



TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE
APIZACO**

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

**“EVALUACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE
TERRACERÍAS, BASES Y PAVIMENTO ASFALTICO DE
CARPETA ASFÁLTICA DE ALTO DESEMPEÑO EN DIVERSOS
GRADOS PG”**

PRESENTA:

Ángel David Flores Montiel

ASESOR:

Juan Francisco Pérez Munguía

APIZACO, TLAX., ENERO 2026



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me acompañaron en el proceso de realización de esta memoria de residencias, así como aquellos que estuvieron a mi lado durante todo este proceso formativo.

En primer lugar, agradezco profundamente a mi familia, por su amor incondicional, su confianza en mí y por ser siempre mi mayor motivación, a mi papá por brindarme consejos, apoyarme con su experiencia y brindarme todas las oportunidades a su alcance, a mi mamá por su apoyo en esas noches de desvelo, por su preocupación y estar al pendiente de mi y a mis hermanas por ayudarme y motivarme en cada momento que lo necesite.

Del mismo modo, agradezco a mis profesores y asesores, gracias por compartir sus conocimientos, por su paciencia y por sus valiosas observaciones que enriquecieron este trabajo. A mis compañeros y amigos, por las charlas, los consejos y por ayudarme a mantener el ánimo cuando más lo necesité. Compartir esta etapa con ustedes hizo que el camino fuera más llevadero y significativo.

Finalmente, agradezco a LIEMSA por brindarme el espacio, las herramientas y las facilidades necesarias para el desarrollo de esta investigación.



RESUMEN

Durante la residencia se realizaron pruebas y ensayos de materiales para la construcción de diversas infraestructuras viales, siendo el objetivo principal la evaluación de materiales pétreos y calidades de las capas a emplear, del mismo modo que se verifica la calidad en la carpeta asfáltica a tender.

Dentro del presente proyecto se mencionan, desarrollan y calculan diversas pruebas, tanto para terracerías, como mezclas asfálticas, y del mismo modo, los resultados se comparan con las normas correspondientes, asegurando el cumplimiento de estos en todo caso, y realizando correcciones o sugerencias de ser necesario.

Además de presentar las pruebas, en conjunto a sus resultados y verificación de resultados derivadas de ellos se busca que la presente memoria de residencias contribuya al entendimiento y mejorar la calidad y seguridad dentro de las infraestructuras viales del país.



INDICE

Tabla de contenido

RESUMEN	3
INDICE	4
Índice de Ilustraciones	5
Índice de Tablas	6
Índice de Graficas	7
INTRODUCCIÓN	9
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	10
PROBLEMAS A RESOLVER	12
OBJETIVOS.....	13
JUSTIFICACIÓN	14
MARCO TEÓRICO	15
DESARROLLO	16
TERRACERIAS.....	16
SECADO Y CUARTEO.....	16
CONTENIDO DE AGUA	19
GRANULOMETRIA.....	24
LIMITES DE CONSISTENCIA.....	29
MASAS VOLUMETRICAS.....	37
COMPACTACIÓN AASHTO (estándar)	40
GRADO DE COMPACTACIÓN	47
VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) Y EXPANSION (EXP) EN LABORATORIO	52
BASES	67
SECADO, DISGREGACIÓN Y CUARTEO	67
GRANULOMETRIA.....	67
MASA VOLUMETRICA	74
COMPACTACIÓN AASHTO (modificado)	74
GRADO DE COMPACTACIÓN	81
DENSIDAD Y ABSORCIÓN (GRAVAS).....	81
PARTICULAS LAJEADAS Y ALARGADAS	85



EQUIVALENTE DE ARENA.....	89
LIMITES DE CONSISTENCIA.....	94
VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) EN LABORATORIO	94
ASFALTO.....	97
CONTENIDO DE ASFALTO	97
GRAVEDAD TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA (GMM).....	106
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA COMPACTADA (GMB).....	109
CURVA TEÓRICA.....	114
CALIBRACIÓN DE PLANTA.....	119
CONCLUSION	120
COMPETENCIAS DESARROLLADAS	120
BIBLIOGRAFIA	121
ANEXOS	122
Formato de entrega de datos para Filtro Rompedor de Capilaridad (TFR)	122
Formato de entrega de datos para Terreno Natural	123
Formato de entrega de datos para Subrasante	124
Formato de entrega de datos para Sub-Base	125
Formato de entrega de datos para Base	126



Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Material de subrasante apilado	18
Ilustración 2: Material en forma de cono truncado	18
Ilustración 3: Material Cuarteado	18
Ilustración 4: Vidrio de reloj empañado por humedad de muestra	22
Ilustración 6: Comprobación de material seco por vidrio de reloj.....	22
Ilustración 7: Cribado de material	26
Ilustración 8: Muestra para límites, en seco dentro del recipiente.....	31
Ilustración 9: Muestra colocada en copa de Casagrande	31
Ilustración 10: Muestra ranurada y cerrada tras ser golpeada en la copa de Casagrande.....	31
Ilustración 11: Muestra para límite plástico siendo rodada en cristal.....	32
Ilustración 12: Límites plásticos secos	32
Ilustración 13: Cuarteo de material para determinar masa volumétrica	38
Ilustración 14: Llenado de recipiente para determinación de masa volumétrica	38
Ilustración 15: Compactación de muestra AASHTO (estándar)	42
Ilustración 16: Material enrasado en molde AASHTO (estándar).....	42
Ilustración 17: Excavación de cala para chequeo de compactaciones	48
Ilustración 18: Extracción de material de cala de compactación	49



Ilustración 19: Llenado de cala de compactación con arena	49
Ilustración 20: Muestra de CBR para terracerías preparada	56
Ilustración 21: Molde para CBR preparado para empezar compactaciones	57
Ilustración 22: Compactación de especimen para CBR	57
Ilustración 23: Muestra de CBR correctamente enrasada	58
Ilustración 24: Moldes en saturación para determinar expansión	58
Ilustración 25: Muestra de base lista para granulometría	69
Ilustración 26: Cribado de gravas (material grueso)	69
Ilustración 27: Muestra de arenas (finos) saturada para lavado	70
Ilustración 28: Material fino lavado	70
Ilustración 29: Muestra preparada para prueba AASHTO (modificada)	76
Ilustración 30: Escarificado de capas en prueba AASHTO (modificada)	76
Ilustración 31: Material enrasado en molde AASHTO (modificado)	77
Ilustración 32: Determinación de masa tras compactación en prueba AASHTO (modificada)	77
Ilustración 33: Saturado de grava para determinación de densidad	82
Ilustración 34: Grava en canastilla para determinación de densidad	82
Ilustración 35: Determinación de masa seca de grava para densidad	83
Ilustración 36: Muestra preparada y cribada para determinar forma de la partícula	87
Ilustración 37: Muestra cribada para determinar contenido de arena	89
Ilustración 38: Capsulas con muestras para equivalente de arena	90
Ilustración 39: Cilindro con solución para equivalente de arena	90
Ilustración 40: Vaciado de material para prueba de equivalente de arena	90
Ilustración 41: Agitado manual de muestra para determinar equivalente de arena	91
Ilustración 42: Pruebas de equivalente de arena ya reposadas	91
Ilustración 43: Lectura de pison en prueba de equivalente de arena	92
Ilustración 44: Secado de filtro para ROTAREX	99
Ilustración 45: Vaciado de muestra en tazón para centrifugado de asfalto	99
Ilustración 46: Aparato para centrifugado de asfalto manual	99
Ilustración 47: Vaciado de material producto de centrifugado a charola para secado	100
Ilustración 48: Equipo para GMM ensamblado	106
Ilustración 49: Mezcla asfáltica tendida para enfriarse	107
Ilustración 50: Muestra sumergida para determinación de GMB	107
Ilustración 51: Pesaje de muestra para obtener peso seco de GMB	110
Ilustración 52: Muestra para GMB sumergida para saturarse	42
Ilustración 53: Secado de pastillas para GMB y obtención del estado saturado superficialmente seco	42

Índice de Tablas

Tabla 1: Masas minimas de muestras según tamaño maximo del agregado	19
Tabla 2: Tabla de granulometría simplificada con datos iniciales	26
Tabla 3: Granulometría simplificada calculada	27
Tabla 4: Datos base para calculo de limite liquido	33



Tabla 5: Limite liquido calculado.....	34
Tabla 6: Datos base para calculo de limite plastico.....	35
Tabla 7: Limite plastico calculado.....	35
Tabla 8: Datos base para calculo de curva de compactación AASHTO.....	43
Tabla 9: Datos calculados para graficar curva de compactacion AASHTO	44
Tabla 10: Volumen minimo de cala y muestra en chequeo de compactaciones para determinar humedad según tamaño maximo de particulas	48
Tabla 11: Datos base para calculo de grado de compactacion en campo	50
Tabla 12: Calculo de grado de compactación en campo.....	51
Tabla 13: Energia de compactacion (golpes necesarios) en especimenes de CBR según capa	57
Tabla 14: Relacion tiempo-y penetracion para especimenes de CBR.....	59
Tabla 15: Datos base para calculo de CBR en material de subrasante.....	60
Tabla 16: Datos de molde para CBR	61
Tabla 17: Datos para CBR calculados, para especimen de subrasante	63
Tabla 18: Carga de penetracion de especimenes para CBR de subrasante	65
Tabla 19: Datos base para calculo de granulometria	71
Tabla 20: Calculos de granulometria para material de subrasante.....	72
Tabla 21: Datos base para calculo de curva de compactacion AASHTO (modificada)	78
Tabla 22: Datos calculados para graficar curva de compactación AASHTO (modificada)	79
Tabla 23: Resultados de densidades y absorción de diversas gravas	84
Tabla 24: Resultados de calculo de porcentajes de particulas lajeadas y alargadas.....	88
Tabla 25: Resultados de calculo de equivalente de arena en diversas muestras	93
Tabla 26: Tabulación de datos resultado de prueba de CBR a muestra de Sub-Base	95
Tabla 27: Masa minima de muestra para determinar contenido asfaltico, según tamaño nominal de la mezcla asfaltica	98
Tabla 28: Registro de datos base para calculo de porcentajes de cemento asfaltico	101
Tabla 29: Resultados de contenido de cemento asfaltico tabulados	103
Tabla 30: Granulometria de mezcla asfaltica TN $\frac{3}{4}$ "	104
Tabla 31: Limites granulometricos para mezclas asfalticas en diversos tamaños nominales	105
Tabla 32: Resultados de diversos calculos de GMM.....	108
Tabla 33: Resultados de diversos calculos de GMB.....	112
Tabla 34: Datos granulometricos de grava TN $\frac{3}{4}$ "	114
Tabla 35: Datos granulometricos de grava TN 1 $\frac{1}{2}$ "	115
Tabla 36: Datos granulometricos de Arena $\frac{1}{4}$ " a finos	116
Tabla 37: Limites granulometricos para base hidraulica	117
Tabla 38: Calculo de granulometria teorica.....	118

Índice de Graficas

Grafica 1: Puntos dentro de grafica de limite liquido	34
Grafica 2: Calculo de contenido de agua a 25 golpes en grafica de limite liquido	34
Grafica 3: Carta de plasticidad.....	35



Grafica 4: Formato de determinacion de limites	36
Grafica 5: Puntos dentro de curva de compactación AASHTO.....	45
Grafica 6: Curva de compactacion con metodo manual.....	45
Grafica 7: Curva de compactacion AASHTO con apoyo digital.....	46
Grafica 8: Curvas Carga-Penetración de especimenees para cálculo de CBR en subrasante.....	63
Grafica 9: Curva Carga-Penetración de CBR de subrasante con corrección.....	64
Grafica 10: Puntos de relacion Masa Volumetrica Seca-CBR de especimenes para calculo de CBR%	65
Grafica 11: Obtencion de CBR de subrasante a partir de maximo AASHTO.....	66
Grafica 12: Limites granulometricos para Sub-Bases según N-CMT-4-02/001	73
Grafica 13: Calculo de granulometria de material para subrasante	73
Grafica 14: Puntos dentro de curva de compactación AASHTO (modificada)	79
Grafica 15: Curva de compactación AASHTO (modificada) con apoyo digital	80
Grafica 16: Curva Carga-Penetración de especimen para calculo de CBR de sub-base	96
Grafica 17: Granulometria de mezcla asfaltica TN $\frac{3}{4}$ "	104
Grafica 18: Granulometria de mezcla asfaltica TN $\frac{3}{4}$ " con limites	105
Grafica 19: Datos granulometricos de grava TN $\frac{3}{4}$ "	115
Grafica 20: Datos granulometricos de grava TN $1\frac{1}{2}$ "	116
Grafica 21: Datos granulometricos de Arena $\frac{1}{4}$ " a finos.....	117
Grafica 22: Curva teorica de mezcla para base hidraulica con limites	118



INTRODUCCIÓN

Un laboratorio de ingeniería civil es un espacio fundamental para el desarrollo y supervisión de las calidades de los materiales, centrándose en el área de vías terrestres, se busca evaluar las propiedades físicas y mecánicas de todos los materiales y capas presentes, con el fin de determinar su idoneidad para ser empleados en la construcción de carreteras.

Dentro de laboratorio se analizaron diversas muestras de terracerías, subrasante, subbase, base hidráulica, base cementada y carpeta asfáltica, todas correspondientes a la carretera México-Zacatepec, en diversos tramos de esta, procediendo principalmente de las zonas de Huamantla, Cuapiaxtla y Calpulalpan.

Para el desarrollo de pruebas se realizó el proceso según la norma correspondiente, tanto las proporcionadas por el "Instituto mexicano del Transporte" así como por la "Asociación Mexicana del Asfalto" (AMAAC).

Dentro del trabajo se encuentran 3 grupos principales de trabajo, terracerías, bases y carpeta asfáltica, dentro de las terracerías podemos encontrar tanto el terreno natural, como la subrasante, además de hacer mención de la capa rompedora de capilaridad, la cual se empleó en diversos tramos debido a la presencia de un alto nivel de aguas freáticas en ciertas zonas, siendo necesaria para poder drenar el exceso de agua del terreno e impedir que esta dañe la estructura vial, las bases se centran en ensayos realizados a subbases, y bases, que posteriormente del ensaye de las mismas, se adiciona cemento portland, para la realización de bases cementadas, y verificando el cumplimiento de estas últimas. Finalmente, dentro de la carpeta, se verifica la mezcla, determinando humedad, contenido asfáltico y granulometría, así como el GMM de la misma, de igual modo se realizan pruebas de la carpeta ya compactada a partir de las pastillas Marshall, realizándose a todos los tipos de carpeta elaborados en planta, a través del protocolo AMAAC, carpeta asfáltica tipo CASAA, etc.

Finalmente, dentro de estos grupos tenemos pruebas realizadas en campo, que se basan principalmente en la verificación de compactación de las capas en los tramos, obtención de muestras y verificación del tendido de carpeta, centrandose en la correcta dosificación del riego de liga, o impregnación según sea el caso, así como la verificación de temperaturas para su compactación.



DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

Dentro de la empresa se realizaron trabajos de laboratorio, empezando por la obtención de muestras, proceso que se llevara a cabo, según la norma "M-MMP-2-02-019/20", según sea el caso, ya sea en banda, para calibración, o en pilas de almacenamiento del material, para el caso de obtención de muestras de campo se realiza una cala para obtener material significativo para la realización de las pruebas.

Una vez que tenemos la muestra es necesario designarle un numero de ensaye, y llevar un libro de registro de dichas muestras, para el caso particular se designan las siguientes siglas:

TTN	Terreno Natural
TSR	Terreno Subrasante
TRC	Capa Rompedora de Capilaridad
PSB	Subbase
PBH	Base hidráulica
PBC	Base Cementada
MAP	Mezcla asfáltica (protocolo AMAAC)
MAC	Mezcla asfáltica (CASAA)
MAM	Mezcla asfáltica (Diseño Marshall)

Seguidas por el número de ensaye, mismo que será en orden consecutivo de forma general, es decir, que, si hay una muestra de terreno natural número 12, y la siguiente es de subrasante, será el número 13, a pesar de que no existan pruebas de subrasante previas, y por último se menciona el año en que se realizó; por ejemplo:

PSB-016/25

Hace referencia a una prueba para subbase, que es la numero 16 de la obra y es del año 2025, cabe mencionar que las pruebas de mezclas asfálticas son independientes y llevan su propia numeración, ya que su registro es un libro distinto.

Del mismo modo, en el libro se especifica la procedencia de la muestra, ya sea de almacén o de tramo, el tipo de material, por ejemplo, fragmento de roca andesítica para el filtro rompedor de capilaridad o mezcla de limo arenoso con fresado para subrasante, y finalmente las pruebas a realizar para dicho material, ya sea calidad total (todas las pruebas necesarias) o si solo se requiere algún dato, como máximo AASHTO o granulometría.

Todas las muestras pétreas se tienden para su secado y se prosigue a su cuarteo y muestreo para su posterior ensaye, y los datos obtenidos se registran de igual forma en su libro propio, considerando fechas, datos obtenidos, datos de obra y procedencia del material.

En dado caso que el material no cumpla con las especificaciones requeridas, se analiza si es posible algún error de cálculo, o muestreo, pudiendo repetir la prueba de ser necesario, o de



igual forma se buscan alternativas, ya sea desarrollar una curva teórica para corregir granulometría, o añadir algún material que le dé más resistencia o densidad al material de ser necesario.



PROBLEMAS A RESOLVER

Se busca obtener los datos de diversos materiales, de forma confiable y representativa para asegurar la calidad y seguridad de la infraestructura vial de forma puntual, para poder proseguir los trabajos en campo, así como para evitar errores que conlleven al retiro de alguna capa ya colocada en obra.

Proponiendo soluciones en caso de ser necesario, buscando alternativas a algunos materiales o las proporciones de estos, así como asegurara que dentro del proceso constructivo se den los espesores y compactaciones mínimas requeridas de cada material.

Del mismo modo en planta se busca asegurar que la carpeta asfáltica cumpla con el contenido asfáltico y granulometría de diseño según sea el caso de mezcla asfáltica a producir, así como calibrar la planta y asegurarse que esta cumpla con los requerimientos, previo a que comience su producción.



OBJETIVOS

General

Evaluar y asegurar la calidad suficiente a las diversas capas presentes en la construcción de carreteras a través de diversas pruebas de laboratorio y satisfaciendo las necesidades de proyecto solicitadas, así como comparar datos de campo y el desempeño de estas capas en obra, garantizando así la calidad dentro de la construcción de carreteras, así como el cumplimiento de los requisitos necesarios según el proyecto.

Específicos

- Desarrollar las diversas pruebas de laboratorio necesarias en cada capa
- Identificar las características de cada material
- Determinar la calidad de los materiales
- Interpretar informes de laboratorio y sus respectivos resultados
- Corregir proporciones para mezclas asfálticas y pétreas, para asegurar el cumplimiento de los requisitos de proyecto



JUSTIFICACIÓN

Desde la antigüedad, el desarrollo de los primeros caminos, como los realizados por los griegos, han significado un importante avance para la sociedad, ya sea con fines de comunicación, económicos e incluso bélicos, la infraestructura vial ha estado presente en el desarrollo de la humanidad. En la actualidad, la construcción de infraestructura vial representa un aspecto fundamental para el desarrollo de un país, ya sea para impulsar factores económicos, sociales, e incluso políticos, son la base para la comunicación y el intercambio en la actualidad, sin embargo, la calidad, seguridad y correcto desempeño de estas infraestructuras dependen en gran medida de la calidad de los materiales utilizados en la construcción.

Siendo las terracerías y el asfalto los materiales más comunes en la construcción de las diversas infraestructuras viales, es necesario asegurar la calidad de estos, ya que, aunque parezcan similares, diversos factores como su granulometría, densidad, absorción y grado de compactación afectan en gran medida la eficiencia de estos.

Siendo el principal objetivo del trabajo, presentar los resultados de las diversas pruebas y ensayos realizados, para servir como base para futuros trabajos o ensayos de laboratorio, así como esperar que contribuya a mejorar la calidad dentro de la construcción de vías terrestres.



MARCO TEÓRICO

Los criterios métodos y procedimientos contenidos en las normas SICT son una guía para efectuar la planeación, licitación, adjudicación, contratación, ejecución supervisión y en su caso operación y mitigación del impacto ambiental de las obras públicas y servicios relacionados con las mismas, así como para la concesión de la infraestructura, de manera que, si el ingeniero considera que dichos criterios métodos y procedimientos no son aplicables para la realización de un trabajo específico puede proponer otros que no estén contenidos en la normativa SICT siempre y cuando estén debidamente sustentados no contravengan las leyes federales aplicables y sean aprobados por las autoridades competentes (Normativa para la Infraestructura del Transporte NIT-SICT)

De entre los manuales pertenecientes a la SICT, los manuales MMP, representan una parte importante en el proceso constructivo y verificación de la calidad en las diversas obras viales por lo que la supervisión del cumplimiento de estas mismas es fundamental tanto para la verificación cómo para la liberación de obras, ya que el no asegurar y demostrar el cumplimiento de estas normativas conlleva riesgos para la seguridad de la ciudadanía así como un incumplimiento a las normativas del país, por ende el trabajo el laboratorio y el control de calidad es fundamental en este tipo de obras.

Del mismo modo se deberá contar con los conocimientos necesarios en procesos constructivos mencionados en los manuales CTR, así como los manuales CAL y CMT para poder determinar el cumplimiento en la calidad de los materiales, así como la verificación de dicha información.



DESARROLLO

A continuación, se presenta el desarrollo de las pruebas realizadas, así como la representación de datos, con tablas e imágenes de los diversos ensayos realizados, seccionándolos por capas.

TERRACERIAS

SECADO Y CUARTEO

Este proceso permite la preparación de las muestras representativas de los materiales para terracerías, con el propósito de obtener porciones representativas para efectuar las pruebas de laboratorio necesarias. (IMT-M-MMP-1-03/03)

EQUIPO

- Charola de lámina galvanizada (40x70x10)



- Pala acucharada



- Cucharón de 20 cm de largo, 11 de ancho y 10 de altura, formando un paralelepípedo rectangular con 4 caras, con la cara menor acoplada a un mango de 13 cm de largo



- Horno eléctrico o de gas con termostato capaz de mantener temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$



- Balanza con capacidad de 30 kg, y aproximación de 1 g



- Brocha



- Cuarteador metálico



PROCEDIMIENTO

SECADO

Dependiente de la cantidad de la muestra y las pruebas a realizar se tendera en una charola, en el suelo de laboratorio o en una placa metálica sobre la mesa, asegurando que la superficie este sensiblemente horizontal, lisa, limpia y no sea posible la contaminación de la muestra, periódicamente se va revolviendo el material, buscando un secado más rápido y uniforme, para reducir el contenido de agua de la muestra y facilitar sus ensayos y disgregación

CUARTEO

1. Al realizarse de forma manual, la muestra se revuelve sobre una superficie limpia, hasta que presente un aspecto homogéneo.



2. Una vez homogeneizada la muestra, se forma un cono, depositando el material con una pala o cucharón, según el tamaño de la muestra en el vértice del cono y procurando una distribución uniforme.



Ilustración 1: Material de subrasante apilado

3. Posteriormente se forma un cono truncado, encajando la apala en el vértice del cono original y girando alrededor de su eje, a fin de desalojar el material al exterior, hasta dejarlo a una altura entre 15 y 20 cm.



Ilustración 2: Material en forma de cono truncado

4. Finalmente, la muestra se separa con ayuda del cuarteador formando 4 cuadrantes, con dimensiones y volumen sensiblemente similares.



Ilustración 3: Material Cuarteado

5. En caso de que los cuarteos presenten material excesivo para la prueba a realizar se prosigue a reducir la muestra, tomando dos cuarteos opuestos, los cuales repiten el proceso desde el paso 1, siempre tratando de no perder material, especialmente finos, con ayuda de la brocha y la pala o cucharón.



