sus fuentes cambien. Estas muestras deberán curarse en el laboratorio. En muchas especificaciones se pide que se curen muestras adicionales para simular el curado en la obra.

III.2.2.- Resistencia especificada "f'c".

La resistencia máxima de cilindros experimentales de 15×30 Cm, probados en compresión axial, no confinados, después de curarlos en condiciones estándar de humedad en el laboratorio durante 28 días, se define como la resistencia a la compresión del concreto "f'c". Cuando se elige un valor especificado de "f'c" como base del esfuerzo tolerable en los cálculos de proyecto, se modifica con coeficientes para tomar en cuenta las incógnitas de diseño y construcción. Sin embargo, estos coeficientes no dejan margen a la variabilidad aleatoria en la resistencia del concreto, y la resistencia promedio del concreto producido debe siempre exceder el valor especificado de "f'c".

Los ensayos con fines de control se pueden dividir en dos clases como son los ensayos de campos y de laboratorio.

III.2.3.- Ensayes de campo.

III.2.3.1.- Muestreo del concreto fresco

No puede exagerarse la importancia que tiene el obtener muestras verdaderamente representativas del concreto fresco para efectuar pruebas de control. A menos que la muestra sea representativa, los resultados de las pruebas pueden ser engañosas. Las muestras deberán obtenerse y manejarse de acuerdo con el Method of Sampling Fresh Concrete (ASTM C172, CSA A23.2.21) Excepto para las pruebas de rutina en que se determinan el revenimiento y la proporción de aire, este método requiere que la muestra sea cuando menos de 28 lbs. además, la muestra debe usarse dentro de los 15 minutos después de la hora en que se tomo de la revoltura y debe protegerse de la luz del sol y del viento durante este periodo.

III.2.3.2.- Determinación del revenimiento del concreto fresco.

Es la medida de consistencia del concreto fresco, en términos de la disminución de altura, en un tiempo determinado de un cono truncado de concreto fresco de dimensiones específicas.

La prueba de revenimiento para la consistencia del concreto debe hacerse de acuerdo con el Method of Test for Slump of Portland Cement Concrete (ASTM C-143/NOM-C-156-1980). El cono para la determinación del revenimiento debe llenarse en tres capas de aproximadamente igual volumen. Por tanto el cono deberá llenarse hasta una profundidad aproximada de 6.56 cm. (Después de compactada con la varilla) para la primera capa y hasta aproximadamente la mitad de su altura para la segunda capa.

III.2.3.3.- Medición de la temperatura.

Cuando se realiza colado en climas cálidos es conveniente que el concreto tenga una temperatura comprendida entre 10y 15.5° C, pero algunas veces no resulta practico. Para las estructuras de concreto de gran masa, como las presas, se especifica que la temperatura del concreto esté comprendida entre 5 y 10° C. En mucha especificaciones estipula que el concreto, al colarse, debe tener una temperatura menor de 30 a 32° C. Los 32° C es un limite practico y razonable.

Al realizar colados en climas fríos las temperaturas mínimas en una sección delgada debe ser de 13° C, en secciones medianas 10° C, y en secciones grandes 7° C.

III.2.3.4.- Elaboración y curado en obra de especímenes.

Las muestras para la determinación de la resistencia deben hacerse de acuerdo con el Method of Making and Curing Concrete Compression and Flexure Test Specimens in the Field (ASTM C-31/NOM-C-160 1984).

Elaboración: Los especímenes se deben moldear después de homogenizar la mezcla sobre una superficie horizontal rígida, nivelada, libre de vibraciones y otras perturbaciones. El concreto se debe vaciar con un cucharón, en los moldes, cada porción depositada en los cilindros debe de ser representativa, la capa debe de ser de 10 Cm. si el molde tiene una altura de 30 Cm., por lo tanto en tres capas, y por cada capa se debe de realizar un varillado con 25 penetraciones en todo su diámetro si su

diámetro es de 15 cm., la última capa deberá sobrepasar el cupo del molde y lo llene totalmente después de la compactación. Y por último se efectúa el acabado con el mínimo de pasadas necesarias para producir una superficie plana y uniforme.