CONTENIDO DE AGUA

Permite determinar el contenido de agua de los materiales de terracerías, con el fin de determinar el porcentaje de la masa de agua, en relación con los sólidos. (IMT-M-MMP-1-04/03)

Según el tamaño máximo del material se designa la cantidad de material a pesar, guiándonos de la norma M-MMP-1-04/03

Tabla 1: Masas mínimas de muestras según tamaño máximo de agregado

Tamaño máximo del material		Masa mínima de la muestra g
Designación de la malla	Abertura de la malla mm	
2"	50	1000
1"	25	500
N° 4	4,75	100

PRUEBA ESTANDAR

EQUIPO

- Balanza con aproximación a 0.1 gramos



- Horno eléctrico o de gas con termostato, capaz de mantener una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$



- Recipientes capaces de mantener la muestra, resistente a la corrosión y las altas temperaturas.

PROCESO

- Se obtiene la masa del recipiente, limpio y seco (Wt)



2. Se coloca la muestra dentro del recipiente, se tapa inmediatamente y se termina esta masa total (W1)
3. Posteriormente se quita la tapa y se prosigue a secar en el horno a una temperatura constante de 105 ± 5 °C, en un lapso de alrededor de 16 horas.
4. Una vez seca, se saca del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente, se obtiene la masa nueva del material dentro del recipiente previamente tapado y se anota como (W2)

CÁLCULOS

Se calcula y reporta el contenido de agua obtenido mediante:

$$\omega = \frac{w_1 - w_2}{w_2 - w_t} \times 100 = \frac{w_w}{w_s} \times 100$$

Donde:

ω = Contenido de agua

W1= Masa de la muestra húmeda más la masa del recipiente y su tapa (g)

W2 = Masa de la muestra seca más la masa del recipiente y su tapa (g)

Wt = Masa del recipiente y su tapa (g)

Ww = Masa del agua (g)

Ws = Masa de los sólidos (g)

PRUEBA RAPIDA

Este proceso permite determinar de forma rápida el contenido de agua de una muestra, sin embargo, es menos preciso que el procedimiento estándar

EQUIPO

- Balanza con aproximación a 0.1 gramos



- Fuente de calor de flama abierta





- Vidrio de reloj



- Pinzas



- Cucharon de 20 cm de largo, 11 de ancho y 10 de altura, formando un paralelepípedo rectangular con 4 caras, con la cara menor acoplada a un mango de 13 cm de largo



- Recipientes capaces de mantener la muestra, resistente a la corrosión y las altas temperaturas.



PROCESO

1. Se obtiene la masa del recipiente, limpio y seco (Wt)



2. Se coloca la muestra dentro del recipiente y se termina esta masa total (W1)



Ilustración 4: Pesaje de material saturado

3. Se coloca sobre la fuente de calor durante el tiempo necesario para que la muestra evapore toda el agua, comprobando con el vidrio, al pasarlo rápidamente sobre la



Ilustración 5: Vidrio de reloj empañado por humedad de muestra

muestra, ya que se observara como se condensa el vapor sobre la superficie del vidrio, removiendo moderadamente la muestra para tener un secado más uniforme(se recomienda tener cuidado de no perder material, al controlar la temperatura, e ir moviendo el material de forma lenta y controlada, para el caso, se busca flama baja en materiales que contengan producto de fresado de mezclas asfálticas o rocas basálticas de pequeñas dimensiones

4. Una vez seco, se retira el material utilizando las pinzas y se deja enfriar, para posteriormente obtener la masa de la muestra y se anota como (W2)



Ilustración 5: Comprobación de material seco por vidrio de reloj



CÁLCULOS

Instituto Tecnológico Nacional de México: Campus Apizaco Memoria de Residencias Profesionales



Se calcula y reporta el contenido por la formula:

$$\omega = \frac{W1 - W2}{W2 - Wt} * 100 = \frac{Wa}{Ws} * 100$$

Donde:

ω : Contenido de agua en %

W1: Masa del material húmedo más recipiente

W2: Masa de la muestra más recipiente

Wt: Masa del recipiente

Wa: Masa de agua

Ws: Masa del solido



GRANULOMETRIA

(METODO SIMPLIFICADO) Permite determinar la composición por tamaños de las partículas que integran el material, mediante su paso por una serie de mallas con aberturas calibradas y determinadas, empezando por las aberturas mayores, de tal forma que se vayan reteniendo los tamaños mayores, para obtener la masa de cada uno de ellos y posteriormente calcular su porcentaje respecto al total de la masa inicial. (IMT-M-MMP-1-06/03)

EQUIPO

- Balanza con aproximación de 0.1 gramos



- Fuente de calor de flama abierta



- Vidrio de reloj



- Pinzas



- Espátula pequeña





- Recipiente resistente al calor y anticorrosivo



- Charolas de lámina galvanizada



- Brocha



- Cucharon



- Juego de mallas calibradas, que contenga: No. 4 y 200, con tapa y plato de fondo



1. Una vez que se tiene la muestra siguiendo los procesos previamente explicados de secado y cuarteo de aproximadamente 3 kg, el cual se pesa y se anota la masa inicial (W_t)
2. Se procede a cribar el material por las mallas de $\frac{3}{4}$ ", No. 4 y No. 200 desde la más grande, se separa y procede a retirar el material retenido y se coloca en la balanza.



Ilustración C: Cribado de material

3. Se asegura que no tenga material retenido al golpear suavemente y limpiar con cepillo o brocha y reintegrando este material a las mallas si es que este es capaz de pasar la malla
4. Se pesa el total del material retenido en cada malla y se registra el valor correspondiente en la masa retenida (W_n-m).

CÁLCULOS

Si se obtienen los siguientes datos:

Tabla 2: Tabla de granulometría simplificada con datos iniciales

Ensaye No.	TSR-104/25	
Fecha Muestreo	26/04/2025	
Fecha Recibo	27/04/2025	
Fecha Ensaye	28/04/2025	
Capa	Sub Rasante	
Banco	Mezcla: 50% fresado carpeta, 30% limo arenoso, 20% base fresada	
Tamaño maximo	1"	
Masa de la muestra	7921	
	gr	%
Desperdicio en 3"	0	0

No. Malla	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Retenido Parcial (%)		% que pasa
3"	75.00	0			
No. 4	4.75	4394			
No. 200	0.075	3112			
Pasa No. 200					
Suma					



Para el retenido parcial; se toma la masa parcial (W_n) y se divide entre el total, se multiplica por el 100%, y se registra el valor correspondiente del % de retenido parcial:

$$RP\% = \frac{W_n}{W_t} * 100$$

Donde:

$RP\%$: Retenido parcial en porcentaje

W_n : Masa retenida parcial en cada malla

W_t : Masa total de la muestra

$$RP\% = \frac{4394}{7921} * 100 = 55.47\%$$

Posterior se suman los retenidos parciales para la segunda columna y finalmente el % que pasa se determina por:

$$\%PASA = 100 - RPA$$

Donde:

$\%PASA$: Porcentaje que pasa la malla

RPA : Retenido Parcial Acumulado

$$\%PASA^{No.4} = 100 - 55.47 = 44.53\%$$

Por lo que se obtendrán:

Tabla 3: Granulometría simplificada calculada

No. Malla	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Retenido Parcial (%)	% que pasa
3"	75.00	0	0	100
No. 4	4.75	4394	55.47	44.5
No. 200	0.075	3112	39.29	5.2
Pasa No. 200		415	5.24	100.00
Suma		7921	100	

COMPROBACIÓN

Se debe asegurar que el material cumpla con los requerimientos de porcentajes que pasa en cada malla según los requisitos de proyecto.

Para el caso de las capas rompedoras de capilaridad, este proceso se lleva a cabo con mallas de 6" y 1", y el proceso es el mismo al previamente indicado, pero para este caso se obtiene una muestra de 15 kg. Aproximadamente y se realiza con balanza de precisión a 1 gramo.



Del mismo modo, se busca cumplir con requisitos de proyecto, donde para el caso se proyectó tender una capa única de 15 cm de espesor, tendida con rodillo, y que el 100% del material pase la malla de 6" y que ni una sola partícula pase la malla de 1".



LÍMITES DE CONSISTENCIA

Esta prueba permite conocer las características de plasticidad de la porción de los materiales para terracerías que pasan la malla N°40 (0,425 mm), cuyos resultados se utilizan principalmente para la identificación y clasificación de los suelos. Las pruebas consisten en determinar el límite líquido, es decir, el contenido de agua para el cual un suelo plástico adquiere una resistencia al corte de 2,45 kPa (25 g/cm²); éste se considera como la frontera entre los estados semilíquido y plástico. El límite plástico o el contenido de agua para el cual un rollito se rompe en tres partes al alcanzar un diámetro de 3 mm; éste se considera como la frontera entre los estados plástico y semisólido. El índice plástico se calcula como la diferencia entre los límites líquido y plástico. (IMT-MMP-1-07/07)

EQUIPO

- Malla N°40: abertura de 0.425 mm



- Copa de Casagrande: calibrada para caída de 1 cm y ranurador plano



- Balanza: capacidad de 2000 g, con precisión de 0.01 g



- Vaso o recipiente: capacidad de 0.5 L
- Cápsulas de porcelana: 12 cm de diámetro





- Espátula flexible: de acero inoxidable, 7.5 cm de largo por 2 cm de ancho



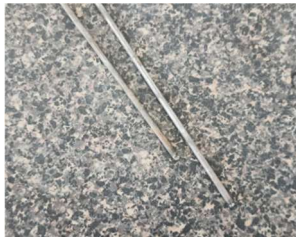
- Cuentagotas: de vidrio o metal
- Vidrios de reloj: refractarios



- Placa de vidrio: mínimo 40 × 40 cm y 0.6 cm de espesor



- Alambre de acero: 3 mm de diámetro y 10 cm de longitud o similar



PROCESO

1. Preparación de la muestra

- Tamizar manualmente el material por la malla N°40 hasta obtener al menos 300 g
- Separar 250 g, registrar su masa



- Saturar con agua en un recipiente, cubrir con paño húmedo y dejar reposar 24 h



Ilustración 7: Muestra para límites, en seco dentro del recipiente

2. Determinación del Límite Líquido (ω_L)

1. Tomar una capsula, correctamente marcada y determinar su tara (W_t)
2. Tomar 150 g de la muestra, homogenizar
3. Colocar en la copa de Casagrande hasta tener espesor de 8–10 mm



Ilustración 8: Muestra colocada en copa de Casagrande

4. Ranurar el material con el ranurador
5. Girar la manivela a 2 golpes por segundo hasta que se cierre la ranura en 13 mm



Ilustración 5: Muestra ranurada y cerrada tras ser golpeada en la copa de Casagrande

6. Tomar una muestra de 10 g, pesar el material con la capsula y registrarlo (W_h), para determinar el contenido de agua, al secar el material sobre una charola con arena, registrar el peso del material seco con tara (W_s), una vez se aseguro que toda el agua fue evaporada, para poder determinar el contenido de agua(w).
7. Repetir el procedimiento 4 veces, variando el contenido de agua (2 pruebas con más de 25 golpes y 2 con menos) y registrar los respectivos golpes



8. Graficar en papel semilogarítmico golpes (eje X, log) vs contenido de agua (eje Y, aritmético)
9. Obtener el contenido de agua correspondiente a 25 golpes = Límite Líquido (ω_L)

3. Determinación del Límite Plástico (ω_P)

1. Pesar y registrar el número de capsula, así como su tara.
2. Tomar una porción y formar una esfera de 12 mm.
3. Rodarla sobre una placa de vidrio hasta obtener cilindros de 3 mm de diámetro



Ilustración 10: Muestra para limite plástico siendo rodada en cristal

4. Si no se rompe en 3 partes al llegar a los 3 mm, repetir el proceso
5. Cuando se rompe al alcanzar 3 mm, determinar su contenido de agua (w), al registrar el peso de la capsula más el material húmedo, y posteriormente seco.



Ilustración 11: Límites plásticos secos

6. Repetir 3 veces y calcular el promedio = Límite Plástico (ω_P)

NOTA: Si no se pueden formar cilindros, se determina como suelo "No Plástico" (NP)

CALCULOS

Límite Líquido: De seguir el procedimiento previo se obtienen los siguientes datos:



Tabla 4: Datos base para cálculo de limite líquido

Limite Liquido							
Numero de golpes	Numero de capsula	Tara + suelo humedo (g)	Tara + suelo seco (g)	Masa de agua (g)	Tara (g)	Masa de suelo seco (g)	Contenido de agua (w)%
16	24	36.93	32.88		12.34		
23	2	33.62	31.22		18.15		
29	16	29.97	27.26		11.87		
35	10	30.22	27.56		11.95		

Para determinar la masa de agua:

$$W = W_h - W_s$$

Donde:

W : Masa de agua

W_h : Masa de tara mas suelo humedo

W_s : Masa de tara mas suelo seco

Para determinar la masa de suelo seco empleamos:

$$W_{ss} = W_s - W_t$$

Donde:

W_{ss} : Masa de suelo seco

W_s : Masa de tara mas suelo seco

W_t : Masa de tara

Por lo que tenemos:

Limite Liquido							
Numero de golpes	Numero de capsula	Tara + suelo humedo (g)	Tara + suelo seco (g)	Masa de agua (g)	Tara (g)	Masa de suelo seco (g)	Contenido de agua (w)%
16	24	36.93	32.88	4.05	12.34	20.54	
23	2	33.62	31.22	2.4	18.15	13.07	
29	16	29.97	27.26	2.71	11.87	15.39	
35	10	30.22	27.56	2.66	11.95	15.61	

Ahora determinamos el contenido de agua por medio de la ecuación:

$$W\% = \frac{W}{W_{ss}} * 100$$

Donde:

$W\%$: Contenido de agua

W : Masa de agua

W_{ss} : Masa de suelo seco

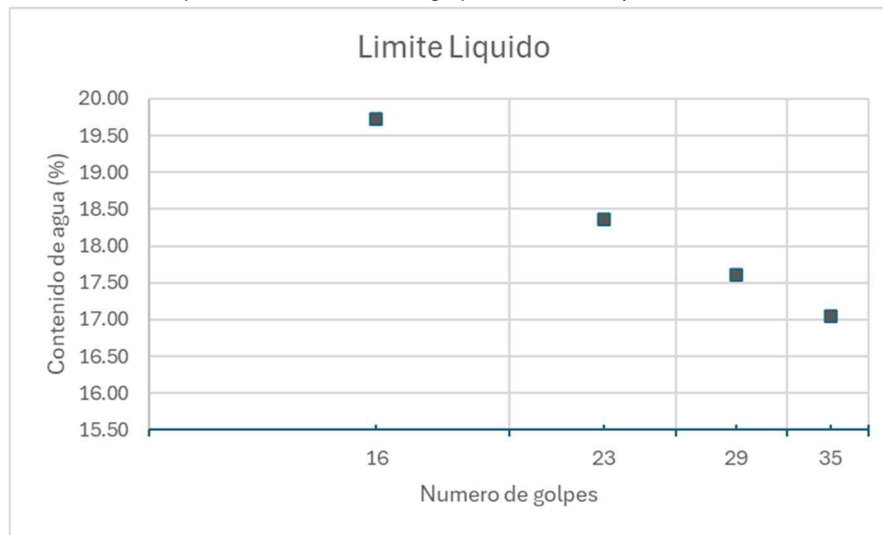
Teniendo:

Tabla 5: Limite liquido calculado

Limite Liquido							
Numero de golpes	Numero de capsula	Tara + suelo humedo (g)	Tara + suelo seco (g)	Masa de agua (g)	Tara (g)	Masa de suelo seco (g)	Contenido de agua (w)%
16	24	36.93	32.88	4.05	12.34	20.54	19.72
23	2	33.62	31.22	2.4	18.15	13.07	18.36
29	16	29.97	27.26	2.71	11.87	15.39	17.61
35	10	30.22	27.56	2.66	11.95	15.61	17.04

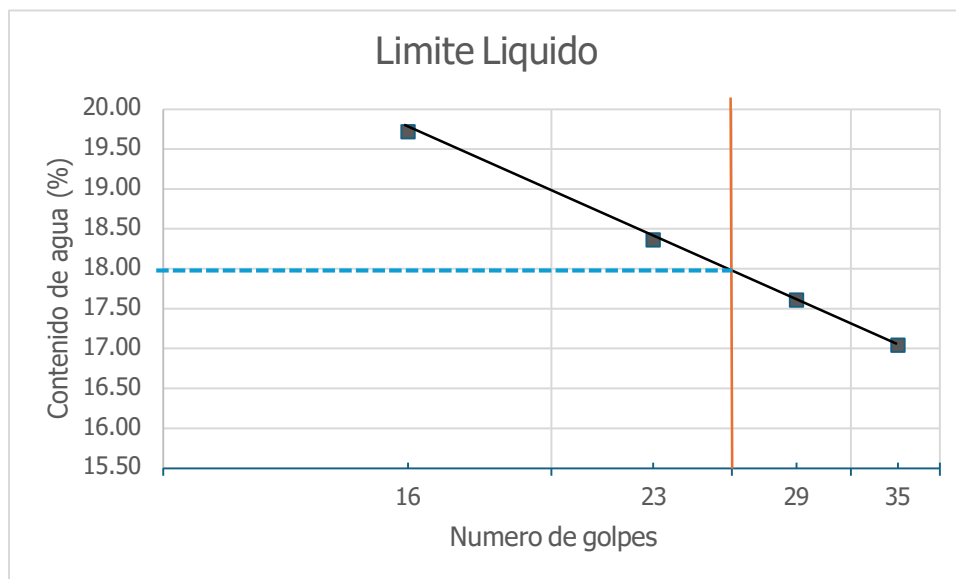
Finalmente se grafican los puntos obtenidos en la siguiente gráfica:

Grafica 1: Puntos dentro de grafica de limite liquido



Una vez se tiene el grafico, se traza una línea de tendencia entre los puntos y se determina el valor en el eje vertical (Contenido de agua) que corresponde a los 25 golpes.

Grafica 2: Calculo de contenido de agua a 25 golpes en grafica de limite liquido





Por lo que el valor correspondiente de contenido de agua para el caso es de 17.95 %

Limite Pastico: Se tienen los datos:

Tabla C: Datos base para cálculo de limite plástico

Limite Plastico						
Numero de capsula	Tara + suelo humedo (g)	Tara + suelo seco (g)	Masa de agua (g)	Tara (g)	Masa de suelo seco (g)	Contenido de agua (w)%
1	33.65	33.09		29.58		
5	35.84	35.01		29.8		
6	29.58	28.87		24.07		
9	25.85	25.06		20.21		

Siguiendo las mismas formulas anteriores, tenemos:

Tabla 7: Limite plástico calculado

Limite Plastico						
Numero de capsula	Tara + suelo humedo (g)	Tara + suelo seco (g)	Masa de agua (g)	Tara (g)	Masa de suelo seco (g)	Contenido de agua (w)%
1	33.65	33.09	0.56	29.58	3.51	15.95
5	35.84	35.01	0.83	29.8	5.21	15.93
6	29.58	28.87	0.71	24.07	4.8	14.79
9	25.85	25.06	0.79	20.21	4.85	16.29

Promediando los resultados tenemos que el valor de limite plástico para el caso es:

$$\frac{15.95 + 15.93 + 14.79 + 16.29}{4} = 15.74\%$$

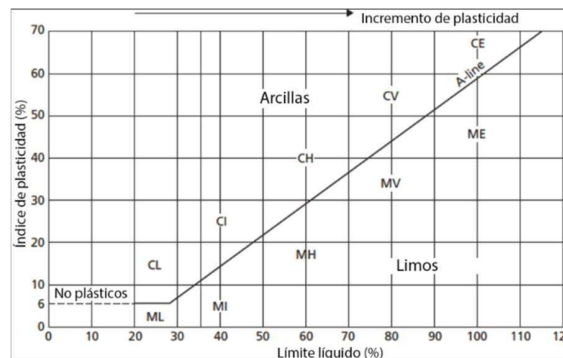
Finalmente determinamos el índice plástico a partir de:

$$IP = LL - LP$$

Por lo que:

$IP = 17.95 - 15.74 = 2.21 \%$ Una vez se tienen estos datos, se procede a graficar los puntos correspondientes en la carta de plasticidad, siendo:

Grafica 3: Carta de plasticidad





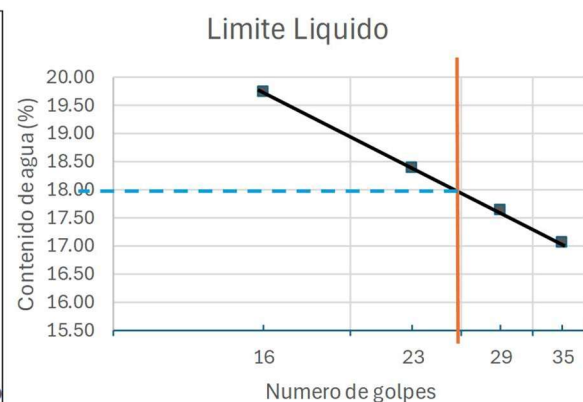
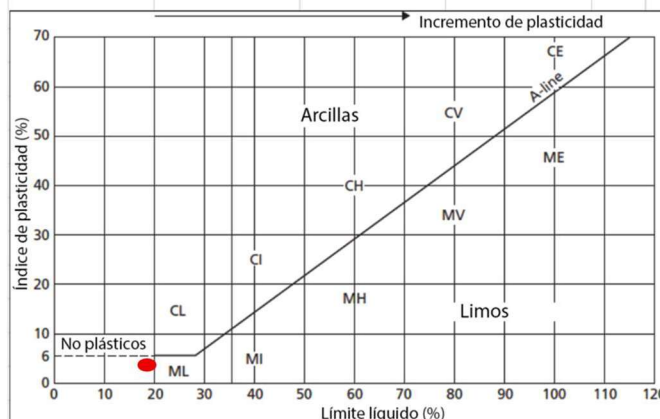
Por lo que se determina según la clasificación SUCS, que el material es un Limo de baja plasticidad.

Y se procede a reportar en un formato como el siguiente:

Limite Liquido							
Numero de golpes	Numero de capsula	Tara + suelo humedo (g)	Tara + suelo seco (g)	Masa de agua (g)	Tara (g)	Masa de suelo seco (g)	Contenido de agua (w)%
16	24	36.93	32.88	4.05	12.34	20.54	19.72
23	2	33.62	31.22	2.4	18.15	13.07	18.36
29	16	29.97	27.26	2.71	11.87	15.39	17.61
35	10	30.22	27.56	2.66	11.95	15.61	17.04

Limite Plastico						
Numero de capsula	Tara + suelo humedo (g)	Tara + suelo seco (g)	Masa de agua (g)	Tara (g)	Masa de suelo seco (g)	Contenido de agua (w)%
1	33.65	33.09	0.56	29.58	3.51	15.95
5	35.84	35.01	0.83	29.8	5.21	15.93
6	29.58	28.87	0.71	24.07	4.8	14.79
9	25.85	25.06	0.79	20.21	4.85	16.29

Promedio: 15.74



COMPROBACIÓN

Se debe asegurar que el material cumpla con los requerimientos especificados por la Secretaría de Comunicaciones en este caso, para las obras federales, se basas en la norma N-CMT-1-01/21 y N-CMT-1-03/21, donde para el caso de subrasante pide un límite liquido menor a 40 y un índice plástico menor a 12, por lo que se determina que cumple con estos requerimientos.



MASAS VOLUMETRICAS

Estas pruebas permiten determinar las masas volumétricas de los materiales para terracerías, es decir, las relaciones masa-volumen (IMT-MMP-1-08/03)

EQUIPO

- Recipiente cilíndrico de lámina galvanizada N°14 (10 L de capacidad, 25 cm de diámetro)



- Balanza de 20 kg con precisión de 5 g



- Cucharón metálico (20×11×10 cm)



- Regla metálica de 30 cm



Masa volumétrica en estado suelto:

1. Preparar y homogeneizar muestra (según el manual M-MMP-1-03)



Ilustración 12: Cuarteo de material para determinar masa volumétrica

2. Llenar el recipiente con cucharón desde 20 cm de altura, evitando el movimiento del molde y reacomodo del material.



Ilustración 13: Llenado de recipiente para determinación de masa volumétrica

3. Enrasar con regla y pesar el volumen final (P.V.S.S.).

CÁLCULOS

Para el caso, únicamente se obtiene el peso de la tara más el material, ya que tanto el peso del molde como su volumen deben ser conocidos, por lo que aplicamos:

$$P.V.S.S. = \frac{P}{V} * 1000$$

Donde:

$P.V.S.S.$: *Peso Volumetrico Seco Suelto* ($\frac{kg}{m^3}$)

V = *Volumen del molde* (en cm^3)

$P = M - T$



Donde M es la masa neta del material en gramos y T la tara o masa del molde en gramos; siendo que tenemos una masa total de 21,604 gramos, y el molde empleado tiene una masa de 6,719 gramos y 10111 cm³:

$$P = 21604 - 6719 = 14885 \text{ g}$$

$$P.V.S.S. = \frac{14885}{10111} * 1000 = \mathbf{1472 \text{ kg/m}^3}$$



COMPACTACIÓN AASHTO (estándar)

Este Manual describe los procedimientos de prueba AASHTO estándar (AASHTO T 99-95) y AASHTO modificada (AASHTO T 180-95), para determinar mediante la curva de compactación, la masa volumétrica seca máxima y el contenido de agua óptimo de los materiales (IMT-M-MMP-1-09/06)

EQUIPO

- Molde cilíndrico metálico de 101.6 ± 0.4 mm de diámetro interior con placa base y collarín removible



- Pisón metálico 2.5 ± 0.01 kg, caída de 30.5 cm



- Regla metálica: 25 cm de largo, con arista cortante



- Balanzas de 15 kg de capacidad, precisión 5 g y 2 kg de capacidad, precisión 0.1 g





- Probetas: 500 y 1000 cm³, graduadas cada 10 cm³



- Malla N°4 (4.75 mm)



- Charolas metálicas: 40 × 70 × 10 cm



- Cucharón metálico: 20 × 11 × 10 cm



- Aceite: para lubricar moldes.

PROCESO

1. Preparación de la muestra

La muestra se obtiene según la norma M-MMP-1-01 y posteriormente se prepara según la norma M-MMP-1-03, una vez homogeneizado y separado el material se procede a realizar la prueba, para este caso se emplea la variante A explicada en la M-MMP-1-09/06 separando 4 kg de mezcla, previamente cribado por la malla del N° 4



2. Determinación de masa volumétrica

1. El material colocado en la charola se le añade agua hasta que tenga 4–6% menos que la humedad óptima estimada
2. En el caso de que se hayan formado grumos durante la incorporación del agua, se revuelve el material hasta disgregarlo totalmente. Se mezcla cuidadosamente la porción para homogeneizarla y se divide en tres fracciones aproximadamente iguales
3. Se coloca una de las fracciones de material en el molde para compactar el material con el pisón, aplicando 25 golpes para el caso, repartiendo uniformemente los golpes en la superficie de la capa, para el caso de la prueba estándar se utiliza el pisón de 2,5 kg, con una altura de caída libre de 30,5 cm. Se escarifica ligeramente la superficie de la capa compactada y se repite el procedimiento descrito para las capas subsecuentes.



Ilustración 14: Compactación de muestra AASHTO (estándar)

4. Terminada la compactación de todas las capas, se retira la extensión del molde y se verifica que el material no sobresalga del cilindro en un espesor promedio de 1,5 cm como máximo; de lo contrario la prueba se repetirá utilizando de preferencia una nueva porción de prueba con masa ligeramente menor que la inicial. En el caso de que no exceda dicho espesor, se enrasa cuidadosamente el espécimen con la regla metálica.



Ilustración 15: Material enrasado en molde AASHTO (estándar)

5. Se determina la masa del cilindro con el material de prueba y se registra como W_i , en g, anotándola en una hoja de registro
6. Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de su parte central se obtiene una porción representativa para determinar su contenido de agua, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma M-MMP-10-4, Contenido de Agua; se registran los datos correspondientes a esta determinación
7. Se incorporan las fracciones del espécimen al material que sobró al enrasarlo, en su caso, se disgregan los grumos, se agrega aproximadamente 2% de agua con respecto



a la masa inicial de la porción de prueba y se repiten los pasos descritos del paso 2 al 6, hasta obtener un mínimo de 4 puntos, de modo que se pueda graficar la curva de compactación

NOTA: La norma especifica el uso de una base de concreto, pero puede ser realizada sobre el suelo, siempre y cuando este soporte la energía de compactación y el espécimen no disipe energía en el suelo, como si se realizara en terreno suelto.

CÁLCULOS

Del ensaye realizado a un terreno natural, y los datos conocidos del molde, se obtienen los siguientes datos:

Tabla 8: Datos base para cálculo de curva de compactación AASHTO

Ensaye	TTN-099/25					
Fecha de Muestreo	23/04/2025					
Fecha de Ensaye	24/04/2025					
Descripcion de muestra	Limo Arenoso					
Para emplearse en	Terreno Natural					
Banco de procedencia	Tomado en sitio					
Tipo de prueba	AASHTO (estandar)					
Capas	3	Molde	2			
Golpes por capa	25	Vol (cm3)	942			
	1	2	3	4	5	6
Masa molde + suelo humedo Wi (g)	3687	3820	3859	3810		
Masa del molde Wt (g)	1964	1964	1964	1964		
Masa suelo humedo Wm (g)						
Volumen del molde (cm3)	942	942	942	942		
Masa volumetrica humeda Ym (kg/m3)						
	HUMEDAD DE LA MUESTRA					
Masa de suelo humedo (g)	301.4	301.8	301.5	300.9		
Masa de suelo seco (g)	277.9	273.1	267.3	261.1		
Masa de agua (g)						
Contenido de agua W (%)						
Masa volumetrica seca max. Yd (kg/m3)						

Para determinar masa del suelo húmedo:

$$Wm = Wi - Wt$$

Donde:

Wm : Masa del suelo humedo

Wi : Masa de molde mas suelo humedo

Wt : Masa del molde

La masa volumétrica húmeda, se obtiene de:

$$Ym = \frac{Wm}{V} * 1000$$



Donde:

Y_m : Masa volumetrica humeda en kg/m^3

W_m : Masa del suelo humedo en g

V : Volumen del molde en cm^3

El contenido de agua W (%) se determina según la norma M-MMP-1-04/03, misma que esta explicada con anterioridad en este documento. Finalmente, para poder determinar la masa volumétrica seca máxima (Y_d) y poder realizar la gráfica de la curva de compactación, se procede a calcular empleando:

$$Y_d = \frac{Y_m}{1 + \left(\frac{W}{100}\right)}$$

Donde:

Y_d : Masa volumetrica seca maxima en $\frac{kg}{m^3}$

Y_m : Masa volumetrica humeda en $\frac{kg}{cm^3}$

W : Contenido de agua en %

Calculando tenemos:

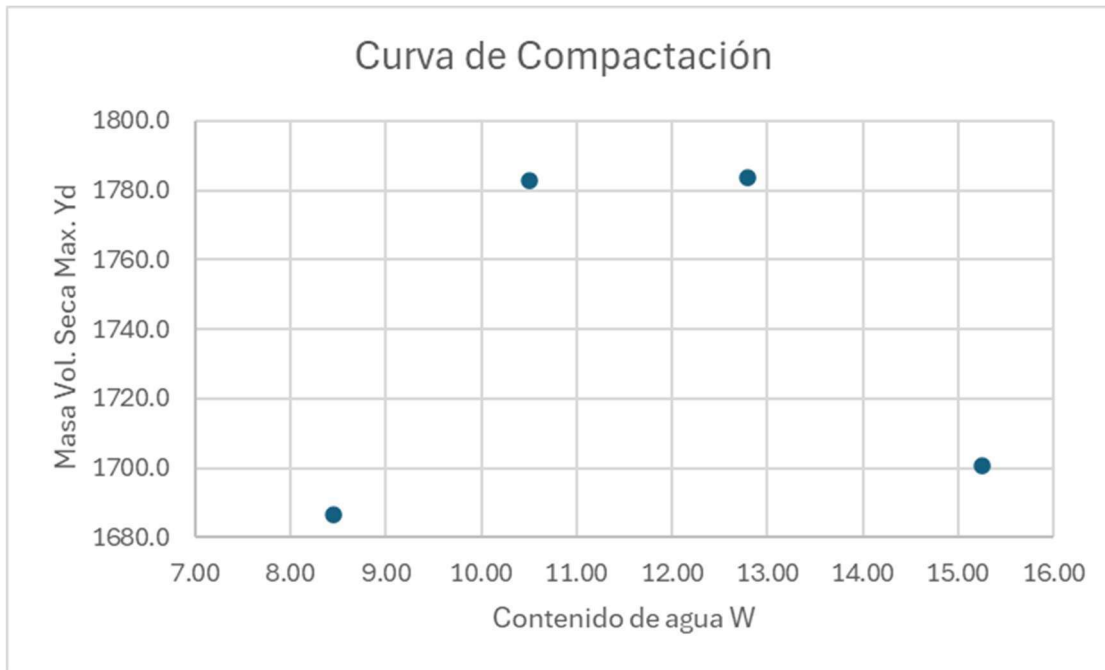
Tabla S: Datos calculados para graficar curva de compactación AASHTO

	1	2	3	4
Masa molde + suelo humedo W_i (g)	3687	3820	3859	3810
Masa del molde W_t (g)	1964	1964	1964	1964
Masa suelo humedo W_m (g)	1723	1856	1895	1846
Volumen del molde V (cm ³)	942	942	942	942
Masa volumetrica humeda Y_m (kg/m ³)	1829.1	1970.3	2011.7	1959.7
HUMEDAD DE LA MUESTRA				
Masa de suelo humedo (g)	301.4	301.8	301.5	300.9
Masa de suelo seco (g)	277.9	273.1	267.3	261.1
Masa de agua (g)	23.5	28.7	34.2	39.8
Contenido de agua W (%)	8.46	10.51	12.79	15.24
Masa volumetrica seca max. Y_d (kg/m ³)	1686.5	1782.9	1783.5	1700.5

Se procede a graficar los datos de contenido de agua y masa volumétrica seca máxima, por lo que se tiene:

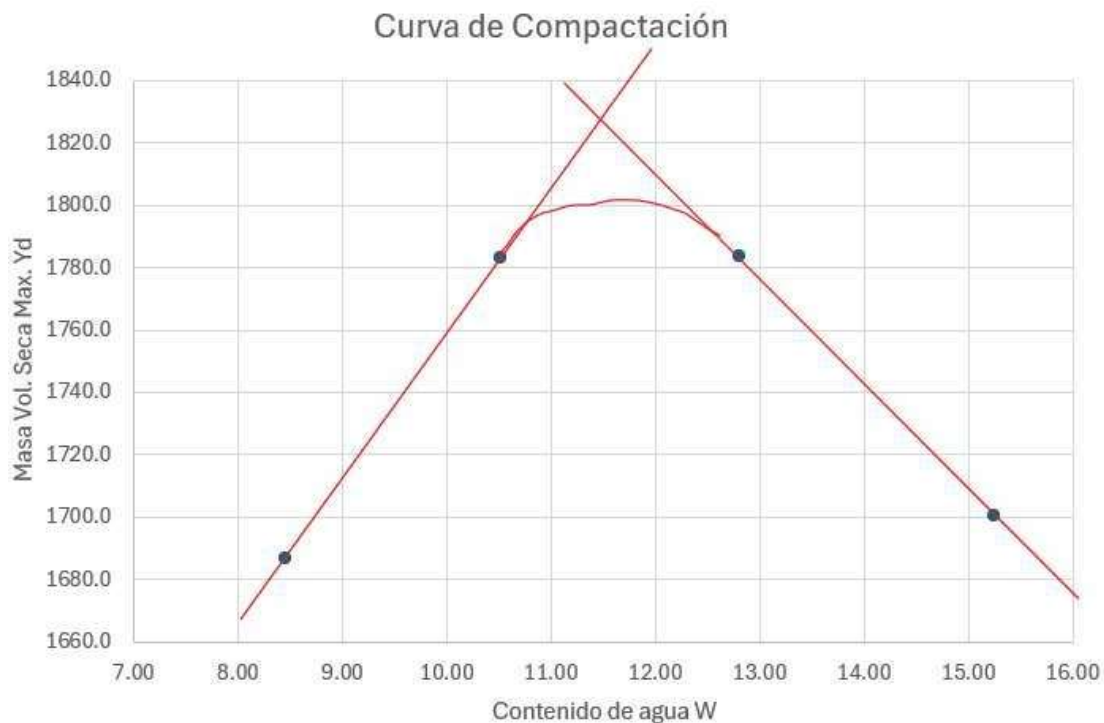


Grafica 5: Puntos dentro de curva de compactación AASHTO



Para graficar a mano se trazan 2 líneas rectas, en ambos extremos y se determina la curva, como se observa a continuación

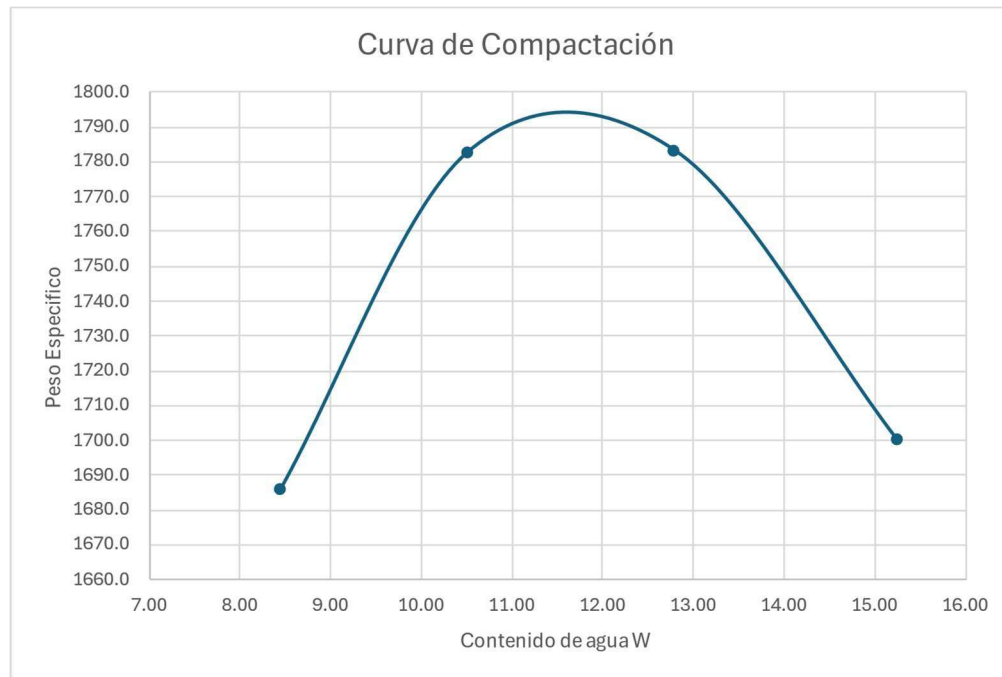
Grafica C: Curva de compactación con método manual





Por otro lado, los gráficos digitales permiten graficar automáticamente la curva:

Grafica 7: Curva de compactación AASHTO con apoyo digital



Grafica donde se obtiene en el punto más alto de la curva la masa volumétrica seca máxima, así como la humedad optima; para el caso siendo una masa volumétrica seca máxima (γ_d) de 1794 kg/m³ con una humedad optima de 11.5 %



GRADO DE COMPACTACIÓN

Describe el procedimiento de prueba para determinar el grado de compactación de los materiales para terracerías a que se refieren las Normas N°CMT-1-01

EQUIPO

- Herramientas para cala (palas, cucharón, mazo, pico, barreta, cuchara de albañil, etc.)



- Dispositivo de arena (recipiente con fondo cónico y tubo flexible)



- Balanzas (20 kg y 5 g de aproximación y 2 kg y 0.1 g de aproximación)



- Bolsas de plástico





- Charolas



- Regla de 30 cm
- Arena calibrada (entre mallas N°20–30)

PROCESO

1. Trabajos previos

1. Determinar el volumen del recipiente de calibración con agua.
2. Calibrar el dispositivo con arena seca, registrando la masa promedio usada.
3. Calcular la masa volumétrica de la arena seca.

2. Procedimiento de la prueba

1. Seleccionar y preparar el sitio, que sea sensiblemente plano, limpio de una superficie de 1 x 1 m. aproximadamente.
2. Excavar una cala cuadrada, cuidando sus bordes y fondo, cumpliendo con los requisitos de la tabla:

Tabla 10: Volumen mínimo de cala y muestra para determinación de humedad según tamaño máximo

Tamaño máximo del material (pasa la malla) ^[1]	Volumen mínimo aproximado de la cala cm^3	Muestra mínima para determinar el contenido de agua del material g
N°4 (4,75 mm)	3 000	100
½" (12,5 mm)	3 000	250
1" (25,0 mm)	3 500	500
2" (50,0 mm)	3 500	1 000
3" (75,0 mm)	4 000	1 000

[1] Que se determinará mediante el procedimiento de granulometría simplificada indicado en el Manual M-MMP-1-06, *Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías*.



Ilustración 17: Excavación de cala para chequeo de compactaciones



Ilustración 18: Extracción de material de cala de compactación

3. Todo el suelo que se va extrayendo de la cala se coloca en una charola, tomando las precauciones necesarias para evitar pérdidas de material y de su contenido de agua; inmediatamente después de concluida la excavación se determina la masa del material extraído y se registra como W_m , en kg. Homogeneizar el material y tomar muestra para determinar contenido de agua (ω).
4. El material extraído se mezcla hasta homogeneizarlo y de éste se toma una muestra representativa que sirve para determinar su contenido de agua de acuerdo con el Manual M·MMP·1·04, Contenido de Agua, el cual se registra como ω , en %.
5. Se determina la masa de una cantidad de arena limpia y seca que sea estimativamente superior en 25% a la requerida para llenar el volumen de la cala, registrándola como W_s , con ella se alimenta el dispositivo de prueba manteniendo el tubo flexible recogido mediante el cordel para evitar la salida de la arena
6. Se introduce la trompa en la cala, se levanta el dispositivo y se suelta el cordel que sujeta la trompa hasta que ésta quede en posición vertical y deje salir la arena con una altura mínima de caída, permitiéndole que se distribuya en toda la sección del recipiente; para ello, se desplaza el dispositivo sin que la trompa pierda su posición vertical y se sube lo conveniente a fin de conservar la altura mínima de caída.



Ilustración 15: Llenado de cala de compactación con arena

7. Se determina la masa de la arena que sobró en el dispositivo de prueba, y se registra como (C), en g.
8. Finalmente, por diferencia de masas se obtiene la arena empleada en total para llenar la cala, registrándola como W_s .

Para la realización de la prueba, es necesario llenar un formato con todos los datos correspondientes de localización de la prueba, y posterior proseguir a los debidos cálculos, al anotar los datos obtenidos.

Tabla 11: Datos base para cálculo de grado de compactación en campo

Para	GCI			
Obra	Cambio de estructura de pavimento APP Texcoco-Zacatepec tramo 1			
Fecha	01/06/2025			
Ensaye	TSR-153/25			
Sub-tramo:	112+329-112+471 C. baja Cpo. B			
Capa:	primera			
Espesor proyecto (cm):	30			
Compactación de proyecto (%):	100+-2			
Verificación:	Compactación			
DATOS DE EJECUCION				
No. Ensaye	1	2	3	4
Estación	112+330	112+380	112+430	
Lado	izquierdo	centro	derecha	
Distancia transversal al eje	1.55	0.1	1.6	
Coordenadas UTM				
Profundidad de cala	15	14.8	15	
TRAZABILIDAD DE LA PRUEBA				
a) Masa Volumetrica arena (kg/m3)	1524	1524	1524	
b) Masa de arena inicial (g)	4837	4608	4598	
c) Masa de arena final (g)	2100	2315	2411	
d) Arena empleada (g) [b-c]				
e) Volumen excavado (m3) [(d/a)*1000]				
f) Masa del material (g)	3745	3098	2983	
g) Masa volumetrica humeda (kg/m3) [f/e]*1000]				
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD				
h) Masa de recipiente (g)	728.1	725.1	650.2	
i) Masa de recipiente + suelo humedo (g)	1228.1	1226.1	1150.5	
j) Masa de recipiente + suelo seco (g)	1173.1	1172.1	1095.7	
k) Masa de agua (g) [i-j]				
l) Masa de solido (g) [j-h]				
m) Humedad (%) [(k/l)*100]				
GRADO DE COMPACTACIÓN				
n) Masa volumetrica seca maxima laboratorio (kg/m3)	1840	1840	1840	
o) Humedad optima en laboratorio (%)	12.2	12.2	12.2	
p) Masa volumetrica seca (kg/m3) [g/(m+100)*100]				
q) Grado de compactacion (%) [(p/n)*100]				

Se procede a realizar los cálculos con las fórmulas indicadas en el formato, por lo que ahora tenemos:



Tabla 12: Cálculo de grado de compactación en campo

Para	GCI			
Obra	Cambio de estructura de pavimento APP Texcoco-Zacatepec tramo 1			
Fecha	01/06/2025			
Ensaye	TSR-153/25			
Sub-tramo:	112+329-112+471 C. baja Cpo. B			
Capa:	primera			
Espesor proyecto (cm):	30			
Compactación de proyecto (%):	100+-2			
Verificación:	Compactación			
DATOS DE EJECUCION				
No. Ensaye	1	2	3	4
Estación	112+330	112+380	112+430	
Lado	izquierdo	centro	derecha	
Distancia transversal al eje	1.55	0.1	1.6	
Coordenadas UTM				
Profundidad de cala	15	14.8	15	
TRAZABILIDAD DE LA PRUEBA				
a) Masa Volumetrica arena (kg/m3)	1524	1524	1524	
b) Masa de arena inicial (g)	4837	4608	4598	
c) Masa de arena final (g)	2100	2315	2411	
d) Arena empleada (g) [b-c]	2737	2293	2187	
e) Volumen excavado (m3) [(d/a)*1000]	1795.9	1504.6	1435.0	
f) Masa del material (g)	3745	3098	2983	
g) Masa volumetrica humeda (kg/m3) [f/e]*1000]	2085.3	2059.0	2078.7	
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD				
h) Masa de recipiente (g)	728.1	725.1	650.2	
i) Masa de recipiente + suelo humedo (g)	1228.1	1226.1	1150.5	
j) Masa de recipiente + suelo seco (g)	1173.1	1172.1	1095.7	
k) Masa de agua (g) [i-j]	55.0	54.0	54.8	
l) Masa de solido (g) [j-h]	445.0	447.0	445.5	
m) Humedad (%) [(k/l)*100]	12.36	12.08	12.30	
GRADO DE COMPACTACIÓN				
n) Masa volumetrica seca maxima laboratorio (kg/m3)	1840	1840	1840	
o) Humedad optima en laboratorio (%)	12.2	12.2	12.2	
p) Masa volumetrica seca (kg/m3) [g/(m+100)*100]	1855.89	1837.10	1851.00	
q) Grado de compactacion (%) [(p/n)*100]	100.86	99.84	100.60	

En caso de no poder determinar la humedad en campo, se puede presuponer que esta es igual a la óptima, con el fin de agilizar los trabajos.

COMPROBACIÓN

Se debe asegurar que el material cumpla con los requerimientos especificados por la Secretaría de Comunicaciones en este caso, para las obras federales, se basas en la norma N-CMT-1-01/21 y N-CMT-1-03/21. Por lo que esta pide que todas las compactaciones estén en un rango de $100 \pm 2 \%$, por lo que se considera que la compactación es adecuada y se puede liberar la capa para continuar con los trabajos correspondientes.



VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) Y EXPANSION (EXP) EN LABORATORIO

La prueba de expansión y Valor Soporte de California (CBR) permite evaluar el comportamiento de los materiales empleados en terraplén, subyacente y subrasante al ser sometidos a condiciones de saturación. Su objetivo es verificar que estos materiales cumplan con las especificaciones establecidas en las normas N·CMT·1·01, N·CMT·1·02 y N·CMT·1·03. El procedimiento consiste en compactar dinámicamente tres especímenes del material, cada uno con distinta energía de compactación, pero con un mismo contenido de agua, correspondiente al que presenta el material en el banco, posteriormente, los especímenes se someten a un proceso de saturación para medir el cambio volumétrico que experimentan. Una vez saturados, se introduce un pistón de acero en cada espécimen para aplicar cargas que generen penetraciones específicas, la expansión se calcula como el porcentaje de aumento en altura debido a la saturación respecto a la altura original del espécimen. El CBR se determina como la menor relación porcentual entre las cargas aplicadas y las cargas estándar de referencia, que son 13.34 kN (1,360 kg) y 20.01 kN (2,040 kg) para las respectivas penetraciones. A partir de los resultados obtenidos en los tres especímenes, se estima el valor promedio de expansión y CBR que tendría el material al grado de compactación especificado por norma, con el contenido de agua correspondiente.

EQUIPO

- Un gato de carga, mecánico o hidráulico, capaz de proveer un desplazamiento constante de 1,27 mm/min provisto con un plato de apoyo donde se colocará el espécimen por probar (Opcionalmente, en lugar del equipo de carga descrito se puede utilizar una prensa mecánica, hidráulica o neumática, con capacidad de 29,42 kN (3 t); aproximación de lectura mínima de 44 N (4,54 kg); control de velocidad de aplicación de cargas que permita un desplazamiento constante de 1,27 mm/min, sin producir impactos o pérdida de carga, y que cuente con el pistón, el extensómetro y el cronómetro).





- 3 dispositivos de medición de extensión, con tripie.



- Una placa de expansión circular de 149,23 a 150,81 mm de diámetro, con al menos 42 orificios de 1,6 mm de diámetro distribuidos uniformemente, provista de un vástago de altura ajustable.



- Tres moldes cilíndricos de acero, de $152,4 \pm 0,66$ mm de diámetro interior y $177,8 \pm 0,46$ mm de altura, provistos cada uno de un collarín de extensión de 50,8 mm de altura mínima, con el mismo diámetro interior del molde y de una placa de base perforada con al menos 28 orificios de 1,6 mm de diámetro, distribuidos uniformemente, así como de una placa de base sin perforaciones por cada grupo de moldes, los moldes tendrán un volumen de $2\,124 \pm 25$ cm³. Tanto las placas de base como el collarín estarán fabricados de tal manera que se puedan acoplar en cualquier extremo del molde.



- Disco espaciador de acero de $150,8 \pm 0,8$ mm de diámetro y $61,4 \pm 0,13$ mm de altura.



- Dos pisones metálicos del tipo martillo deslizante, uno con masa de $2,5 \pm 0,01$ kg y altura de caída de 305 ± 1 mm, y otro con masa de $4,54 \pm 0,01$ kg y altura de caída de 457 ± 1 mm, ambos con cara inferior de apisonado circular de $50,80 \pm 0,25$ mm de diámetro y acoplados a sendas guías metálicas tubulares.



- Juego de placas de carga (placas anulares, con diámetro de 149,23 a 150,81 mm, con un orificio central de aproximadamente 54,0 mm de diámetro y con una masa de $4,54 \pm 0,02$ kg. Y otra con diámetro de $149,23 \pm 1,6$ mm y una masa de $2,27 \pm 0,02$ kg cada una. La ranura que comuniqué el orificio central con el perímetro exterior tendrá un ancho de aproximadamente 54,0 mm.)



- Tanque de saturación capaz de mantener el nivel de agua 25 mm por encima de los moldes.



- Mallas de $\frac{3}{4}$ " y No. 4
- Balanza con capacidad mínima de 15 kg y aproximación a 1 g.





- Charolas metálicas: 40 × 70 × 10 cm



- Probetas: 500 y 1000 cm³, graduadas cada 10 cm³



- Cucharón metálico: 20 × 11 × 10 cm



- Regla metálica: 25 cm de largo, con arista cortante



- Aceite para lubricar los moldes
- Papel filtro grueso (circular de 149,23 a 150,81 mm de diámetro).

PROCESO

1. Preparación de la muestra

Antes de iniciar la prueba de CBR y expansión, es necesario preparar adecuadamente la muestra del material para terracerías. Este proceso comienza con la determinación del contenido de agua del material en el banco a 1.5 m de profundidad (ω_b), usando el procedimiento del Manual M·MMP·1·04, así como la determinación de su masa volumétrica seca máxima (Y_d máx.) conforme al método AASHTO estándar descrito en el Manual



M·MMP·1·09. (en caso de no contar con el dato de banco, se puede emplear la humedad óptima)

Con base en estos datos, se selecciona una muestra representativa del material de aproximadamente 21 kg, obtenida por cuarteo a partir del material secado, disgregado y preparado según el Manual M·MMP·1·03. En caso necesario, se realiza un cribado manual con malla de $\frac{3}{4}$ " (19 mm) para eliminar partículas de mayor tamaño; el material que pasa la malla se conserva y el retenido se desecha.

A la masa retenida se le agrega de forma uniforme la cantidad de agua necesaria para ajustar su contenido de humedad al valor ω_b . El volumen de agua a añadir se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V\omega = \frac{Ws(\omega_b + 0,25)}{100}$$

Donde:

- $V\omega$ = volumen de agua a agregar (cm^3)
- Ws = masa del material seco (g)
- ω_b = contenido de agua del banco (%)

Después de incorporar el agua, el material se mezcla completamente para garantizar su homogeneidad y deshacer cualquier grumo que se haya formado durante la humectación. Una vez homogenizado, se divide en tres porciones iguales, ya que se prepararán tres especímenes de prueba. Cada una de estas porciones se subdivide a su vez en tres fracciones similares, que se usarán para conformar las tres capas de compactación de cada espécimen.

Durante todo este proceso, las fracciones del material deben mantenerse cubiertas con un paño húmedo para evitar la pérdida de humedad por evaporación. Estas fracciones estarán listas para ser usadas en la compactación.



Ilustración 20: Muestra de CBR para terracerías preparada



2. Procedimiento de prueba

1. Con las porciones de material preparadas como se indica en la Cláusula E., se compactan tres especímenes en la forma que se describe a continuación, con las energías de compactación que se indican:

Tabla 13: Energía de compactación (golpes necesarios) en especímenes de CBR según capa

Material para	Especimen N°	Energía específica de compactación $\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$	Número de golpes por capa	
			Pisón de 2,50 kg	Pisón de 4,54 kg
Terraplén	1	6,03	56	--
	2	2,69	25	--
	3	1,08	10	--
Subyacente	1	6,03	56	--
	2	2,69	25	--
	3	1,08	10	--
Subrasante	1	27,42	--	56 ^[1]
	2	6,03	56	--
	3	2,69	25	--

[1] En el caso de que sólo se disponga del pisón de 2,50 kg, al primer espécimen de material para subrasante se le aplicarán 153 golpes por capa con este pisón.

2. Se ensambla un molde con su collarín de extensión a la placa de base sin perforaciones, por medio de las abrazaderas y se lubrican con aceite las paredes interiores del molde y del collarín; se inserta el disco espaciador dentro del molde; se coloca un papel filtro sobre el disco para impedir que el material se adhiera a él.



Ilustración 21: Molde para CBR preparado para empezar compactaciones

3. Se coloca en el molde, una de las fracciones de la porción de material y se compacta con el pisón, aplicando, uniformemente repartidos en la superficie de la capa de

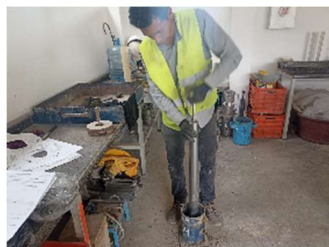


Ilustración 22: Compactación de espécimen para CBR



material, el número de golpes por capa que corresponda según su utilización prevista y del espécimen de que se trate, de acuerdo con la tabla anterior. Se escarifica ligeramente la superficie de la capa compactada y se repite el procedimiento descrito para las dos fracciones subsecuentes.

4. Terminada la compactación de todas las capas, se retira el collarín de extensión del molde y se verifica que el material no sobresalga del molde en un espesor promedio de 1,5 cm como máximo, de lo contrario la compactación se repite, para lo que se extrae el material del molde, se disgrega, se mezcla cuidadosamente para homogenizarlo y se compacta como se indica en el Inciso anterior, pero disminuyendo ligeramente el tamaño de las fracciones de la porción de material en cada capa, para que no se exceda dicho espesor, por otro lado, si el material sobresale del molde en no más de un espesor promedio de 15 mm, se enrasa cuidadosamente el espécimen compactado con la regla metálica, depositando en una charola el material excedente, para determinar su contenido de agua de compactación (ω_0), como se indica en el Manual M·MMP·1·04, Contenido de Agua y verificar que éste corresponda al del material en el banco a 1,5 m de profundidad (ω_b), con una aproximación de $\pm 0,25\%$.
5. Se rellenan con material fino (puede ser cribado para mayor facilidad) las oquedades que pudieran resultar por el enrasado del espécimen compactado; se desprende de la placa de base el molde con el espécimen, se retira el disco espaciador, se voltea el molde y se determina la masa del molde con el espécimen, que se registra como W_{mj+ei} , en g.



Ilustración 23: Muestra de CBR correctamente enrasada

6. Se coloca otro papel filtro y sobre estela placa de extensión con el vástago y las placas de peso necesarias según proyecto (siendo de 4.54 ± 0.2 kg), para posteriormente colocar el collarín y sumergir en agua.
7. Una vez en el tanque de saturación se permite el drenado por la parte superior e inferior, cuidando que el nivel del agua este a 25mm de la parte superior del molde, se coloca el trípode con el micrómetro y se anota la medida inicial a una aproximación de 0.01 mm, se registra como (E0) y se deja saturar por 96 horas.
8. Se repite el procedimiento indicado en esta Fracción para las otras dos porciones de material, siguiendo la energía de compactación especificada en el paso 1.



Ilustración 24: Moldes en saturación para determinar expansión



9. Posterior a las 96 horas se toma la medida del micrómetro anotándola como (Ef) y se saca cuidadosamente el molde
10. Se deja drenar por 15 minutos, se retira el collarín, el papel filtro, el vástago y las placas de peso, para registrar el peso de la muestra (Wmf)
11. Inmediatamente después se procede a colocar nuevamente el collarín con los pesos previos para proceder a la penetración del espécimen
12. Se inserta el pistón penetrador por el orificio central de las placas y se procede a subir el espécimen, de forma cuidadosa hasta que comience a marcar lecturas.
13. Se ajusta el extensómetro y la carga a ceros para posteriormente penetrar el espécimen, siguiendo la siguiente tabla:

Tabla 14: Relación de tiempos y penetración para especímenes de CBR

Lecturas	Tiempo min:s	Penetración mm
Primera	0:30	0,64
Segunda	1:00	1,27
Tercera	1:30	1,91
Cuarta	2:00	2,54
Quinta	3:00	3,81
Sexta	4:00	5,08
Séptima	6:00	7,62
Octava ^[1]	8:00	10,16
Novena ^[1]	10:00	12,70

[1] Pueden omitirse las lecturas de las cargas aplicadas para penetraciones de 10,16 y 12,70 mm cuando se rebase la capacidad del equipo de carga.

14. Concluida la penetración del espécimen, éste se saca del molde, se corta longitudinalmente y de su parte central se obtiene una porción representativa para determinar su contenido de agua en estado saturado (W%)
15. Se repite el proceso con los 2 moldes restantes.

NOTA: La norma especifica el uso de una base de concreto, pero puede ser realizada sobre el suelo, siempre y cuando este soporte la energía de compactación y el espécimen no disipe energía en el suelo, como si se realizara en terreno suelto.

CÁLCULOS

Valor Soporte de California: Se comienza con el cálculo de la humedad de prueba, para el caso se empleará la óptima, a partir de la formula:

$$V\omega = \frac{Ws(\omega_b + 0.25)}{100}$$

Donde:

$V\omega$: Volumen de agua por agregar (cm³)

Ws : Masa de material seco (g)

ω_b : Contenido de agua de material en banco o humedad optima (%)



Una vez terminado el ensaye como se describió anteriormente se puede llenar el siguiente formato, con el cual tenemos los datos:

El posterior registro de datos se realiza en base a un formato como el siguiente, donde de igual forma se calculan las humedades obtenidas, así como los datos de expansión y la carga aplicada en la penetración del espécimen:

Tabla 15: Datos base para cálculo de CBR en material de subrasante

Fecha de ensaye		18/05/2025		
Muestra		TSR-133/25		
Capa		Sub-Rasante		
Maximo AASHTO		1975		
Humedad optima		8		
Molde		26	64	24
Nuemro de golpes		25	56	56*
# disco espaciador		1		
Humedad de prueba (cálculo)		$V_w = 14121(8+0.25) = 116498.25/100 = 1,1165 \text{ cm}^3(\text{ml})$		
Masa molde + material compactado en g (Wm)		10908	10965	11407
Humedad de prueba	Masa humeda	502.8	501.7	500.6
	Masa seca	467.5	466.8	463.9
	Masa de agua	35.3	34.9	36.7
	% humedad	7.55	7.48	7.91
Expansión	Lectura Inicial (E0)	6.48	8.21	5.4
	Lectura Final (Ef)	7.87	8.3	5.55
Masa molde + material saturado en g (Wmf)		11024	11052	11466
Humedad de prueba	Masa humeda	500.2	500.3	500.3
	Masa seca	452.8	456.5	463
	Masa de agua	47.4	43.8	37.3
	% humedad	10.47	9.59	8.06
Relacion Tiempo-Penetración				
Tiempo (Mín)	Penetración (mm)	Carga (kN)		
00:30	0.64	70	191	50
01:30	1.27	101	282	112
01:30	1.91	126	336	220
02:00	2.54	143	392	331
03:00	3.81	180	478	539
04:00	5.08	219	525	714
06:00	7.62	257	662	1023
08:00	10.16	303	806	1302
10:00	12.70	377	877	1531



Una vez obtenidos los datos necesarios, es indispensable conocer datos exactos de los moldes, como su diámetro, altura y masa, así como la altura del disco espaciador, una vez obtenidos y teniendo en cuenta los datos previos, se procede a calcular la masa volumétrica seca (Y_d), así como el contenido de agua de compactación (W_c), empelando las fórmulas siguientes:

$$Y_{d_j} = \frac{1000(W_{mj+ef} - W_{mj})}{0.25\pi \left(\frac{D_{mj}}{10}\right)^2 \left(\frac{H_{mj}}{10} - \frac{H_{dek}}{10}\right) \left(1 + \frac{W_{satj}}{100}\right)}$$

Donde:

Y_{d_j} : Masa Volumetrica Seca

W_{mj+ef} : Masa del molde + especimen saturado

W_{mj} : Masa del molde

D_{mj} : Diametro del molde

H_{mj} : Altura del molde

H_{dek} : Altura del disco espaciador

W_{satj} : Contenido de agua de material saturado

Los datos de los moldes empleados son:

Tabla 1C: Datos de moldes para CBR

Molde	26	64	24
Diam Int. (Dm) en mm	152.56	152.52	152.06
Altura (Hm) en mm	177.6	177.8	177.9
Masa (Wm) en mm	6684	6663	6961
Disco Espaciador	1	1	1
Altura (Hde) en mm	63.3	63.3	63.3

Aplicando la formula a los datos de la muestra en el molde 26:

$$Y_{d_{26}} = \frac{1000(11024 - 6684)}{0.25\pi \left(\frac{152.56}{10}\right)^2 \left(\frac{177.6}{10} - \frac{63.3}{10}\right) \left(1 + \frac{10.47}{100}\right)}$$

$$Y_{d_{26}} = \frac{4340000}{0.25\pi(15.256)^2(11.43)(1.1047)} = \frac{4340000}{2308.13829} = 1,880 \text{ kg/m}^3$$

Para la obtención del contenido de agua de compactación:

$$W_{c_j} = W_{satj} - \frac{(100 + W_{satj})(W_{mj+ef} - W_{mj+ei})}{(W_{mj+e} - W_{mj})}$$



Donde:

W_c : Contenido de agua de compactación (%)

W_{satj} : Contenido de agua de material saturado (%)

W_{mj+ef} : Masa del molde + especimen saturado (g)

W_{mj+ef} : Masa del molde + especimen compactado (g)

W_{mj} : Masa del molde (g)

Aplicando la formula:

$$W_{c26} = 10.47 - \frac{(100 + 10.47)(11024 - 10908)}{(11024 - 6684)}$$
$$W_{c26} = 10.47 - \frac{(110.47)(116)}{(4340)} = 10.47 - 2.9527 = 7.52 \%$$

Finalmente se obtiene la expansión del espécimen a través de la formula:

$$Exp = \frac{Dh}{H_{mj} - H_{dek}} * 100$$

Donde:

Exp : Expansion (%)

Dh : Diferencia de medidas de expansion inicial y final (mm) [$E_f - E_0$]

H_{mj} : Altura del molde (mm)

H_{mj} : Altura del disco espaciador (mm)

Por lo que:

$$Exp = \frac{7.87 - 6.47}{177.6 - 63.3} * 100 = \frac{1.4}{114.3} * 100 = 1.22 \%$$



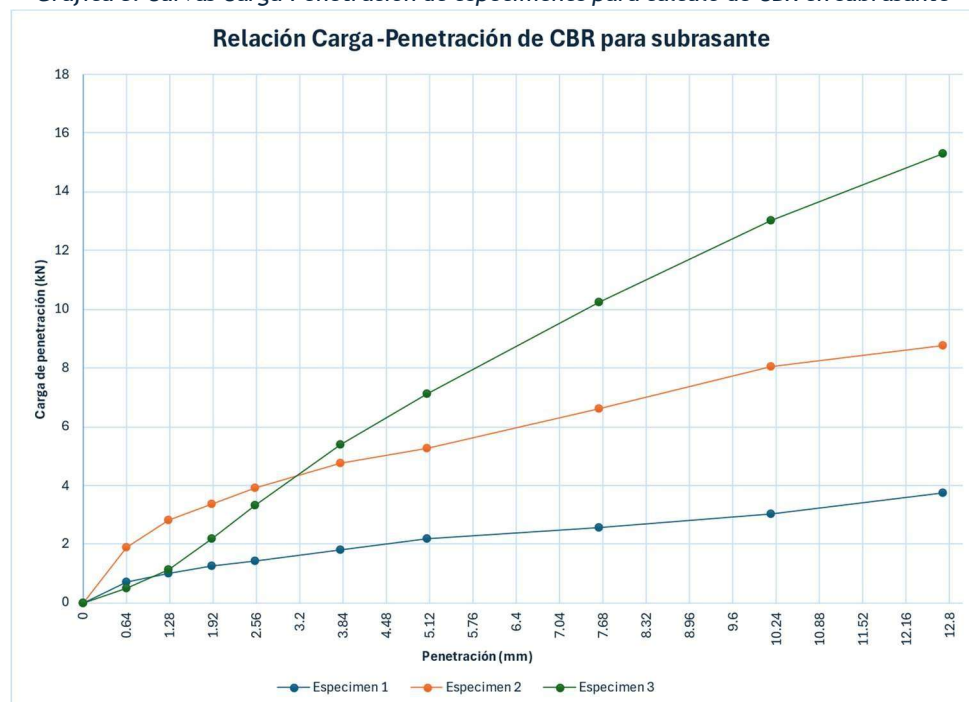
Al seguir estos procesos en el cálculo de los 2 especímenes restantes, tenemos:

Tabla 17: Datos para CBR calculados, para especímenes de subrasante

Molde	26	64	24
Diam Int. (Dm) en mm	152.56	152.52	152.06
Altura (Hm) en mm	177.6	177.8	177.9
Masa (Wm) en mm	6684	6663	6961
Disco Espaciador	1	1	1
Altura (Hde) en mm	63.3	63.3	63.3
Humedad de prueba (%)	7.55	7.48	7.91
Golpes por capa	25	56	56*
Masa molde + Esp. Comp.	10908	10965	11407
Masa molde + Esp. Sat.	11024	11052	11466
Capsula	2	5	8
Masa capsula (g)	810.3	555.2	781.3
Masa cap. + suelo humedo (g)	1310.5	1055.5	1281.6
Masa cap. + suelo seco (g)	1263.1	1011.7	1244.3
Cont. Agua sat. W sat en %	10.47	9.59	8.06
Masa Vol. Seca (Yd) en kg/m ³	1880.3	1914.4	2003.3
Cont. Agua de comp. (Wc) en %	7.52	7.42	6.64
Lectura Inicial de Exp (E0) en mm	6.48	8.21	5.4
Lectura Final de Exp (Ef) en mm	7.87	8.3	5.55
Diferencia (Dh) en mm	1.39	0.09	0.15
Expansión (Exp) en %	1.22	0.08	0.13
Expansion Promedio (%)	0.48		

Una vez con estos datos, se procede a graficar la carga de penetración de los especímenes con relación a la penetración en mm.

Grafica 8: Curvas Carga-Penetración de especímenes para cálculo de CBR en subrasante



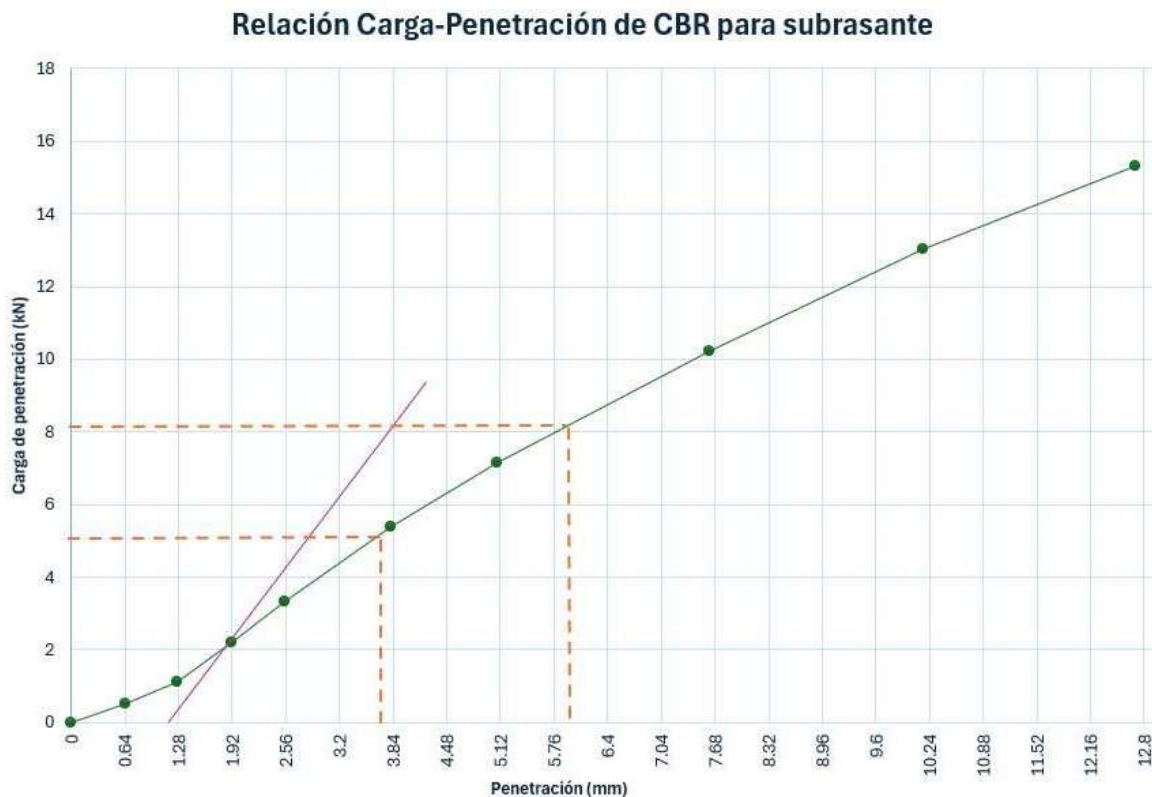


Como se puede observar, los especímenes 1 y 2 corresponden a las curvas D y B según la norma M-MMP-1-11-08. Por lo que su cálculo de CBR no requieren de corrección en la curva, por otro lado, el tercer espécimen coincide con una curva con concavidad para abajo, por lo que se prosigue con la corrección de esta, al trazar una línea tangente a la curva en el punto de inflexión y recorrer los valores en los puntos correspondientes a las penetraciones de 2.54 y 5.08 mm.