Curado: Para evitar la evaporación del agua de los especímenes de concreto sin fraguar, se deben cubrir inmediatamente después de terminados de preferencia con una tapa no absorbente o con una tela de plástico resistente. Posteriormente pasando 24 horas los especímenes se sacan de los moldes y se mantienen en curado ya se en cámaras de vapor o en piletas con agua a una temperatura de 16 a 27° C.

III.2.3.5.- Determinación del peso unitario, cálculo del rendimiento y contenido del aire del concreto fresco por el método gravimétrico.

Este método se describe Determination of The Unit Weight, Calculation of the Yield and air Content of the Fresh Concrete - Gravimetric method. (ASTM-C-138/NOM-C-165 1985). Establece el procedimiento para la determinación del peso unitario, cálculo de rendimiento y contenido del aire del concreto fresco para el método gravimétrico; no es aplicable a los concretos secos o de bajo revenimiento, tales como los que se usan en la fabricación de elementos precolados.

En este ensaye se usa un recipiente con capacidad de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado grueso. Se obtiene una muestra representativa y homogénea del concreto. El concreto se debe varillar si tiene un revenimiento mayor de 7 cm. o vibrar si tienen un revenimiento menor de 5 cm. Si el concreto se va a varillar este se deposita en tres capas de volumen más o menos iguales. Cada capa se compacta con 25 penetraciones si el recipiente es de 14 lts. o menos, si es de 28 lts. serán 50 penetraciones. La capa inferior se debe de penetrar en todo su espesor, en las otras capas superiores la Varilla debe penetrar 2 cm. en la capa inmediata inferior. Las penetraciones deben ser uniformemente distribuidas en todo el diámetro.

Si el concreto se va a vibrar se llena el recipiente y se vibra el concreto en dos capas más o menos iguales. Se inserta el vástago en tres puntos diferentes de cada capa, en ningún momento se debe tocar con el vibrador, fondo y lados del recipiente, el vibrador debe penetrar en la capa anterior 2 cm. Posteriormente se enrasa hasta dejar la superficie pulida y justa a nivel con el borde del recipiente.

Se pesa el recipiente con el concreto y posteriormente se realizan los cálculos de la masa unitaria restando la masa del recipiente de la masa bruta, se calcula la masa por metro cúbico multiplicando la masa del concreto por el factor del recipiente. Se calcula el rendimiento dividiendo la masa total de todos los materiales incluidos en una

revoltura entre la masa unitaria y por ultimo se calcula el contenido de aire mediante la relación del resultado de la diferencia entre el rendimiento con el volumen total absoluto de los materiales de la revoltura y el rendimiento multiplicado por 100.

III.2.4.- Ensaye de laboratorio.

III.2.4.1.- Cabeceo de especímenes cilíndricos.

Es la preparación de las bases de los especímenes de concreto, para su prueba. Este ensaye se describe de acuerdo a Standar Method of Capping Cylindrical Concrete Specimens (ASTM-C-617-73/NOM-C-109-1985). Para el cabeceo con mortero de azufre se emplean platos metálicos cuyo diámetro debe ser por lo menos 5 mm. mayor que el espécimen por cabecear y su superficie de asiento no debe apartarse de un plano en más de 0.05 mm en 15 mm. La superficie de los platos debe de estar libre de estrías, ranuras o de presiones. Deben emplear dispositivos de alineamiento, tales como barras guías o niveles. El recipiente para fundir azufre debe de ser de un material no reactivo con el azufre, el mortero de azufre debe de endurecerse en dos horas y alcanzar una resistencia mínima en este tiempo de 350Kg./Cm². La cantidad de azufre empleada debe de estar seca para evitar que produzca espuma así mismo se debe utilizar la cantidad necesaria para los especímenes por cabecear. El azufre se calentara a una temperatura de 140±10° C. Posteriormente antes de vaciar el azufre fundido se aceita ligeramente el plato de cabeceo, así mismo se debe procurar que las bases de los especímenes curados deban estar secas al momento del cabeceo, para evitar que dentro de las capas de azufre, se formen burbujas de vapor o bolsas de espuma. El mortero de azufre se podrá reutilizar un máximo de 10 veces sino esta muy contaminado.