Por lo que los nuevos valores correspondientes a esas penetraciones y para ser empleados en el posterior calculo son 5.1 y 8.05 respectivamente.

Finalmente, calculamos el CBR (%) para las penetraciones de 2.54 y 5.08 empleando:

Grafica 5: Curvas Carga-Penetración de CBR de subrasante con corrección



$$CBR_{2.54} = \frac{100 C_{2.54}}{13.34}$$

$$CBR_{5.08} = \frac{100 C_{5.08}}{20.01}$$



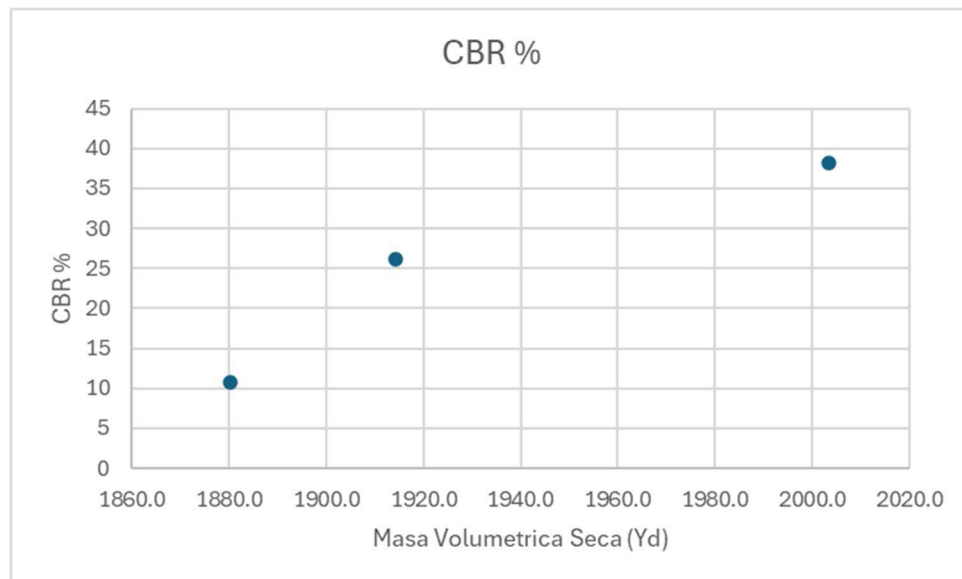
Por lo que ahora tenemos:

Tabla 18: Carga de penetración de especímenes para CBR de subrasante

Lecturas	Penetración	Tiempo	Carga de penetración (kN)		
1	0.64	00:30	0.7	1.91	0.5
2	1.27	01:30	1.01	2.82	1.12
3	1.91	01:30	1.26	3.36	2.2
4	2.54	02:00	1.43	3.92	3.31
5	3.81	03:00	1.8	4.78	5.39
6	5.08	04:00	2.19	5.25	7.14
7	7.62	06:00	2.57	6.62	10.23
8	10.16	08:00	3.03	8.06	13.02
9	12.7	10:00	3.77	8.77	15.31
C 2.54			1.43	3.92	5.1
CBR 2.54 %			10.7	29.4	38.2
C 5.08			2.19	5.25	8.05
CBR 5.08 %			10.9	26.2	40.2
CBR %					

Finalmente se grafican los puntos correspondientes al CBR % menor de cada espécimen en relación con su masa volumétrica seca:

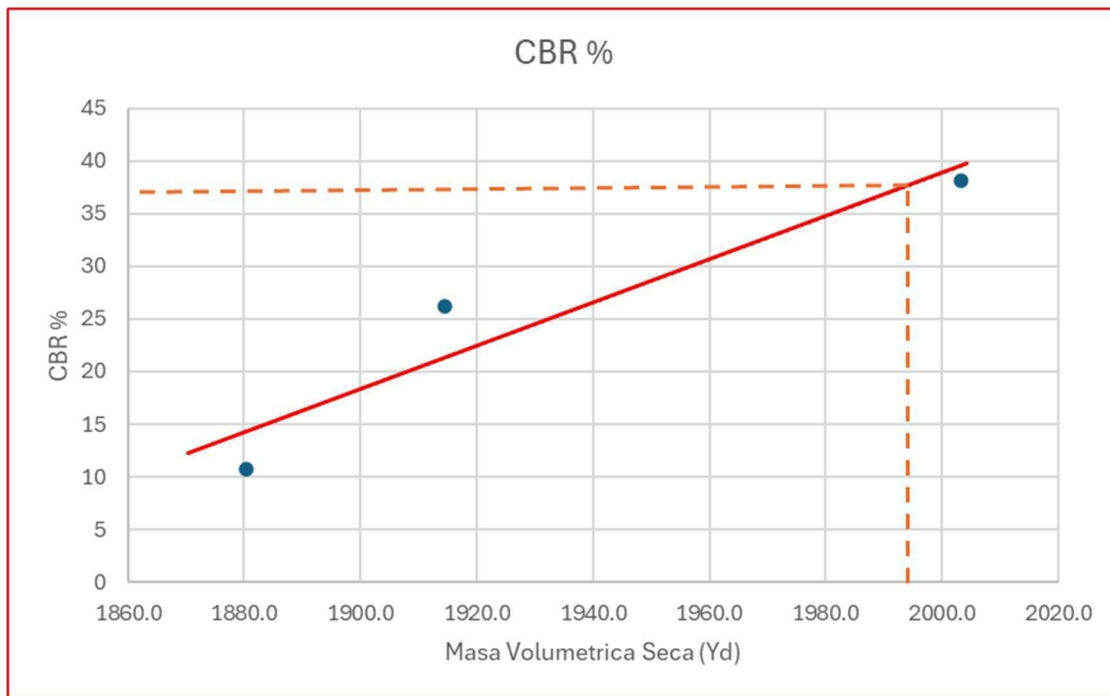
Grafica 10: Puntos relación Masa Volumétrica Seca - CBR de especímenes para cálculo de CBR



Y se traza una línea de tendencia, para finalmente determinar el valor del CBR correspondiente a la masa volumétrica seca máxima obtenida de la prueba de compactación AASHTO.



Grafica 11: Obtención de CBR de subrasante a partir de máximo AASHTO



Por lo que se determina que el CBR correspondiente es de 37 % para la muestra.

COMPROBACIÓN

Se debe asegurar que el material cumpla con los requerimientos especificados por la Secretaría de Comunicaciones en este caso, para las obras federales, se basas en la norma N-CMT-1-03/21. Por lo que esta pide que el valor del CBR sea mínimo de 20%, así como una expansión máxima de 2%, por lo que se considera que el espécimen cumple con los debidos requerimientos.

SECADO, DISGREGACIÓN Y CUARTEO

Se sigue el mismo proceso que el apartado de terracerías.

GRANULOMETRIA

Permite determinar la composición por tamaños de las partículas que integran el material, mediante su paso por una serie de mallas con aberturas calibradas y determinadas, empezando por las aberturas mayores, de tal forma que se vayan reteniendo los tamaños mayores, para obtener la masa de cada uno de ellos y posteriormente calcular su porcentaje respecto al total de la masa inicial. (IMT-M-MMP-1-06/03)

EQUIPO

- Balanza con aproximación de 0.1 gramos



- Fuente de calor de flama abierta



- Vidrio de reloj



- Pinzas





- Espátula pequeña



- Recipiente resistente al calor y anticorrosivo



- Charolas de lámina galvanizada



- Brocha



- Cucharon



- Juego de mallas calibradas desde 1" a No. 200

1. Se selecciona y prepara la porción de la muestra según el manual M-MMP-1-03



Ilustración 25: Muestra de base lista para granulometría

2. Para realizar la prueba, del material apartado se separa la grava de la arena con finos, conforme al siguiente procedimiento: Se vacía poco a poco y cuidadosamente el material sobre la malla No. 4 (4,75 mm), sin sobrepasar la capacidad de la malla y recolectando el material que pasa en una charola. Utilizando la brocha, se retiran todas las partículas que se hubieran adherido a la malla para hacerlas pasar también por ella a fin de no perder ninguna porción del material, el material retenido en la malla No. 4 se coloca en otra charola.
3. Se vierte en la balanza la porción retenida en la malla No. 4; se determina su masa, que representa la grava, registrándola como W_{m1} , en g, con aproximación a la unidad y se regresa a la charola dicha porción. De la misma forma se obtiene la masa de la fracción que pasa dicha malla, que representa la arena con finos de la muestra, registrándola como W_{m2} .
4. Se criba el material retenido en la malla No. 4, el material se vierte poco a poco y cuidadosamente por cada malla (desde el tamaño máximo de partícula y va reduciendo mallas), a la que se le aplica un movimiento vertical y de rotación horizontal, con el fin de mantener al material en constante movimiento para permitir que las partículas de tamaños menores pasen a través de las aberturas y recolectarlas en una charola, de tal modo que: el material colocado será menor a la capacidad de la malla, el paso de las partículas será sin forzarlo y se suspenderá el cribado cuando se estime que la cantidad que pasa por 1 minuto es menor a 1 g.



Ilustración 2C: Cribado de gravas (material grueso)

5. se verifica si las partículas que quedaron retenidas y que tienen forma de laja o de aguja pueden pasar a través de la malla, para lo cual se acomodan con la mano según su dimensión menor y sin forzarlas se introducen entre las separaciones, incorporando a la porción retenida aquellas que de cualquier forma queden atoradas en las tramas de la malla.



6. La porción del material que pasó la malla No. 4, separada conforme a lo indicado en el paso 2, se cuarte y coloca en un vaso metálico una muestra de 500 g aproximadamente, se registra el peso del material seco (en la suma de material fino) y se le agregan aproximadamente 500 cm³ de agua y se deja reposar durante 12 h como mínimo.



Ilustración 27: Muestra de arenas (finos) saturada para lavado

7. Posteriormente se lava por la malla del No. 200, para lo cual con una varilla se agita en forma de 8 para formar una suspensión, se deja reposar por 15 segundos y posteriormente se decanta por la malla, y se aplica agua a baja presión, y se repite el paso hasta que el agua del lavado sea clara.



Ilustración 28: Material fino lavado

8. El material retenido en la malla No. 200 se regresa al vaso metálico, utilizando un poco de agua, misma que se decanta final de la operación, pero evitando el arrastre de partículas.
9. Se seca el material dentro del vaso metálico hasta masa constante, manteniéndolo en el horno durante un lapso no menor de 16 h, a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ posteriormente se retira del horno y se deja enfriar dentro del desecador hasta temperatura ambiente.
10. Se ensamblan las mallas correspondientes y se vierte el material para su cribado. Concluido el cribado, se quita la tapa y se separa la primera malla (No.10), la cual se agita sobre una charola hasta que se estime que la masa del material que pasa dicha malla durante 1 min no sea mayor de 1 g. El material depositado en la charola se vierte sobre la siguiente malla (No.20). Este procedimiento de cribado se repite en forma subsecuente con cada una de las mallas restantes, verificando que las partículas que queden atoradas sean regresadas a la porción retenida correspondiente mediante un cepillado de las mallas por su reverso.



11. Finalmente se obtienen las masas de los materiales retenidos en cada una de las mallas y se anotan las masas respectivas como W_i , con aproximación de 0,1 g, donde el subíndice i corresponde a la designación de la malla respectiva.

NOTA:

Las mallas para emplear pueden variar, según la normativa a emplear o los requisitos de proyecto, por lo que es indispensable revisar esos datos antes de realizar el proceso.

CÁLCULOS

De la realización del proceso anterior, se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 1S: Datos base para cálculo de granulometría

Muestra	PSB-57/25				
Fecha de Recibo	08/03/2025				
Fecha de Ensaye	10/03/2025				
Descripción	Grava-Arena 1 1/2" a finos				
Procedencia	Material tomado en tramo				
Masa Inicial (g)	17183				
No. Malla	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)
1 1/2"	37.50	0			
1"	25.00	1656			
3/4"	19.00	2019			
3/8"	9.50	3511			
No. 4	4.75	2507			
Pasa No. 4		7489			
Suma		17182			
No. 10	2.00	89.3			
No. 20	0.85	79.4			
No. 40	0.43	81.2			
No. 60	0.25	59.9			
No. 100	0.15	60.9			
No. 200	0.08	48.1			
Pasa No. 200		98.5			
Suma		517.3			

Para el cálculo correspondiente, tenemos:

$$RP = \frac{W_m}{W_t} * 100$$

Donde:

RP : Retenido Parcial (%)



W_m : Masa retenida en cada malla (g)

W_t : Masa total de la muestra (g)

$$RA_m = RP_m + RA_l$$

Donde:

RA_m : Retenido acumulado en m

RP_m : Retenido parcial en m

RA_l : Retenido acumulado en l (punto anterior)

Finalmente, para el porcentaje que pasa, tenemos:

$$P\% = 100 - RA$$

Como ejemplo, empleando las fórmulas para lo retenido en 1"; tenemos:

$$RP = \frac{1656}{17183} * 100 = 9.64\%$$

$$RA_{1''} = 9.64 + 0.0 = 9.64\%$$

$$P\% = 100 - 9.64 = 90.36\%$$

Aplicando las fórmulas, se presentan los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 20: Calculo de granulometría de material para subrasante

No. Malla	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)
1 1/2"	37.50	0			100.0
1"	25.00	1656	9.64	9.6	90.4
3/4"	19.00	2019	11.75	21.4	78.6
3/8"	9.50	3511	20.43	41.8	58.2
No. 4	4.75	2507	14.59	56.4	43.6
Pasa No. 4		7489	43.58	100.0	0.0
Suma		17182	100.0		
No. 10	2.00	89.3	7.52	63.94	36.1
No. 20	0.85	79.4	6.69	70.63	29.4
No. 40	0.43	81.2	6.84	77.47	22.5
No. 60	0.25	59.9	5.05	82.52	17.5
No. 100	0.15	60.9	5.13	87.65	12.4
No. 200	0.08	48.1	4.05	91.70	8.3
Pasa No. 200		98.5	8.30	100.0	
Suma		517.3	100.00		



COMPROBACIÓN

Se debe asegurar que el material cumpla con los requerimientos de porcentajes que pasa en cada malla según los requisitos especificados en la norma N-CMT-4-02-001-16 la cual para vías con más de 1 millón de ejes equivalentes (el caso del proyecto en cuestión), estipula los siguiente limites:

Grafica 12: Limites granulométricos para Sub-Bases según N-CMT-4-02-001



Ahora, graficando el resultado:

Grafica 13: Calculo de granulometría de material para subrasante



Se observa que la muestra está dentro de los límites, por lo que se determina que el material cumple con las especificaciones requeridas.



MASA VOLUMETRICA

Mismo procedimiento que en el apartado de terracerías.

COMPACTACIÓN AASHTO (modificado)

Este Manual describe los procedimientos de prueba AASHTO estándar (AASHTO T 99-95) y AASHTO modificada (AASHTO T 180-95), para determinar mediante la curva de compactación, la masa volumétrica seca máxima y el contenido de agua óptimo de los materiales (IMT-M-MMP-1-09/06)

EQUIPO

- Molde cilíndrico metálico de 152.6 ± 0.7 mm de diámetro interior con placa base y collarín removible



- Pisón metálico 4.54 ± 0.01 kg, caída de $45.7 \text{ cm} \pm 0.01$ cm



- Regla metálica: 25 cm de largo, con arista cortante



- Balanzas de 15 kg de capacidad, precisión 5 g y 2 kg de capacidad, precisión 0.1 g





- Probetas: 500 y 1000 cm³, graduadas cada 10 cm³



- Malla N°4 (4.75 mm)



- Charolas metálicas: 40 × 70 × 10 cm



- Cucharón metálico: 20 × 11 × 10 cm



- Aceite: para lubricar moldes.

1. Preparación de la muestra

La muestra se obtiene según la norma M-MMP-1-01 y posteriormente se prepara según la norma M-MMP-1-03, una vez homogeneizado y separado el material se procede a realizar la prueba, para este caso se emplea la variante A explicada en la M-MMP-1-09/06 separando 7.5 kg de mezcla, previamente cribado por la malla de $\frac{3}{4}$ "



Ilustración 2S: Muestra preparada para prueba AASHTO (modificada)

2. Determinación de masa volumétrica

1. El material colocado en la charola se le añade agua hasta que tenga 4–8% menos que la humedad óptima estimada.
2. En el caso de que se hayan formado grumos durante la incorporación del agua, se revuelve el material hasta disgregarlo totalmente. Se mezcla cuidadosamente la porción para homogeneizarla y se divide en cinco fracciones aproximadamente iguales.
3. Se coloca una de las fracciones de material en el molde para compactar el material con el pisón, aplicando 56 golpes para el caso, repartiendo uniformemente los golpes en la superficie de la capa (siguiendo algún patrón de compactación especificado en la M-MMP-1-09/22 en el apartado **G.3**) Se escarifica ligeramente la superficie de la capa compactada y se repite el procedimiento descrito para las capas subsecuentes.



Ilustración 30: Escarificado de capas en prueba AASHTO (modificada)

4. Terminada la compactación de todas las capas, se retira la extensión del molde y se verifica que el material no sobresalga del cilindro en un espesor promedio de 1,5 cm como máximo; de lo contrario la prueba se repetirá utilizando de preferencia una nueva porción de prueba con masa ligeramente menor que la inicial. En el caso de que no exceda dicho espesor, se enrasa cuidadosamente el espécimen con la regla metálica



Ilustración 31: Material enrasado en molde AASHTO (modificado)

5. Se determina la masa del cilindro con el material de prueba y se registra como W_i , en g, anotándola en una hoja de registro



Ilustración 32: Determinación de masa tras compactación en prueba AASHTO (modificado)

6. Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de su parte central se obtiene una porción representativa para determinar su contenido de agua, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma M-MMP-10-4, Contenido de Agua; se registran los datos correspondientes a esta determinación
7. Se incorporan las fracciones del espécimen al material que sobró al enrasarlo, en su caso, se disgregan los grumos, se agrega aproximadamente 2% de agua con respecto a la masa inicial de la porción de prueba y se repiten los pasos descritos del paso 2 al 6, hasta obtener un mínimo de 4 puntos, de modo que se pueda graficar la curva de compactación

NOTA: La norma especifica el uso de una base de concreto, pero puede ser realizada sobre el suelo, siempre y cuando este soporte la energía de compactación y el espécimen no disipe energía en el suelo, como si se realizara en terreno suelto.



CÁLCULOS

Del ensaye realizado a un terreno natural, y los datos conocidos del molde, se obtienen los siguientes datos:

Tabla 21: Datos base para cálculo de curva de compactación AASHTO (modificada)

Ensaye	PBC-157/25			
Fecha de Muestreo	02/06/2025			
Fecha de Ensaye	02/06/2025			
Descripción de muestra	Mezcla Grava-arena 1 1/2"-finos			
Para emplearse en	Base Cementada			
Banco de procedencia	80% Chiltepeque 20% triturados 2012			
Tipo de prueba	AASHTO (modificado)			
Capas	5	Molde	5	
Golpes por capa	56	Vol (cm3)	2125	
	1	2	3	4
Masa molde + suelo humedo Wi (g)	7394	7621	7714	7696
Masa del molde Wt (g)	2760	2760	2760	2760
Masa suelo humedo Wm (g)				
Volumen del molde V (cm3)	2125	2125	2125	2125
Masa volumetrica humeda Ym (kg/m3)				
	HUMEDAD DE LA MUESTRA			
Masa de suelo humedo (g)	500.1	500.3	500	500.1
Masa de suelo seco (g)	488.2	479	469.1	460.9
Masa de agua (g)				
Contenido de agua W (%)				
Masa volumetrica seca max. Yd (kg/m3)				

Para determinar masa del suelo húmedo:

$$Wm = Wi - Wt$$

Donde:

Wm : Masa del suelo humedo

Wi : Masa de molde mas suelo humedo

Wt : Masa del molde

La masa volumétrica húmeda, se obtiene de:

$$Ym = \frac{Wm}{V} * 1000$$

Donde:

Ym : Masa volumetrica humeda en kg/m3

Wm : Masa del suelo humedo en g

V : Volumen del molde en cm3



El contenido de agua W (%) se determina según la norma M-MMP-1-04/03, misma que esta explicada con anterioridad en este documento. Finalmente, para poder determinar la masa volumétrica seca máxima (Y_d) y poder realizar la gráfica de la curva de compactación, se procede a calcular empleando:

$$Y_d = \frac{Y_m}{1 + \left(\frac{W}{100}\right)}$$

Donde:

Y_d : Masa volumetrica seca maxima en $\frac{kg}{m^3}$

Y_m : Masa volumetrica humeda en $\frac{kg}{cm^3}$

W : Contenido de agua en %

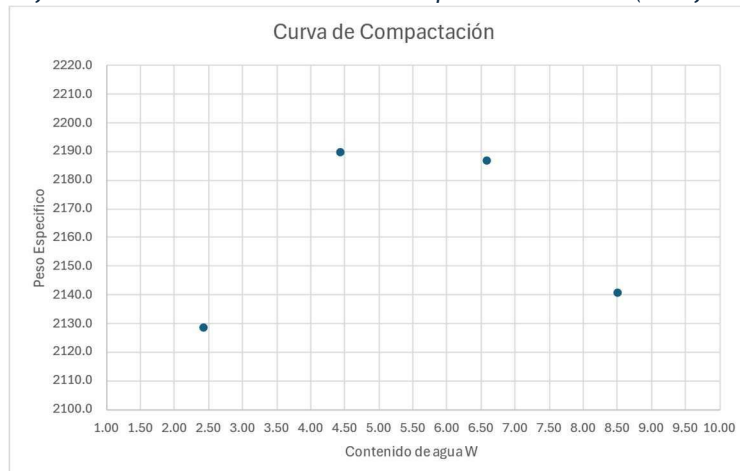
Calculando tenemos:

Tabla 22: Datos calculados para graficar curva de compactación AASHTO (modificada)

	1	2	3	4
Masa molde + suelo humedo W_i (g)	7394	7621	7714	7696
Masa del molde W_t (g)	2760	2760	2760	2760
Masa suelo humedo W_m (g)	4634	4861	4954	4936
Volumen del molde V (cm ³)	2125	2125	2125	2125
Masa volumetrica humeda Y_m (kg/cm ³)	2180.7	2287.5	2331.3	2322.8
HUMEDAD DE LA MUESTRA				
Masa de suelo humedo (g)	500.1	500.3	500	500.1
Masa de suelo seco (g)	488.2	479	469.1	460.9
Masa de agua (g)	11.9	21.3	30.9	39.2
Contenido de agua W (%)	2.44	4.45	6.59	8.51
Masa volumetrica seca max. Y_d (kg/m ³)	2128.8	2190.1	2187.2	2140.8

Se procede a graficar los datos de contenido de agua y masa volumétrica seca máxima, por lo que se tiene:

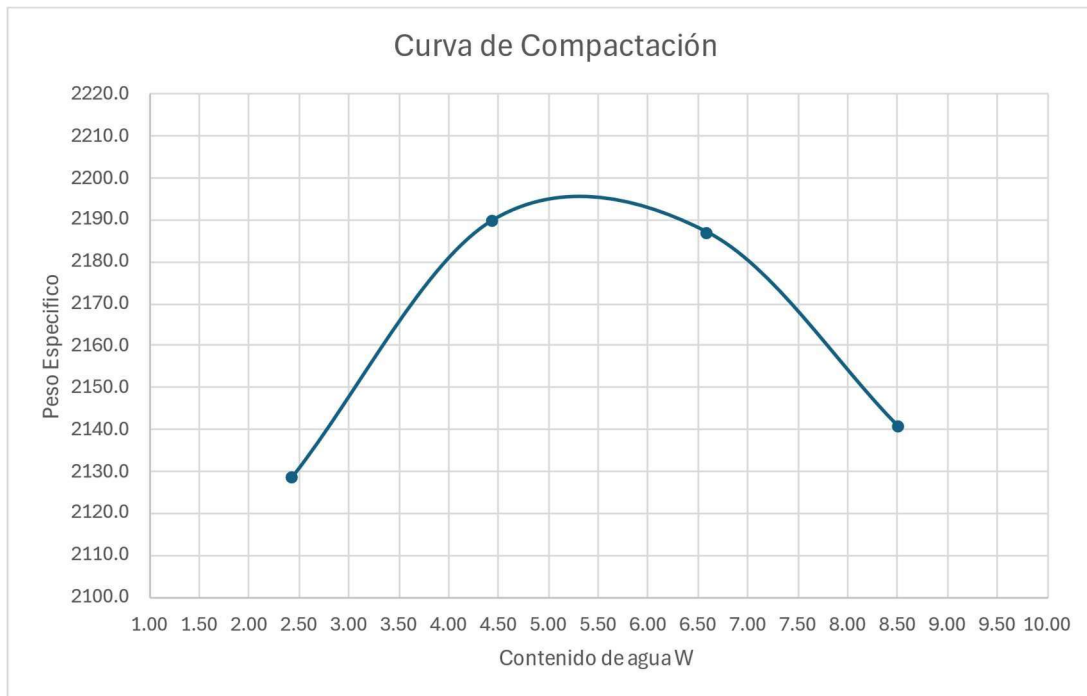
Grafica 14: Puntos dentro de curva de compactación AASHTO (modificada)





Del mismo modo que en la prueba estándar, es posible realizar la curva manualmente, sin embargo, con apoyo de computadora se tiene:

Grafica 15: Curva de compactación AASHTO (modificada) con apoyo digital



Grafica donde se obtiene en el punto más alto de la curva la masa volumétrica seca máxima, así como la humedad optima; para el caso siendo una masa volumétrica seca máxima (Y_d) de 2196 kg/m³ con una humedad optima de 5.2 %



GRADO DE COMPACTACIÓN

Se lleva el mismo proceso que en el apartado de terracerías, en este caso comprobando con los datos del máximo de la capa correspondiente

DENSIDAD Y ABSORCIÓN (GRAVAS)

Permite determinar la absorción, en sus diferentes condiciones de contenido de agua y el cambio de masa del material debido a la entrada de agua en sus poros, con respecto a su condición en estado seco; las pruebas se realizan en la fracción retenida en la malla N°4 (4,75 mm)

EQUIPO

- Balanza: con capacidad de 5 kg y aproximación de 0,5 g



- Canastilla metálica con abertura de 3,35 mm (N°6) ó 2,36 mm (N°8), de aproximadamente 20 cm de diámetro y 20 cm de altura.