III.2.4.2.- Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto.

Este ensaye se describe en Determination of Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (ASTM-C-39-72/NOM-C-83-1985). Para este ensaye se utiliza una maquina de prueba que puede ser de cualquier tipo, pero con capacidad suficiente y que pueda funcionar a una velocidad de aplicación de carga especificada de 84 a 210 Kg./cm²/min. Debe ser accionada para que la carga sea aplicada en forma continua sin minimizado y sin impacto. El espacio para los especímenes de prueba debe ser lo suficientemente grande para darle cabida y tener un dispositivo de calibración adecuado para cubrir el intervalo de carga de la maquina de prueba. La maquina de prueba debe de estar equipada con dos bloques de acero. Uno de los bloques debe

tener asiento esférico y la otra placa debe ser un bloque rígido en donde descansa el espécimen. Antes de colocar los especímenes de prueba en la maquina se deben tomar las siguientes medidas; el diámetro y la altura del espécimen debe determinarse con una aproximación de un milímetro, promediando las medidas de dos diámetros perpendiculares entre si, a una altura media del espécimen y dos alturas opuestas; así mismo se registra el peso del espécimen. Posteriormente se coloca el cilindro sobre la placa inferior alineando su eje cuidadosamente con el centro de la placa de carga con asiento esférico asegurando que esta tenga un contacto uniforme con el espécimen. Lo que sigue es aplicar la carga hasta que el espécimen falle y se registra la carga máxima soportada durante la prueba describiendo el tipo de falla. Posteriormente se calcula la resistencia, la compresión del espécimen, dividiendo la carga máxima entre el área promedio de la sección transversal expresando el resultado con una aproximación de 1 kg./cm²

III.3.- Concreto asfáltico.

Definición:

Las carpetas de concreto son las que se construyen mediante el tendido y compactación de mezclas elaboradas en caliente, en una planta estacionaria, utilizando cementos asfálticos.

Los concretos asfálticos son mezclas elaboradas por peso en plantas estacionarias, calentando los agregados y empleando en su elaboración cementos asfálticos.

III.3.1.- Cemento asfáltico. Puede considerarse como una combinación de asfalto duro y aceites no volátiles del petróleo. Con propiedades aglutinantes que se utiliza en la construcción de carpetas.

Cuando se utilice cemento asfáltico para la elaboración de concreto asfáltico en plantas estacionarias, una vez calentado el cemento a la temperatura fijada en el proyecto se añadirá en material pétreo en la propia planta dosificándolo por peso, procediéndose a su mezclado hasta obtener un producto homogéneo y a la temperatura fijada. La cantidad de cemento asfáltico podrá variar en relación con la de proyecto en mas o menos cinco por ciento ($\pm 5\%$), en peso. La temperatura del cemento en el momento de su empleo deberá ser de 120°C a 160°C. El material pétreo deberá ser

calentado y secado para que la humedad que contenga sea inferior a uno por ciento (1%), antes de introducirlo a la mezcladora. La temperatura del material pétreo deberá estar comprendida entre 120°C y 160°C al salir de la planta la mezcla deberá tener entre 120°C y 150°C.

III.3.2.- Ensayes de campo:

III.3.2.1.- Muestreo.

El muestreo consiste en la obtención de una o varias porciones de las mezclas asfálticas, con las cuales se pretende construir una estructura o bien, de la mezcla que ya son parte integral de la misma, procediendo de tal manera que las características de la porción obtenida permita hacer evaluaciones del conjunto que representan. De acuerdo con la finalidad que tenga el estudio de las mezclas.

En el caso de mezclas elaboradas en planta estacionaria en general se obtendrá una muestra por cada cincuenta (50) metros cúbicos de la mezcla producida.

III.3.2.2.- Toma de temperatura.

El concreto asfáltico deberá tenderse a una temperatura mínima de ciento diez grados centígrados (110°C).

La temperatura del concreto asfáltico, al iniciarse el acomodo, deberá ser de cien a ciento diez grados centígrados (100°C-110°C), en general, la compactación de la carpeta deberá terminarse a una temperatura mínima de setenta grados centígrados (70°C).

III.3.2.3.- Método Marshall.

Procedimiento de Marshall para determinación de los valores de estabilidad y flujo en mezclas asfálticas.

III.3.2.4.- Sondeos para determinar calidad:

La distribución de los puntos donde se llevan acabo los sondeos para la verificaciones de espesor, compactación y aquellos en donde se determinen los niveles para fines de espesores y tolerancia.

Para los sondeos se tomara en cuenta adicionalmente lo siguiente.

1).- No deberá dañarse la parte contigua a los mismos.

2).- El espesor de la carpeta determinado a partir de los sondeos realizados deberá cumplir las siguientes tolerancias:

$$\sqrt{\frac{(e_1 - \bar{e})^2 + (e_2 - \bar{e})^2 + \dots + (e_n - \bar{e})^2}{n}} \leq 0.11\bar{e}$$

Para carpeta, y $|e_r - e| \leq 0.2 e$

En el noventa y tres por ciento (93%) de los casos, como mínimo.

En donde:

$e =$ Espesor de proyecto

$e_1, e_2, \dots, e_n, e_r =$ Espesores reales encontrados al efectuar los sondeos y nivelaciones.

$\bar{e} = \frac{e_1 + e_2 + \dots + e_n}{n} =$ Espesor real promedio correspondiente a todos los puntos de prueba.

$n =$ Numero de verificaciones del espesor real hechas en el tramo. anexo 1 figura 6

3).- El contratista rellenara el hueco en cada uno de los sondeos.

Cuando se trate de capas construidas con mezcla asfáltica en caliente, la obtención de la muestra se hará cortando por medio de cincel y marro, todo el espesor de la capa en una superficie suficiente para complementar el peso de la muestra que será el necesario para efectuar las pruebas requeridas.

Excepto que en algunos casos pueden ser necesario utilizar una maquina para extracción de corazones en cuyo caso las dimensiones de los especímenes estará de acuerdo con lo que específicamente señale el método de prueba a que se vaya a someter la muestra.

III.3.3.- Ensayes de laboratorio en el control de calidad de concreto asfáltico.

Prueba de laboratorio a los materiales pétreos para carpeta asfáltica.

- a).- Peso volumétrico seco suelto.
- b).- Granulometría
- c).- Densidad y absorción
- d).- Desgaste.
- e).- Adherencia con el asfalto.
- f).- Contracción lineal.
- g).- Determinación de la perdida por intemperismo acelerado en material seco.

El método **Marshall** está limitado al proyecto y control de elaboración de mezclas asfálticas hechas en planta estacionarias, en caliente, utilizando cemento asfáltico. En esta prueba se determinaran los valores de estabilidad y flujo.

El valor de **estabilidad** expresa la resistencia estructural de la mezcla compactada, y está afectado principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y tipo del agregado. Principalmente el valor de estabilidad es un indice de la calidad del agregado.

El **flujo** representa la deformación requerida, en el sentido del diámetro del espécimen, para producir su fractura. Este valor es una indicación de la tendencia de la mezcla para alcanzar una condición plástica, y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta a deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por los vehículos.

La prueba de los especímenes comprende la determinación del peso volumétrico y la determinación de la estabilidad y flujo de los mismos. La determinación del **peso volumétrico** del espécimen ya compactado se hará dividiendo el peso entre el volumen. Los valores de estabilidad y flujo se determinaran ensayando los especímenes en el aparato Marshall.

Determinación del **porcentaje de vacíos** en mezclas asfálticas.

El objeto de la prueba es determinar si el espécimen compactado en el laboratorio, o bien la muestra inalterada tomada de la carpeta presenta un porcentaje de vacíos dentro de los límites que fijan las normas para asegurar la impermeabilidad de la carpeta y a la vez prevenir una baja estabilidad de la misma por exceso de asfalto.