- Recipiente: Adecuado para sumergir las canastillas en agua y saturar el material
- Dispositivo de suspensión: De alambre u otro material adecuado para suspender la canastilla del centro del platillo de la balanza.



PROCESO

1. Se lava la porción del material retenida en la malla N°4, con el fin de elimina cualquier residuo de polvo o material contaminante que contenga.
2. Se seca la porción lavada hasta masa constante a una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y se deja enfriar a temperatura ambiente durante 1 a 3 h.



3. La porción lavada se sumerge en agua limpia a una temperatura entre 15 y 25°C y se mantiene en estas condiciones durante 24 h. transcurrido este tiempo, se extrae del agua el material y se desliza sobre una tela absorbente ligeramente humedecida para secarla superficialmente; las partículas más grandes se secan en forma individual, para obtener a condición de saturado y superficialmente seco, que se logra cuando las partículas se noten húmedas, pero ya han perdido la película brillante visible de agua. Esta operación se llevará a cabo en forma rápida para evitar cualquier pérdida de agua por evaporación, y se registra la masa en gramos (B).

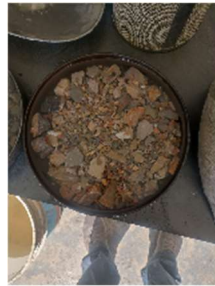


Ilustración 33: Saturado de grava para determinación de densidad

4. Se obtiene la masa de la canastilla vacía y sumergida en el agua y se registra como W_c , en g. inmediatamente después se coloca el material dentro de la canastilla de alambre, se sumergen ambos en agua limpia a $23 \pm 2^\circ\text{C}$. La canastilla se sumergirá a una profundidad adecuada para que ésta y el material queden completamente cubiertos por el agua, cuando se aprecie que no salen burbujas de la canastilla y material sumergidos, se determina la masa del material con la canastilla y se registra como W_2 , en g. se restan ambos resultados, para obtener la masa únicamente del material (alternativamente si se cuenta con balanza digital se puede tarar la canastilla vacía, para obtener la masa del material sumergido directamente) y se registra en C.



Ilustración 34: Grava en canastilla para determinación de densidad

5. Se saca del agua la canastilla con el material, se vierte el material en una charola y se coloca dentro del horno a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$, para su secado hasta masa constante.



6. Se deja enfriar el material hasta que alcance la temperatura ambiente y a continuación, se determina y registra su masa como A, en g.



Ilustración 35: Determinación de masas seca de grava para densidad

CÁLCULOS

El cálculo referente a determinar las densidades y absorción de la grava se basa en 4 formulas, que son:

Densidad Relativa Seca al Horno

$$D_{SH} = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

D_{SH} : Densidad Relativa Seca al Horno

A: Masa de la muestra seca (g)

B: Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g)

C: Masa aparente en agua de la muestra saturada

Densidad Relativa Saturada y Superficialmente Seca

$$D_{SSS} = \frac{B}{B - C}$$

Donde:

D_{SSS} : Densidad Relativa Saturada y Superficialmente Seca

B: Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g)

C: Masa aparente en agua de la muestra saturada

Densidad Relativa Aparente

$$D_A = \frac{A}{A - C}$$

Donde:

D_A : Densidad Relativa Aparente



A: Masa de la muestra seca (g)

C: Masa aparente en agua de la muestra saturada

Absorción

$$AB_{\%} = \frac{B - A}{A} * 100$$

Donde:

AB%: Porcentaje de absorción

A: Masa de la muestra seca (g)

B: Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g)

A continuación, se presentan los resultados aplicando la formula a diversas muestras:

Tabla 23: Resultados de densidades y absorción de diversas gravas

Muestra	Descripción	Fecha	Temp Agua	A	B	C	Densidad relativa seca al horno	Densidad relativa SSS	Densidad Aparente	Absorción (%)
				M. Seca	M. S.S.S.	M. Sumergida				
PBC-91/25	Mezcla 80 chiltepeque- 20 2012	08/04/2025	25	2492.5	2554.6	1554.8	2.493	2.555	2.658	2.491
PSB-98/25	Mezcla 50 fresado - 50 2012	25/04/2025	24	2180.3	2289.6	1343.6	2.305	2.420	2.606	5.013
PSB-128/25	Mezcla 50 fresado - 50 2012	17/05/2025	24	2030.4	2150.0	1237.9	2.226	2.357	2.562	5.890
PBC-142/25	Mezcla 50 chiltepeque- 50 2012	18/05/2025	25	2432.2	2500.5	1508.1	2.451	2.520	2.632	2.808



PARTICULAS LAJEADAS Y ALARGADAS

Esta prueba permite determinar el contenido de partículas de formas alargada y lajeada presentes en los materiales pétreos empleados en bases hidráulicas. La prueba consiste en separar el retenido en la malla $\frac{1}{4}$ in (6,3 mm) de una muestra de materiales pétreos, para determinar la forma de cada partícula, empleando el calibrador de espesor y el calibrador de longitud.

EQUIPO

- Juego de mallas: $1\frac{1}{2}$ ", 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ " y $\frac{1}{4}$ "
- Balanza: con capacidad de 20 kg y aproximación de 1 g



- Calibrador de espesores



- Calibrador de longitudes



- Cucharon





- Charolas



- Horno



PROCESO

1. Preparación de la muestra

La muestra se obtiene según la norma M-MMP-4-01-001 y posteriormente se prepara según la norma M-MMP-1-03, una vez homogeneizado y separado el material se procede a realizar la prueba, apartando únicamente el material de los cuarteos que sea retenido en la malla de $\frac{1}{4}$ "

2. Obtención de la muestra

Esta prueba se realiza por duplicado, por lo cual se requieren dos muestras. Para la obtención de cada una de éstas se aplicarán cuarteos sucesivos:

Se selecciona una porción del material retenido en la malla $\frac{1}{4}$ in (6,3 mm) que contenga más de 200 piezas, la cual se somete a un proceso de cribado mediante alguno de los métodos descritos en el Manual M-MMP-4-01-002, Granulometría de Materiales para Revestimiento, Subbase y Base. Se registra el número de partículas retenido en cada malla verificando que al final el total de partículas retenidas por todas las mallas sea de 200 piezas como mínimo. Si el número de piezas es menor, se repetirá el procedimiento indicado en el Inciso anterior,



aumentando el tamaño de la muestra hasta obtener el número de piezas mencionado y finalmente se registran las masas correspondientes.



Ilustración 3C: Muestra preparada y cribada para determinar forma de la partícula

3. Partículas alargadas

Para cada porción clasificada de cada una de las dos muestras de prueba, es decir, del número de partículas retenido en cada malla, se verifica que cada pieza pase por la ranura correspondiente del calibrador de longitudes, buscando la posición tal que su dimensión mayor sea paralela al eje del calibrador; se reúnen las partículas retenidas y se registran los valores para cada tamaño.

4. Partículas lajeadas

Para cada porción clasificada de cada una de las dos muestras de prueba, es decir, del número de partículas retenido en cada malla, se verifica que cada pieza pase por la ranura correspondiente del calibrador de espesores, buscando la posición más adecuada; se reúnen las partículas retenidas y se registran los valores para cada tamaño.

CÁLCULOS

Una vez registrados los pesos de cada retenido en las mallas se suman parcialmente los resultados y se obtiene el porcentaje que este represente respecto al total de la muestra, recordando que es necesario realizar la prueba por duplicado y promediar los resultados.



Tabla 24: Resultados de cálculo de porcentajes de partículas lajeadas y alargadas

Empresa		GCI		
Descripción		Grava-arena 1 1/2" a finos		
Procedencia		Mezcla 50% Chiltepeque 50% 2012		
Ensaye		PBC-141/25	Fecha	17/05/2025
Malla (in)		Mp1	Ma1	M1
		Masa partículas planas (g)	Masa partículas alargadas (g)	Masa Inicial (g)
Pasa	Retiene			
1 1/2"	1"	217.7	0	1822.9
1"	3/4"	25.2	10.8	
3/4"	1/2"	107.1	209.8	
1/2"	3/8"	66.1	72	
3/8"	1/4"	102.8	99.2	
Suma Parcial		518.9	391.8	
Porcentaje retenido %		28.47	21.49	
Malla (in)		Mp1	Ma1	M1
		Masa partículas planas (g)	Masa partículas alargadas (g)	Masa Inicial (g)
Pasa	Retiene			
1 1/2"	1"	41.8	0	1773.6
1"	3/4"	9.4	55.5	
3/4"	1/2"	121.3	142.5	
1/2"	3/8"	62.9	74.1	
3/8"	1/4"	93.7	101.1	
Suma Parcial		329.1	373.2	
Porcentaje retenido %		18.56	21.04	

Promediando se determina que el porcentaje de partículas lajeadas es de:

$$\frac{28.47 + 18.56}{2} = \mathbf{23.52\%}$$

Y para partículas alargadas:

$$\frac{21.49 + 21.04}{2} = \mathbf{21.27\%}$$

COMPROBACIÓN

Según la normativa N-CMT-4-02-002-21, y en base al caso de este proyecto, se colocará una mezcla asfáltica en caliente sobre la capa, además de pertenecer a la carretera Texcoco-Zacatepec, por lo que le corresponden los valores para más de 1 millón de ejes equivalentes; por lo cual, las partículas deben ser inferiores al 35%, ya que ambas están por debajo de este porcentaje, se considera que cumple con los requisitos establecidos por la norma.



EQUIVALENTE DE ARENA

Esta prueba permite determinar el contenido y actividad de los materiales finos o arcillosos presentes en los materiales pétreos empleados en mezclas asfálticas. La prueba consiste en agitar un cilindro, que contiene una muestra del material pétreo que pasa la malla N°4, mezclada con una solución que permite separar la arena de la arcilla.

EQUIPO

- Cilindro de prueba; de acrílico transparente con diámetro interior de 3.15 cm (1 ¼") y altura de 43 cm (17") graduado hasta una altura de 38.1 cm (15")
- Tapón de hule.
- Tubo irrigador; tubería de cobre o latón, con diámetro exterior de 0.63 cm (1/4") con un extremo en forma de cuña y 2 perforaciones con broca del N0. 60 cerca de la punta.
- Botella con capacidad aproximada de 4 litros, con equipo sifón y tubo de cobre doblado.
- Manguera de hule para el sifón.
- Pisón formado por una varilla de 46 cm de longitud y 0.63 (1/4") de diámetro, con lastre para dar masa total de 1 kg al dispositivo, y una base hexagonal cónica en el otro extremo.
- Embudo de boca chica.
- Malla del No. 4
- Solución de trabajo (preparada según inciso E de la M-MMP-4-04-004/16)

PROCESO

1. Si la muestra del material envasado que se recibe en laboratorio está saturada, se extiende sobre una superficie limpia para dejar que se escurra hasta la condición de saturado y superficialmente seco, para posteriormente disgregar de forma manual aquel material que presente grumos, teniendo la precaución de no fragmentarlo por la presión aplicada, hecho lo anterior, se cuartea el material hasta obtener una muestra de 10 kg.
2. Si la muestra original está seca, se humedecerá un poco antes de realizar la prueba a fin de evitar la pérdida del material fino durante el cribado.
3. Se hace pasar la muestra por la malla N°4, y si el material retenido en dicha malla presenta partículas finas adheridas, se frota entre las manos con guantes a fin de desprender y recuperar dichas partículas, eliminando el material retenido en la malla.



Ilustración 37: Muestra cribada para determinar contenido de arena

4. El material que pase la malla se cuartea y reduce hasta obtener una muestra de 2 kg aproximadamente.



5. Se llena la cápsula con este material hasta enrasar su superficie. Una vez llena, contendrá aproximadamente 110 g de material suelto.



Ilustración 38: Capsulas con muestras para equivalente de arena

6. Por medio del sifón, se introduce la solución de trabajo al cilindro hasta una altura de 10 cm (4").



Ilustración 35: Cilindro con solución para equivalente de arena

7. Con la ayuda del embudo, se vacía al cilindro de prueba la muestra de material contenida en la cápsula, agitando y golpeando firmemente varias veces el fondo del cilindro contra la palma de la mano para eliminar las burbujas de aire atrapado dentro del material y acelerar la saturación de la muestra.



Ilustración 40: Vaciado de material para prueba de equivalente de arena

8. Se deja reposar el material con el tapón por 10 minutos.
9. Para agitado manual; Se agita vigorosamente el cilindro colocado en posición horizontal de un lado a otro en sentido longitudinal durante 90 ciclos en un tiempo de 30 s, con una carrera aproximada de 20 cm, entendiendo que un ciclo comprende un



movimiento completo, es decir, de un lado a otro hasta concluir en la posición de partida.



Ilustración 41: Agitado manual de muestra para determinar equivalente de arena

10. Concluida la agitación, se coloca el cilindro sobre la mesa de trabajo y se le quita el tapón, inmediatamente se le inserta el tubo irrigador con el cual se lavan las paredes del cilindro, hasta concluir en el fondo. Con el fin de hacer la irrigación uniforme en todo el recorrido y se gira el cilindro conforme avanza el tubo irrigador, propiciando la separación total entre el material arcilloso y el arenoso.
11. Se extrae lentamente el tubo irrigador sin cortar el flujo de solución, de manera que el nivel del líquido se mantenga en los 38,1 cm después de retirar completamente el tubo.
12. Se deja reposar el cilindro durante 20 min, evitando cualquier movimiento o vibración durante este período, de tal modo que la arena se ha sedimentado y los finos permanecen en suspensión.



Ilustración 42: Probetas de equivalente de arena ya reposadas

13. Se mide y registra como (LNS) el nivel superior de los finos en suspensión, con aproximación de 2 mm (0,1" aprox.). Dicha lectura se hará en condiciones de iluminación que permite apreciar claramente el nivel máximo de las partículas, observando el cilindro desde uno de sus lados, de tal manera que la línea de visión forme ángulo recto con la pared del cilindro.



14. Tras los 20 minutos se introduce lentamente la varilla con pisón dentro del cilindro, cuidando no formar turbulencias, hasta que la base descansa sobre la arena. Se observa el nivel de la parte superior del indicador en la escala del cilindro, se le resta la altura h (10") y se registra como el nivel superior de la arena (LNS arena), con aproximación de 2 mm (0,1" aprox.). Durante la medición se tendrán las mismas consideraciones citadas en la Fracción anterior.



Ilustración 43: Lectura de pisón en prueba de equivalente de arena

15. Una vez concluida la prueba, se limpia el cilindro, tapándolo y agitándolo en posición vertical; se voltea y se destapa para vaciarlo inmediatamente. Para finalizar se lava dos veces con agua, hasta eliminar cualquier residuo de material en su interior para evitar errores en las futuras pruebas.

CÁLCULOS

La parte más relevantes de la prueba es llevar el proceso adecuado, ya que el cálculo se simplifica en:

$$E\% = \frac{M_{AR}}{M_{AC}} * 100$$

Donde:

$E\%$: Valor del equivalente de arena %

M_{AR} : Medida de altura de la arena

M_{AC} : Medida de altura de la arcilla

Y se registra en un formato como el siguiente:



Tabla 25: Resultados de cálculo de equivalentes de arena en diversas muestras

Muestra	Fecha	Descripción	Saturación		Agitado		Altura de arcillas	Altura de arenas	Equivalente %	Promedio %
			1ra hora	2da hora	1ra hora	2da hora				
PSB - 172/25	18/06/2025	Mezcla 50 fresado 50 2012	10:11	10:21	10:22	10:42	6.2	3.5	56.45	56
			10:14	10:24	10:25	10:45	6.1	3.4	55.74	
			10:17	10:27	10:28	10:48	6.2	3.4	54.84	
PSB - 173/25	18/06/2025	Mezcla tendida y compactada	11:01	11:11	11:11	11:31	6.1	3.2	52.46	54
			11:04	11:24	11:25	11:45	6.2	3.4	54.84	
			11:07	11:27	11:28	11:48	6.0	3.3	55.00	
PBC - 177/25	20/06/2025	Mezcla 50 chiltepeque 50 2012	13:45	13:55	13:56	14:16	5.8	3.5	60.34	60
			13:48	13:58	13:59	14:19	5.9	3.6	61.02	
			13:51	14:01	14:03	14:23	5.9	3.4	57.63	
PBC - 178/25	20/06/2025	Mezcla tendida y compactada	15:10	15:20	15:21	15:41	5.8	3.2	55.17	58
			15:13	15:23	15:24	15:44	5.9	3.5	59.32	
			15:16	15:26	15:27	15:47	6.0	3.5	58.33	

COMPROBACIÓN

Según la normativa N-CMT-4-02-001-16 y N-CMT-4-02-002-21, y en base al caso de este proyecto, se colocará una mezcla asfáltica en caliente sobre la capa, además de pertenecer a la carretera Texcoco-Zacatepec, por lo que le corresponden los valores para más de 1 millón de ejes equivalentes; por lo cual, el equivalente para subbase debe superior a 40% y superior al 50% en bases, por lo que se considera que cumple con los requisitos.



LÍMITES DE CONSISTENCIA

Sigue el mismo proceso que en el apartado de terracerías, sin embargo, se deben considerar los nuevos requisitos que estipulan las normas N-CMT-4-02-001-16 y N-CMT-4-02-002-21, tanto para bases como subbases.

VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) EN LABORATORIO

Esta prueba permite determinar el Valor Soporte de California (CBR) en los materiales para subbases y bases hidráulicas en laboratorio, en especímenes compactados dinámicamente con la energía de compactación en la prueba AASHTO modificada.

Sigue el mismo proceso de terracerías, sin embargo, solo se compacta 1 espécimen a 5 capas y 56 golpes empleando el pisón de 4.54 kilogramos, del mismo modo que se lleva a cabo la prueba de compactación AASHTO modificada.

La única diferencia en el cálculo es la determinación del CBR, ya que al ser un solo espécimen, este no requerirá la gráfica de relación CBR a masa volumétrica seca, por lo que el valor de CBR será obtenido únicamente de determinar el menor valor entre las lecturas a 2.54 y 5.08 mm.

A continuación, se muestra el ejemplo de cálculo:



Instituto Tecnológico Nacional de México: Campus Apizaco
Memoria de Residencias Profesionales



Tabla 2C: tabulación de datos resultado de prueba de CBR a muestra de subbase

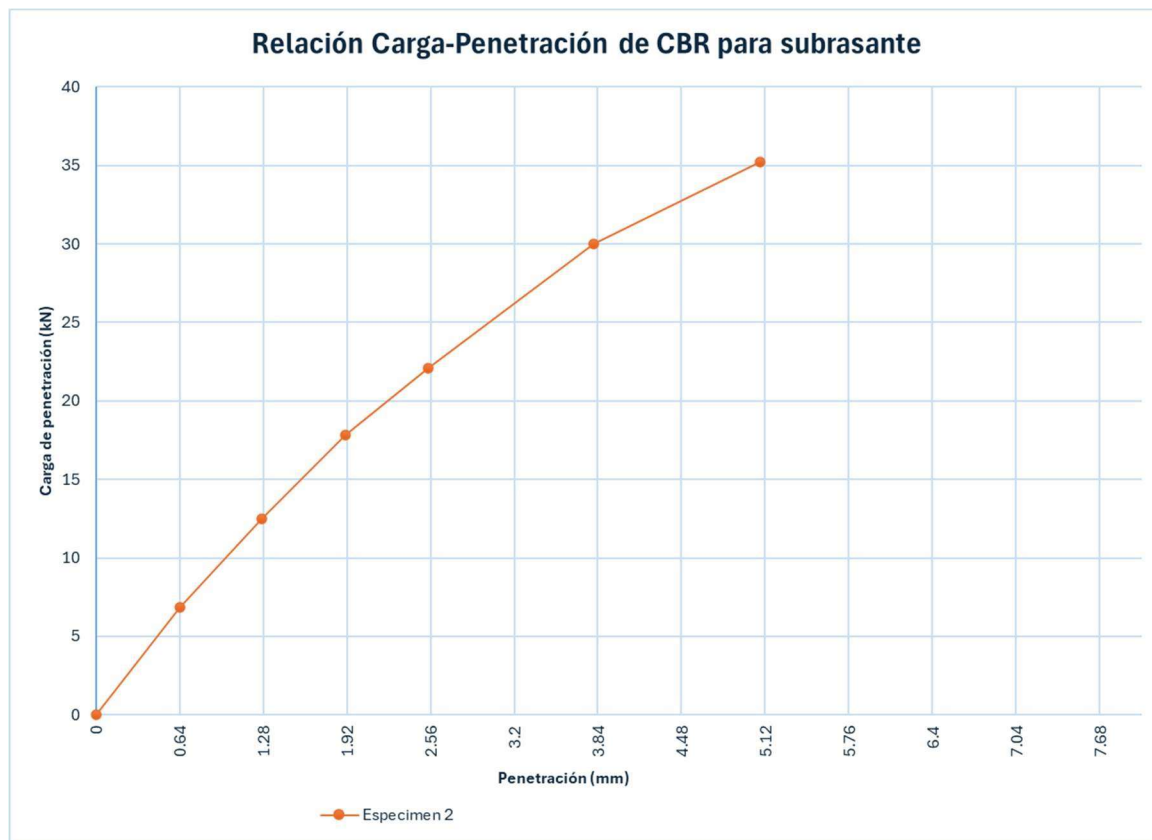
Fecha de ensaye		20/05/2025
Muestra		PBC 132/25
Capa		Sub-Base
Maximo AASHTO		2155
Humedad optima		6.8

Molde			1	
Diam Int. (Dm) en mm			152.94	
Altura (Hm) en mm			178.1	
Masa (Wm) en mm			6783	
Disco Espaciador			1	
Altura (Hde) en mm			63.3	
Humedad de prueba (%)			5.61	
Golpes por capa			56	
Masa molde + Esp. Comp.			11521	
Masa molde + Esp. Sat.			11602	
Capsula			5	
Masa capsula (g)			555.2	
Masa cap. + suelo humedo (g)			1055.3	
Masa cap. + suelo seco (g)			1025.2	
Cont. Agua sat. W sat en %			6.40	
Masa Vol. Seca (Yd) en kg/m3			2147.5	
Cont. Agua de comp. (Wc) en %			4.62	
Lectura Inicial de Exp (E0) en mm			1.02	
Lectura Final de Exp (Ef) en mm			1.28	
Diferencia (Dh) en mm			0.26	
Expansión (Exp) en %			0.23	
Expansion Promedio (%)			0.23	
Lecturas	Penetración	Tiempo	Carga de penetración (kN)	
1	0.64	00:30	6.85	
2	1.27	01:30	12.51	
3	1.91	01:30	17.82	
4	2.54	02:00	22.1	
5	3.81	03:00	30.01	
6	5.08	04:00	35.21	
7	7.62	06:00		
8	10.16	08:00		
9	12.7	10:00		
C 2.54			22.1	
CBR 2.54 %			165.7	
C 5.08			35.21	
CBR 5.08 %			176.0	
CBR %			165.7	



Se verifica que la curva generada no requiere corrección, por lo que se mantiene los valores obtenidos de la penetración.

Grafica 1C: Curvas Carga-Penetración de espécimen para cálculo de CBR de subbase



COMPROBACIÓN

Según la normativa N-CMT-4-02-001-16 y N-CMT-4-02-002-21, y en base al caso de este proyecto, se colocará una mezcla asfáltica en caliente sobre la capa, además de pertenecer a la carretera Texcoco-Zacatepec, por lo que le corresponden los valores para más de 1 millón de ejes equivalentes; por lo cual, el CBR mínimo en subbase corresponde a 60% y a 100% para base, por lo que se considera que esta muestra cumple con el requisito.



ASFALTO

CONTENIDO DE ASFALTO

Esta prueba permite determinar el contenido de cemento o residuo asfáltico en mezclas asfálticas, ya sean recién producidas o que formen parte de una capa construida con anterioridad. La prueba consiste en someter una porción de la muestra de mezcla asfáltica a un proceso de lavado mediante alguno de los disolventes especificados, aplicando posteriormente, mediante una máquina de características definidas, un movimiento centrífugo que ocasione la separación del cemento o residuo asfáltico de las partículas del material pétreo, con el fin de cuantificar cada uno de estos dos materiales. (M-MMP-4-05-049/15)

EQUIPO

- Equipo de extracción por centrifugado (tipo ROTAREX).



- Balanza con capacidad de hasta 5 kg y aproximación de 0.1 g.



- Cuchara de albañil o espátula para manipular el material.

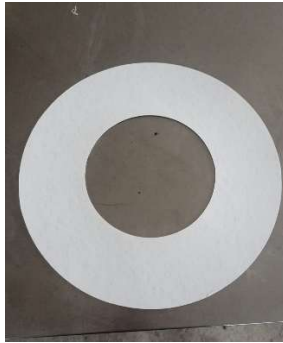


- Fuente de calor





- Papel filtro



- Cepillo o brocha



- Cronometro o reloj
- Disolvente: Cloruro de metileno, bromuro de propilo normal o tricloroetileno.



PROCESO

1. Si la muestra del material no es lo suficientemente manejable, se calienta en una charola y se calienta en parrilla a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante el tiempo suficiente para poder manejarla, homogeneizarla y realizar los cuarteos.
2. Se determina el tamaño de la muestra según la siguiente tabla:

Tabla 27: Masa mínima de muestra para determinar contenido asfáltico, según tamaño nominal de mezcla asfáltica

Tamaño máximo nominal del material pétreo mm (in)	Masa mínima de la porción de la muestra de mezcla asfáltica kg
4,75 (N°4)	0,5
9,50 (¾)	1,0
12,50 (½)	1,5
19,00 (¾)	2,0
25,00 (1)	3,0
37,50 (1½)	4,0



3. Si la cantidad de muestra rebasa las capacidades del equipo se puede dividir en fracciones iguales para ensayarlas por separado.
4. Para eliminar el contenido de agua de la porción de la muestra se coloca en una charola a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante el tiempo necesario para evaporar disolventes y el agua que contenga, removiendo constantemente el material con la espátula.
 - a. Opcionalmente para acelerar el proceso se pueden tomar los cuarteos sobrantes y se registra la masa inicial de la charola más espátula (W_A), posteriormente la masa inicial de la muestra junto a la charola y espátula (W_B), se realiza el mismo proceso mencionado anteriormente y se pesa el material una vez se evapore el agua (W_C), y el porcentaje obtenido de humedad se le resta ala muestra a centrifugar en los cálculos finales.
5. Se registra el peso inicial de la muestra a centrifugar (W_1)
6. Se seca 1 hoja de papel filtro a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante, registrándola (F_1)



Ilustración 44: Secado de filtro para Rotarex

7. Se coloca en el tazón para centrifugado la muestra, donde se agrega el volumen de disolvente suficiente para cubrir toda la muestra, dejándola el tiempo suficiente para lograr la disgregación, pero nunca más de 1 h.



Ilustración 45: Vaciado de muestra en tazón para centrifugado de asfalto

8. Se coloca el tazón en el aparato de centrifugado, se coloca el papel filtro y se tapa, asegurando que tenga un cierre hermético



Ilustración 4C: Aparato para centrifugado de asfalto manual



9. Se pone a funcionar el aparato a velocidad lenta y se incrementa gradualmente hasta llegar a 3600 r/min y suspendiendo el movimiento cuando deje de salir solución por el dispositivo de drenaje
10. Una vez detenido se abre la tapa y se agregan 200 ml. Mas del disolvente elegido, se cierra y se repite el proceso un mínimo de 3 veces más, y hasta que la solución extraída en un fondo blanco tenga un ligero tono amarillento.
11. Una vez terminado el proceso, se seca el papel a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante, registrándola (F_2)
12. Se coloca el material pétreo en una charola y se seca completamente hasta masa constante, para eliminar la humedad absorbida por el solvente
13. Se obtiene la masa del material completamente seco, registrándolo (W_3)
14. En el caso al usar tricloroetileno o bromuro de propinol normal se seca la muestra a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ en la parrilla hasta masa constante, de lo contrario necesitara un baño de vapor previo.
 - a. Si se requiere conocer la granulometría el material una vez frio puede emplearse para realizar el ensaye, a través de las mallas correspondientes según el tipo de carpeta asfáltica.



Ilustración 47: Vaciado de material producto de centrifugado a charola para secado

CÁLCULOS

Considerando que para la muestra se obtuvo la humedad a partir de los cuarteos restantes, contamos con los siguientes datos:

Mezcla: Mezcla asfáltica elaborada en caliente TN (3/4) PG 76-24H

Ensaye: MAM-111/25

Fecha: 10/06/2025



Tabla 28: Registro de datos base para cálculo de porcentaje de cemento asfáltico

Contenido de humedad en la mezcla asfáltica (MC%)	
WA) Masa de la tara (g)	910.7
WB) Masa de la tara + masa inicial de la porcion de ensaye (g)	2574.1
WC) Masa de la tara + masa final de la porcion de ensaye (g)	2571.2
w) Masa inicial de la porción de ensaye (g)	
d) Masa final de la porción de ensaye (g)	
MC%) Contenido de humedad de la mezcla asfáltica (%)	
Masa del material en el papel filtro (Wf)	
F1) Masa seca inicial del papel filtro (g)	20.8
F2) Masa seca final del papel filtro (g)	22.3
Wf) Masa del material en el papel filtro (Wf)	
Contenido de Cemento Asfáltico	
W1) Masa de la porcion de ensaye (g)	2075.0
W2) Masa de agua en la porción de ensaye (g)	
W3) Masa del agregado seco despues de centrifugado (g)	1952.3
W4) Masa del agregado seco extraido (g)	
W5) Masa del agregado en el extracto (g)	0.0
%C.A.ra) Contenido de cemento asfáltico respecto al agregado (%)	
%C.A.rm) Contenido de cemento asfáltico respecto a la muestra (%)	

El valor de W5 hace referencia a los finos que se ven expulsados junto al solvente, que requiere de un proceso de carbonización, sin embargo, debido a la falta de equipo y la mínima cantidad que este material representa se considerar como 0.

Para el cálculo empleamos las fórmulas:

Contenido de humedad

$$w = W_B - W_A$$

$$d = W_C - W_A$$

$$MC\% = \frac{d - w}{w}$$

Donde:

W_A : Masa de la tara

W_B : Masa de la tara + masa inicial de la muestra

W_C : Masa de la tara + masa final de la muestra

w : Masa inicial de la porcion de ensaye

d : Masa final de la porcion de ensaye



MC%: Contenido de humedad en la mezcla asfáltica

Material en papel filtro

$$Wf = F_2 - F_1$$

Donde:

F₁: Masa seca inicial del filtro

F₂: Masa seca final del filtro

Wf: Masa del material en el filtro

Contenido de Cemento Asfáltico

$$W_2 = \frac{W_1 * MC\%}{100}$$

$$W_4 = W_3 + Wf$$

$$\%C. A_{ra} = \left[\frac{(W_1 - W_2) - (W_4 + W_5)}{(W_4 + W_5)} \right] * 100$$

$$\%C. A_{rm} = \left[\frac{(W_1 - W_2) - (W_4 + W_5)}{(W_1 - W_2)} \right] * 100$$

Donde:

W₁: Masa inicial de la porción de ensaye

W₂: Masa de agua en la porción de ensaye

W₃: Masa final de la porción de ensaye

W₄: Masa retenida en el filtro

W₅: Masa en el solvente

%C. A_{ra} : Contenido de cemento asfáltico respecto al agregado

%C. A_{rm} : Contenido de cemento asfáltico respecto a la mezcla



Aplicándolo a los datos obtenidos:

Tabla 2S: Resultados de contenido de cemento asfáltico tabulados

Contenido de humedad en la mezcla asfáltica (MC%)	
WA) Masa de la tara (g)	910.7
WB) Masa de la tara + masa inicial de la porcion de ensaye (g)	2574.1
WC) Masa de la tara + masa final de la porcion de ensaye (g)	2571.2
w) Masa inicial de la porción de ensaye (g)	<u>1663.4</u>
d) Masa final de la porción de ensaye (g)	<u>1660.5</u>
MC%) Contenido de humedad de la mezcla asfáltica (%)	<u>0.17</u>
Masa del material en el papel filtro (Wf)	
F1) Masa seca inicial del papel filtro (g)	20.8
F2) Masa seca final del papel filtro (g)	22.3
Wf) Masa del material en el papel filtro (Wf)	<u>1.5</u>
Contenido de Cemento Asfáltico	
W1) Masa de la porcion de ensaye (g)	2075.0
W2) Masa de agua en la porción de ensaye (g)	<u>3.6</u>
W3) Masa del agregado seco despues de centrifugado (g)	1952.3
W4) Masa del agregado seco extraido (g)	<u>1G55.G</u>
W5) Masa del agregado en el extracto (g)	0.0
%C.A.ra) Contenido de cemento asfáltico respecto al agregado (%)	<u>6.0G</u>
%C.A.rm) Contenido de cemento asfáltico respecto a la muestra (%)	<u>5.75</u>

De igual modo, a la muestra ya seca se le puede realizar una prueba de granulometría, al pasar el material por las mallas de diseño correspondiente, realizándola toda de la muestra inicial, por lo que no se realiza el lavado de la mezcla a los finos, como en el ejemplo de bases/subbases; de esta muestra se obtuvieron:



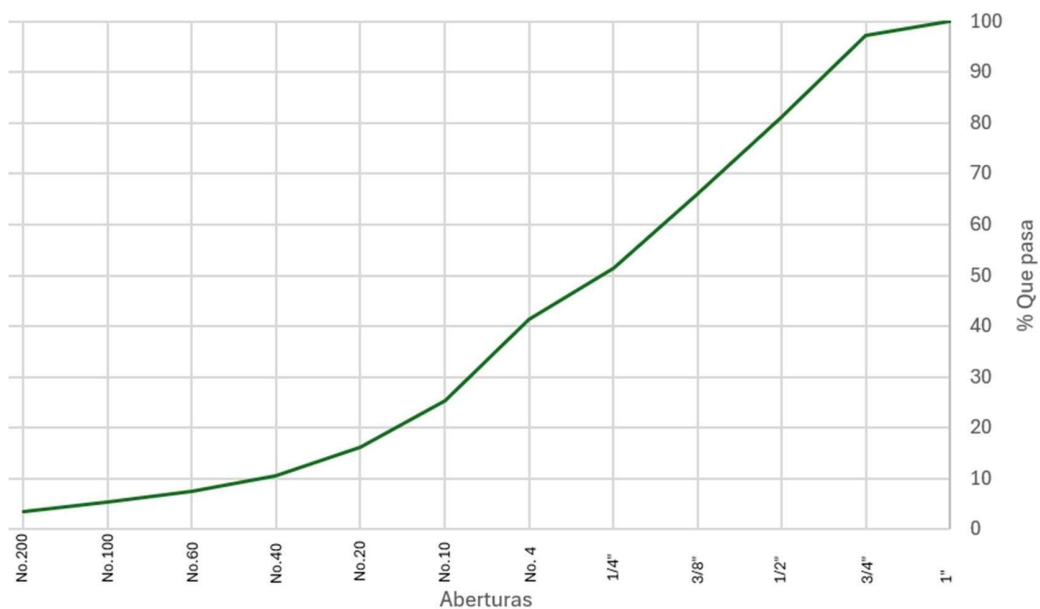
Tabla 30: Granulometría de mezcla asfáltica TN ¾"

No. Malla	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)
1"	25.00	0	0.00	0.0	100.0
¾"	19.00	55.8	2.85	2.9	97.1
½"	12.50	311.5	15.93	18.8	81.2
⅜"	9.50	295.8	15.12	33.9	66.1
¼"	6.30	285.9	14.62	48.5	51.5
No. 4	4.75	198.7	10.16	58.7	41.3
No. 10	2.00	310.5	15.88	74.6	25.4
No. 20	0.85	181.3	9.27	83.8	16.2
No. 40	0.43	110.2	5.63	89.5	10.5
No. 60	0.25	60.1	3.07	92.5	7.5
No. 100	0.15	40.6	2.08	94.6	5.4
No. 200	0.08	35.7	1.83	96.4	3.6
Pasa No. 200		69.8	3.57		
Suma		1955.9	100.00		

Graficando la curva tenemos:

Grafica 17: Granulometría de mezcla asfáltica TN ¾"

Granulometría para carpeta asfáltica en caliente TN ¾"





COMPROBACIÓN

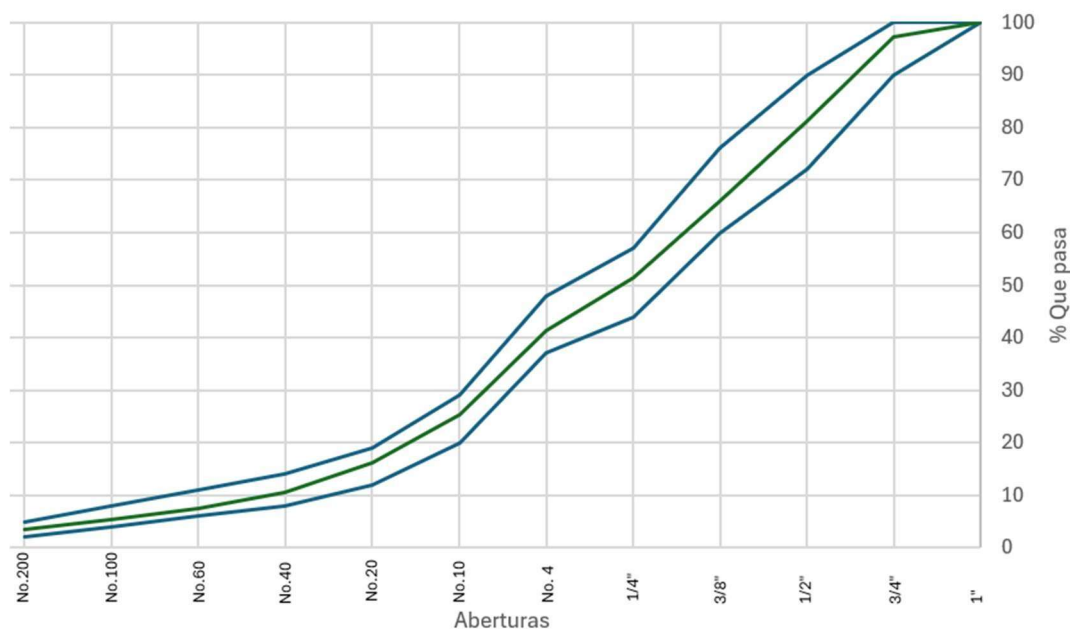
Basándonos en el diseño de la carpeta, tenemos un contenido de cemento asfáltico óptimo de 6.0%, así como un margen de $\pm 0.15\%$, por lo que se determina que el contenido de cemento es correcto, por otro lado, la granulometría para este tipo de carpetas tiene límites establecidos en la norma N-CMT-4-04-08, específicamente en la tabla:

Tabla 31: Límites granulométricos para mezclas asfálticas en diversos tamaños nominales

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)				
Abertura mm	Designación	9,5 (%)	12,5 (½)	19 (¾)	25 (1)	37,5 (1½)
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	⅜"	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	Nº4	56 - 69	45 - 59	37 - 48	30 - 39	25 - 34
2	Nº10	28 - 42	25 - 35	20 - 29	17 - 24	13 - 21
0,85	Nº20	18 - 27	15 - 22	12 - 19	9 - 16	6 - 13
0,425	Nº40	13 - 20	11 - 16	8 - 14	5 - 11	3 - 9
0,25	Nº60	10 - 15	8 - 13	6 - 11	4 - 9	2 - 7
0,15	Nº100	6 - 12	5 - 10	4 - 8	2 - 7	1 - 5
0,075	Nº200	2 - 7	2 - 6	2 - 5	1 - 4	0 - 3

Por lo que aplicando los límites a la granulometría tenemos:

Grafica 18: Granulometría de mezcla asfáltica TN ¾" con límites
Granulometría para carpeta asfáltica en caliente TN 3/4



Así que se considera que esta mezcla asfáltica cumple con estos parámetros.



GRAVEDAD TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA (GMM)

El objetivo de la muestra es determinar la gravedad específica teórica máxima de mezclas asfálticas sin compactar. La gravedad específica teórica máxima (GMM) de la mezcla asfáltica es una propiedad fundamental cuyo valor está influenciado por la composición de la mezcla en términos de la granulometría y el contenido de asfalto, empleada en el cálculo de los vacíos de aire de la mezcla asfáltica compactada; en el cálculo de la cantidad de asfalto absorbido por el agregado y para determinar valores de compactación objetivo en campo.

EQUIPO

- Picnómetro de vacío: de metal o plástico con diámetro de 180 a 260 mm, y altura mínima de 160 mm, con tapa transparente, empaque de goma y conducción a línea de vacío.



- Bomba de vacío: capaz de evacuar aire a 4.0 kPa (30 mmHg) o menor.
- Manómetro de presión absoluta, capaz de verificar la presión y contado al picnómetro
- Válvula de alivio
- Dispositivo de agitado
- Balanza con precisión de 0.1 g y con capacidad de pesar el picnómetro sumergido en agua.
- Termómetro
- Tina o recipiente para mantener agua



Ilustración 48: Equipo para GMM ensamblado

1. Tender la mezcla asfáltica en una plancha o charola grande hasta que se enfríe a 60 °C para comenzar a separar las partículas empleando guantes térmicos, hasta que los finos de mezcla sean menores a 6mm, hasta temperatura ambiente, evitando romper el agregado y separando cuidadosamente.



Ilustración 4S: Mezcla asfáltica tendida para enfriarse

2. Suspender el picnómetro en el agua a una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ y registrar la masa del picnómetro sin tapa (B).
3. Registrar la masa de la muestra seca al aire (A) y colocar en el picnómetro.
4. Añadir agua a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ al picnómetro hasta cubrir completamente la muestra y tapar el picnómetro.
5. Colocar en el dispositivo de agitación y arrancarlo junto a la bomba de vacío para eliminar el aire de la muestra, aumentando gradualmente la presión hasta $3.7 \pm 0.3 \text{ kPa}$ ($27.5 \pm 2.5 \text{ mmHg}$), logrando dicha presión en no más de 2 minutos.
6. Mantener la presión hasta un total de 17 minutos, contando desde el momento que arranca la bomba de vacío.
7. Finalizar la agitación y liberar gradualmente la presión.
8. Introducir el picnómetro sin tapa lentamente en el baño del agua, evitando que entre agua a la muestra.
9. Suspender el picnómetro durante $10 \pm 1 \text{ min.}$ Y registrar la masa (C).
10. Repetir el proceso con la misma mezcla para promediar los resultados.



Ilustración 50: Muestra sumergida para determinación de GMM

$$Gmm = \frac{A}{A - (C - B)}$$

Donde:

Gmm: Gravedad teorica maxima

A : Masa de la muestra al aire

B : Masa del picnometro sumergido

C : Masa del picnometro + muestra sumergida despues de la extaccion de aire

A continuación, se presentan datos ya calculados de diversas muestras:

Tabla 32: Resultados de diversos cálculos de GMM

Ensaye	Muestra	Fecha	Descripción	Temp. Agua	Masa al aire (A)	Masa Picnometro (B)	Masa sumergida (C)	Gmm	<u>GMM</u>
21	GMM-45/25	10-jun	Mezcla asf. Cal. Protocolo AMAAC C.A. 6.3	25	2534.1	182.6	1682.2	2.450	2.452
					2529.0		1681.5	2.455	
22	GMM-46/26	12-jun	Mezcla asf. Cal. Protocolo AMAAC C.A. 5.55	25	2497.9	182.6	1663.2	2.455	2.457
					2490.1		1660.1	2.459	
23	GMM-47/27	12-jun	Mezcla asf. Cal. Protocolo AMAAC C.A. 5.77	25	2492.8	182.6	1656.2	2.446	2.455
					2498.6		1667.1	2.464	
24	GMM-48/28	14-jun	Mezcla asf. Cal. Protocolo AMAAC C.A. 5.35	25	2528.6	182.6	1680.0	2.452	2.450
					2505.0		1664.2	2.448	
25	GMM-49/29	14-jun	Mezcla asf. Cal. Protocolo AMAAC C.A. 6.2	25	2504.9	182.6	1656.7	2.430	2.430
					2494.9		1650.4	2.429	

COMPROBACIÓN

En este caso, los valores se verifican con el diseño, y si se salen del parámetro no necesariamente están mal, se pueden realizar pastillas para verificar los datos de diseño, ya que cambios en los bancos de los pétreos pueden afectar considerablemente la muestra, y el dato obtenido del ensaye es más empleado en la verificación de la compactación de la carpeta, al realizar la comparativa con la gravedad especifica de la mezcla asfáltica (GMB)



GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA COMPACTADA (GMB)

Esta prueba se realiza para estimar el grado de densificación que tendrá la mezcla asfáltica colocada en la estructura del pavimento, debe tenerse en cuenta que esta densificación es el valor estimado que tendrá la mezcla asfáltica después de un tiempo de haberse colocado en el pavimento. Esto debido a que el pavimento después de ser colocado sigue sufriendo densificación debido al paso de los vehículos.

EQUIPO

- Balanza con precisión de 0.1 g



- Canastilla metálica con abertura de 3,35 mm (Nº6) ó 2,36 mm (Nº8), de aproximadamente 20 cm de diámetro y 20 cm de altura.



- Recipiente: Adecuado para sumergir las canastillas en agua y saturar el material
- Dispositivo de suspensión: De alambre u otro material adecuado para suspender la canastilla del centro del platillo de la balanza.