Determinación del **contenido de asfalto** en mezclas y carpetas construidas.

Estas pruebas encuentran su campo más amplio de aplicación en el control de la elaboración de mezclas asfálticas, en donde deberán implementarse como un sistema rutinario para verificar tanto el contenido de asfalto presente en la mezcla, como para obtener el agregado pétreo necesario para la comprobación de su **granulometría**. Se aplica también en el caso de carpetas ya construidas, con fines de investigación, principalmente cuando se presentan fallas de la carpeta.

Para estas determinaciones podrá utilizarse el equipo para extracción de asfalto (rotarex).

III.3.3.1.- Importancia de la compactación.

La compactación prolonga de varias maneras la vida útil de un pavimento de asfalto. Reduce la cantidad de baches, disminuye el índice de Oxidación del cemento asfáltico, y aumenta la estabilidad de la mezcla permitiendo que el pavimento pueda resistir mayor tráfico de vehículos durante un período de tiempo más largo. Se logra la compactación forzando los materiales pétreos de una mezcla a vincularse estrechamente entre sí.

Al juntar los materiales pétreos, la compactación reduce los vacíos de un material asfáltico. El exceso de contenido de aire en un pavimento puede causar el deterioro prematuro de la estructura. Los vacíos dejan entrar el aire en la capa, la cual puede

expandirse o contraerse según cambien las temperaturas. La flexión resultante puede agrietar los pavimentos y aflojar los materiales de la sub-base. El aire es también un oxidante. Toda vez que los cementos asfálticos estén en contacto con el aire durante un tiempo, los elementos más volátiles se evaporan, dejando un pavimento quebradizo y propicio para el desarrollo de cuarteaduras y obstrucciones.

La impermeabilidad es la resistencia que opone un pavimento al paso del aire y del agua. El concreto asfáltico, cuando se compacta adecuadamente, es lo suficientemente denso para impedir la formación de poros, los que se conectan entre sí por intersticios dentro de la masa del pavimento y los que dejarían entrar al agua que penetraría hasta la sub-base. En la mayoría de los casos, el contenido normal de poros en mezcla de concretos asfáltico denso es del 3 % al 5 %. El pavimento resultante es duradero e impermeable.

De la única manera que se puede producir compactación es cuando el aglomerante asfáltico es lo suficientemente fluido para actuar como lubricante, y es a la vez lo suficientemente fuerte para aguantar un compactador. Una vez que se enfría, el aglomerante asfáltico actúa como un adhesivo y es inútil ejercer más fuerza de compactación.

III.3.3.2.- Composición granulométrica:

Esta es una parte de las pruebas definitivas para juzgar la calidad de un material, de acuerdo con el fin a que se le destina y se verifica mediante la determinación de los tamaños de las partículas que forman el material. La composición granulométrica se representa gráfica o numéricamente. anexo 1 figura 7.

En términos generales puede decirse que la mayor estabilidad de un material se alcanza cuando se reduce al mínimo la cantidad de vacíos y para que esto pueda lograrse se requiere una sucesión adecuada de tamaños que permita que los huecos dejados por las partículas mayores sean ocupados por partículas de menor tamaño y que, a la vez, en los huecos dejen éstas últimas se acomoden partículas más finas y así sucesivamente.

III.3.3.3.- Requisitos de la carpeta terminada.

Estará conforme con el trazado, rasante y sección tipo de planos. El espesor será el especificado y en ningún punto variara en más de 0.5cm cualquier lugar defectuoso o bajo, será inmediatamente remediado, sacando la carpeta en dichos lugares y colocando nueva mezcla caliente, la cual después de compactada estará conforme adyacente y completamente unida a ella.

La superficie estará libre de depresiones que excedan de 0.3 cm cuando se mida con una regla recta de 3 mts. paralela al eje de la carretera. Después de la última compactación las muestras del pavimento tendrán una densidad mayor del 95% de la densidad de las muestras de mezclas compactadas por el laboratorista.

Para dar por terminada la construcción de la carpeta, se verificaran el perfil, la sección, la compactación, el acabado y el espesor, de acuerdo con el proyecto.