- Franela o tela para secado de prueba

PROCESO

1. Una vez tomada la muestra, dejar secar hasta eliminar totalmente la humedad de la muestra



2. Pesar y registrar el valor de la muestra seca al aire (A).



Ilustración 51: Pesaje de muestra para obtener peso seco en GMB

3. Sumergir la muestra en agua a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ entre 10 y 15 minutos, para posteriormente pesarla sumergida en la castilla y obtener la masa (B).



Ilustración 52: Muestra para GMB sumergida para saturarse

4. Sacar la muestra y en los 15 segundos posteriores secar con una franela húmeda la muestra para obtener la condición saturada superficialmente seca, evitando extraer humedad del interior y registrar el valor (C).



Ilustración 53: Secado de pastilla para GMB y obtención del estado saturado superficialmente seco



CALCULOS



En este caso, similar a las gravas, además de la gravedad específica de los cilindros, se obtiene su absorción, donde empleamos las fórmulas:

$$Gmb = \frac{A}{B - C}$$

$$Abs\% = \frac{B - A}{B - C} * 100$$

$$C\% = \frac{Gmb}{Gmm} * 100$$

Donde:

Gmb : Gravedad específica de la mezcla compactada

Abs%: Porcentaje de absorción del especimen

C%: Grado de Compactación

Gmm: Gravedad específica teorica de la mezcla

A: Masa del especimen seco

B: Masa del especimen saturado superficialmente seco

C: Masa del especimen sumergido

Estos datos se registran en una tabla como la siguiente:

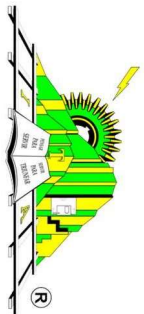


Tabla 33: Resultados de diversos cálculos de GMB

Ensaye	Muestra	Fecha	Estación	Contenido Asfáltico	Temp agua	Volumetria del especimen				GMM	Compactación (%)	<u>Abs %</u>
						A	B	C	<u>Gmb</u>			
21	GMB-110/25	12-jun	201+447	6.3	25	1197.7	1207.4	708.1	2.399	2.452	97.8	1.94
21	GMB-111/25	12-jun	201+500	6.3	25	1001.1	1013.1	586.9	2.349	2.452	95.8	2.82
21	GMB-112/25	12-jun	201+530	6.3	25	1022.6	1027.1	597.8	2.382	2.452	97.1	1.05
22	GMB-113/25	14-jun	201+610	5.55	25	1335.1	1341.5	764.8	2.315	2.457	94.2	1.11
22	GMB-114/25	14-jun	201+654	5.55	25	1575.2	1592.5	934.8	2.395	2.457	97.5	2.63



COMPROBACIÓN

Para el caso se basa en datos de proyecto y diseño, que manejan una compactación óptima entre el 94% y 98%, al comparar el GMB obtenido respecto a los GMM correspondientes a los ensayos 21 y 22 previos, se observa que todos cumplen con las especificaciones de diseño y el tramo cumple y en este punto puede ser liberado, ya que en caso de no ser así es probable que todo el tramo requiera de ser fresado y re-encarpetado, provocando gastos innecesarios.



CURVA TEÓRICA

Del mismo modo es importante el desarrollo de curvas teóricas en el caso que se requieran mezclas que satisfagan las necesidades del proyecto, para lo cual la curva teórica cumple un papel fundamental en este proceso, esta nos ayuda a determinar los porcentajes de una muestra para asegurar el cumplimiento de la granulometría.

Para el desarrollo de esta se requieren de datos previos, mismos que salen de los ensayos previos de materiales o mezclas a emplear.

Por ejemplo; se tienen los siguientes datos, y se requiere obtener una mezcla que entre dentro de los requisitos que exige la SICT para la capa de base hidráulica.

Tabla 34: Datos granulométricos de grava TN ¾"

Muestra	APG-14/25				
Fecha de Recibo	01/04/2025				
Fecha de Ensaye	01/04/2025				
Descripción	Grava Andesitica TN 3/4				
Procedencia	Bco. La Herradura				
Masa Inicial (g)	14183				
No. Malla	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)
1 1/2"	37.50	0			100.0
1"	25.00	0	0.00	0.0	100.0
3/4"	19.00	112	0.79	0.8	99.2
3/8"	9.50	8111	57.19	58.0	42.0
No. 4	4.75	5210	36.73	94.7	5.3
No. 10	2.00	345	2.43	97.14	2.9
No. 20	0.85	201	1.42	98.56	1.4
No. 40	0.43	102	0.72	99.28	0.7
No. 60	0.25	59	0.42	99.70	0.3
No. 100	0.15	0	0.00	99.70	0.3
No. 200	0.08	0	0.00	99.70	0.3
Pasa No. 200		43	0.30	100.0	
Suma		14183	100.00		



Grafica 1S: Datos granulométricos de grava TN ¾"

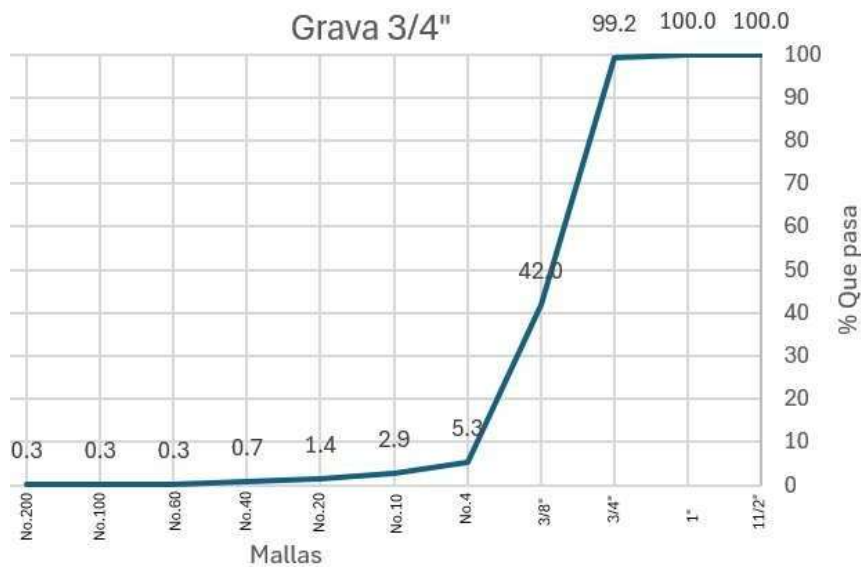


Tabla 35: Datos granulométricos de grava TN 1 ½"

Muestra	APG-15/25					
Fecha de Recibo	01/04/2025					
Fecha de Ensaye	01/04/2025					
Descripción	Grava Andesitica TN 1 1/2"					
Procedencia	Bco. La Herradura					
Masa Inicial (g)	15121					
No. Malla	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)	
1 1/2"	37.50	521	3.45	3.45	96.6	
1"	25.00	6251	41.34	44.8	55.2	
3/4"	19.00	4811	31.82	76.6	23.4	
3/8"	9.50	2115	13.99	90.6	9.4	
No. 4	4.75	981	6.49	97.1	2.9	
No. 10	2.00	301	1.99	99.07	0.9	
No. 20	0.85	98	0.65	99.72	0.3	
No. 40	0.43	0	0.00	99.72	0.3	
No. 60	0.25	0	0.00	99.72	0.3	
No. 100	0.15	0	0.00	99.72	0.3	
No. 200	0.08	0	0.00	99.72	0.3	
Pasa No. 200		43	0.28	100.0		
Suma		15121	96.55			



Grafica 20: Datos granulométricos de grava TN 1 1/2"

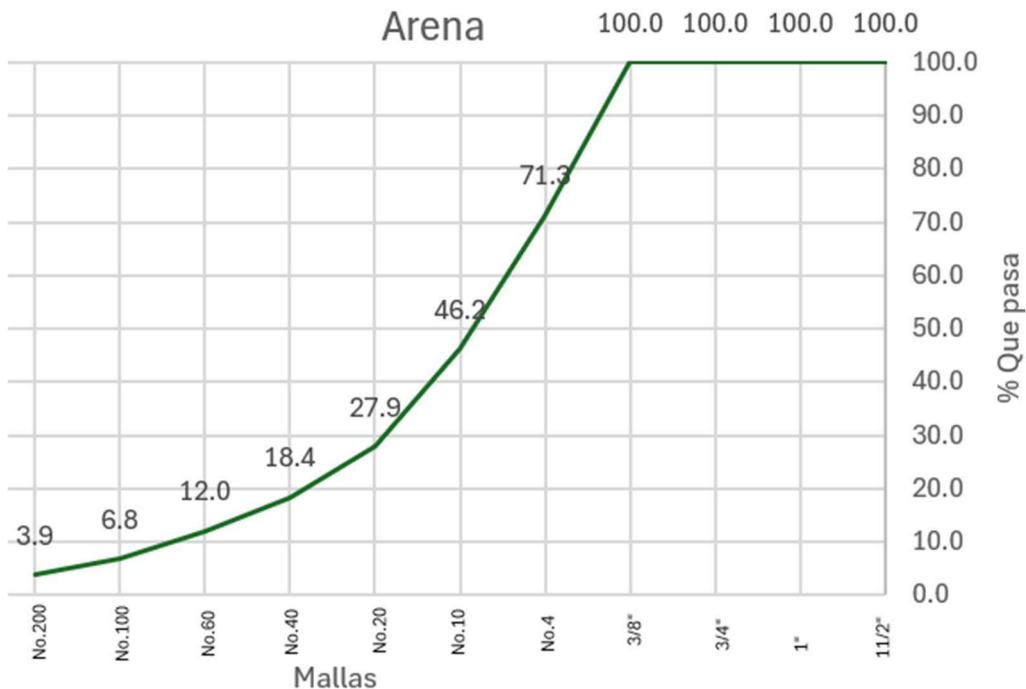


Tabla 3C: Datos granulométricos de Arena 1/4" a finos

Muestra	APS-16/25				
Fecha de Recibo	01/04/2025				
Fecha de Ensaye	01/04/2025				
Descripción	Arena 1/4"-finos				
Procedencia	Bco. La Herradura				
Masa Inicial (g)	8411				
No. Malla	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)
1 1/2"	37.50	0	0.00	0.00	100.0
1"	25.00	0	0.00	0.0	100.0
3/4"	19.00	0	0.00	0.0	100.0
3/8"	9.50	0	0.00	0.0	100.0
No. 4	4.75	2411	28.66	28.7	71.3
No. 10	2.00	2112	25.11	53.77	46.2
No. 20	0.85	1541	18.32	72.10	27.9
No. 40	0.43	801	9.52	81.62	18.4
No. 60	0.25	535	6.36	87.98	12.0
No. 100	0.15	435	5.17	93.15	6.8
No. 200	0.08	251	2.98	96.14	3.9
Pasa No. 200		325	3.86	100.0	
Suma		8411	100.00		



Grafica 21: Datos granulométricos de Arena 1/4" a finos



Una vez analizados los datos se proponen porcentajes, mismos que se aplican a los porcentajes de material que pasan por dichas mallas, de tal modo que estos ahora representen un porcentaje en la mezcla teórica, para finalmente sumarlos y obtener la granulometría teórica.

Una vez con estos datos se propone la mezcla que cumpla con los límites:

Tabla 37: Límites granulométricos para base hidráulica

MALLA	Límites %	
3"	100	100
2"	100	85
1 1/2"	100	75
1"	90	62
3/4"	83	54
3/8"	65	40
No. 4	50	30
No. 10	36	21
No. 20	25	13
No. 40	17	8
No. 60	12	5
No. 100	9	3
No. 200	5	0

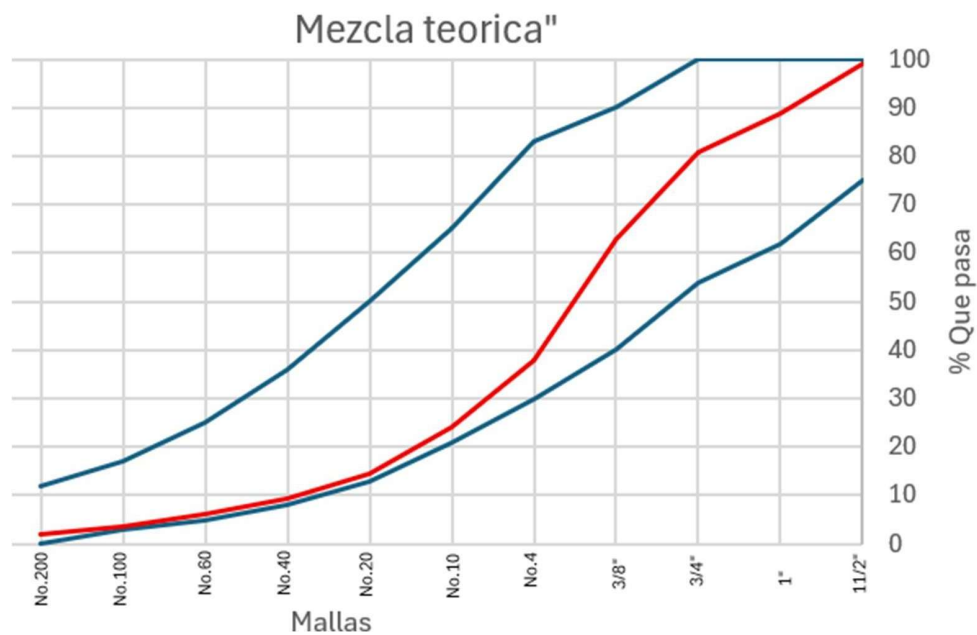


Tabla 38: Calculo de granulometría teórica

No. Malla	Grava 1 1/2"		Grava 3/4"		Arena		% Teorico
	% Pasa	25%	% Pasa	25%	% Pasa	50%	
1 1/2"	96.55	24.14	100.00	25.00	100.00	50.00	99.14
1"	55.21	13.80	100.00	25.00	100.00	50.00	88.80
3/4"	23.40	5.85	99.21	24.80	100.00	50.00	80.65
3/8"	9.41	2.35	42.02	10.51	100.00	50.00	62.86
No. 4	2.92	0.73	5.29	1.32	71.34	35.67	37.72
No. 10	0.93	0.23	2.86	0.71	46.23	23.11	24.06
No. 20	0.28	0.07	1.44	0.36	27.90	13.95	14.38
No. 40	0.28	0.07	0.72	0.18	18.38	9.19	9.44
No. 60	0.28	0.07	0.30	0.08	12.02	6.01	6.16
No. 100	0.28	0.07	0.30	0.08	6.85	3.42	3.57
No. 200	0.28	0.07	0.30	0.08	3.86	1.93	2.08

Por lo que se propone una mezcla 25% grava 1 1/2", 25% Grava 3/4" y 50% de arena, la cual graficada queda:

Grafica 22: Curva teórica de mezcla para base hidráulica con limites





Una vez que se tienen los resultados deseados se procede a realizar una mezcla en laboratorio, lo suficientemente grande para comprobar que cumpla con el resto de requisitos necesarios, para lo cual se requieren muestras significativas de cada material, y una vez que están completamente secos se elabora la mezcla a través del pesaje de los mismos, es decir, si la mezcla es 50-50 emplearemos 20 kg de cada material, estas muestras se revolverán hasta lograr la homogeneización de las mismas para su posterior cuarteo y la elaboración de las pruebas correspondientes.

CALIBRACIÓN DE PLANTA

Para entender el proceso de la calibración de una planta es importante conocer el tipo de planta que se está empleando la más común consta de tolvas que se llenan con los diversos materiales y a través de rodillos que se calibran a distintas velocidades se logra dosificar el material del modo deseado, este mismo material es transportado por bandas, ya como una mezcla y llegan a un tambor mezclador donde se homogeniza y se le inyecta el asfalto.

Por lo que, para la calibración de la planta se toman muestras en banda lo más cercanas al tambor mezclador posible, estas muestras se toman tomando en cuenta 1 m de la banda, primero los materiales por separado, mismos que son pesados y en base a estos datos se determinan los porcentajes de cada material, este proceso se lleva a cabo una vez al mes con fines de mantenimiento o en caso que se vaya a emplear una mezcla nueva, si los materiales cumplen con los porcentajes de diseño se procede a tomar una muestra de los materiales ya mezclados y se verifica que cumpla con los debidos requerimientos.



CONCLUSION

El área de trabajo es muy extensa por lo que requiere de trabajos más amplios y otros más específicos en ciertas áreas, para el caso se demostró la importancia de un buen control de calidad en este tipo de obras, además de toda la extensión del tema, el trabajo se centró en el control de calidad, más sin embargo aún existe mucha información en lo referente al diseño, así como a procesos constructivos.

En el desarrollo del trabajo se verificaron varios puntos en la calidad, sin embargo, aún existen otras pruebas que pueden ser aplicables a todas estas muestras, como lo son las pruebas a las arenas, como el azul de metileno, densidad y absorción, entre otras. O pruebas a gravas como el desgaste de Los Ángeles, hola mismas que son de gran importancia, sin embargo, debido a los costos de los equipos muchas de estas pruebas se realizaron en el laboratorio central, ya que en el caso de construcción de vías terrestres es necesario desplazarse para llevarse a cabo, del mismo modo, el trabajo cubre los puntos esenciales para el control de calidad, así como da una perspectiva más amplia del trabajo realizado en un área de un laboratorio de ingeniería civil.

COMPETENCIAS DESARROLLADAS

Durante el desarrollo del trabajo tuve la oportunidad de desarrollar competencias de análisis de datos así como, en diversos temas relacionados a las vías terrestres, como puede ser el uso de polímeros en el asfalto, los tipos de asfalto que existen, así como su clasificación, ya que existen una gran variedad de diseños, cada uno con sus requerimientos y usos, siendo el más común el Marshall, pero del mismo modo tuve la oportunidad de manejar y ver diseños por protocolo AMMAC y tipo CASAA, los cuales emplean otras granulometrías, más sin embargo son reconocidos por la SICT y cumplen su rol cómo carpetas asfálticas.

Fundamentalmente se realizaron trabajos en laboratorio, en los cuales se tiene que seguir al pie de la letra la norma para asegurar que los resultados sean correctos y que los datos que se están entregando sean reales, por lo que es importante llevar un orden y un método exacto trabajando con diversos materiales, tanto materiales limpios como arenas y gravas de banco, como el aprovechamiento de materiales producto de fresado para emplearlos en mezclas y ser reutilizados en la construcción de otras capas en las carreteras.



BIBLIOGRAFIA

- Asociación Mexicana del Asfalto, A.C. (AMAAC), Protocolo AMAAC PA-MA-01/2013: Diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño, Ciudad de México: AMAAC, 2013.
- Ayala, Y., Delgado, H., Guzmán, D.V., Salazar, A.Z. (2018) “Manual de Ensayos para Laboratorio, Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) Parte 1: Para el Cálculo de Volumetría y Ensayos de Desempeño”, Instituto Mexicano del Transporte (IMT) Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
- Morales Vázquez J.C. (2008) Análisis del sistema CASAA (carpeta asfáltica superficial altamente adherida) para el mejoramiento de la calidad de los pavimentos asfálticos en México. Tesis para maestría en Construcción. Universidad Nacional Autónoma de México.
- SCT IMT (2015) Capítulo 15 “Capas de Rodadura de Granulometría Discontinua” Parte 2 Pavimentos: Libro CSV. “Conservación”, consultado de: <https://normas.imt.mx/libros/CSV>
- SCT IMT (2017) Parte 4 Materiales para Pavimentos: Libro CMT. “Características de los Materiales”, consultado de: <https://normas.imt.mx/libros/CMT>
- SCT IMT (2021) Parte 1 Materiales para Terracerías: Libro CMT. “Características de los Materiales”, consultado de: <https://normas.imt.mx/libros/CMT>
- SCT IMT (2022) Parte 1 Suelos y Materiales para Terracerías: Libro MMP. “Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales”, consultado de: <https://normas.imt.mx/libros/MMP>
- SCT IMT (2022) Parte 4 Materiales para Pavimentos: Libro MMP. “Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales”, consultado de: <https://normas.imt.mx/libros/MMP>



ANEXOS

Formato de entrega de datos para Filtro Rompedor de Capilaridad (TFR)

Para: Grupo Corporativo de Ingeniería y Supervisión S.A. de C.V.

Obra: Cambio de estructura de pavimento carretera APP Texcoco-Zacatepec (Tramo 1)

Ensaye TFR-151/25
Fecha de muestreo 29/05/2025
Fecha de ensaye 30/05/2025
Clave de servicio C-20-01

Capa: Única
No. Capa: NA
Carril: Baja
Sub-Tramo: km 112+329-112+471
Cuerpo: B
Descripción petrográfica del material: Fragmentos de Roca Andesítica

Tratamiento previo al muestreo	Trituración	Procedencia	Bco. Triturados 2012
Espesor proyecto de capa (cm)	15	Equipo empleado en su acomodo	Rodillo
Tamaño máximo	4"	Densidad	2.451
Porcentaje retenido en 6" (%)	0	Absorción	2.84%
Porcentaje retenido en 4" (%)	5.9		
Porcentaje retenido en 1" (%)	100		
Porcentaje que pasa 1" (%)	0		
P.V.S.S.	1298	kg/m ³	

Observaciones		
Laboratorista	Jefe de Brigada	Director General



Formato de entrega de datos para Terreno Natural

Para: Grupo Corporativo de Ingeniería y Supervisión S.A. de C.V.

Obra: Cambio de estructura de pavimento carretera APP Texcoco-Zacatepec (Tramo 1)

Ensaye TTN-114/25
Fecha de
muestreo 02/05/2025
Fecha de
ensaye 04/05/2025
Clave de
servicio C-19-03

DATOS DE MUESTREO

Descripción petrográfica del material Limoso Arenoso
Clase de depósito Tomado en sitio
muestreado
Tratamiento previo al muestreo NA
Ubicación del banco km 155+221

NORMA SCT

Terracerías
4-01-01-002-C-01

Características del material	Tamaño máximo	1/2"	3" Max
	% Retenido en malla de 75 mm	0	-
	% Retenido en malla de 4.75 mm	3.7	-
	% Retenido en malla de 0.75 mm	88.9	-
	P.E. Suelto kg/m3	1328	-
	P.E. Máximo kg/m3	1720	-
	Humedad Optima %	11.5	-

Observaciones

Laboratorista	Jefe de Brigada	Director General
---------------	-----------------	------------------



Formato de entrega de datos para Subrasante

Para: Grupo Corporativo de Ingeniería y Supervisión S.A. de C.V.

Obra: Cambio de estructura de pavimento carretera APP Texcoco-Zacatepec (Tramo 1)

Ensaye TTN-114/25
Fecha de muestreo 02/05/2025
Fecha de informe 10/05/2025
Clave de servicio C-19-03

DATOS DE MUESTREO

Descripción petrográfica del material
Clase de depósito muestreado
Tratamiento previo al muestreo

Grava- Arena de 1 1/2" a finos
Almacén de planta km 153+300
Mezclado

Ubicación del banco

Mezcla 50% Carpeta fresada 20% Base fresada 30% Terreno Natural (limo arenoso)

NORMA SCT

SUBRASANTE
N-CMT-1-03/21

Características del material	Tamaño máximo	1/2"	3" Max
	% Retenido en malla de 75 mm	0	-
	% Retenido en malla de 4.75 mm	51.1	-
	% Retenido en malla de 0.75 mm	4.8	-
	P.E. Suelto kg/m3	1405	-
	P.E. Máximo kg/m3	1950	-
	Humedad Optima %	8.2	-
	Límite Líquido %	19.1	40 % Max
	Índice Plático %	2.6	12% Max
	Compactación promedio de lugar %	99.8	100 ± 2 %
	CBR %	35	20% Min
	Expansión %	0.2	2% Max

Observaciones

Laboratorista	Jefe de Brigada	Director General
----------------------	------------------------	-------------------------



Formato de entrega de datos para Sub-Base

Para: Grupo Corporativo de Ingeniería y Supervisión S.A. de C.V.

Obra: Cambio de estructura de pavimento carretera APP Texcoco-Zacatepec (Tramo 1)

Ensaye PSB-106/25
Fecha de muestreo 27/04/2025
Fecha de informe 30/04/2025
Clave de servicio C-19-02

DATOS DE MUESTREO

Descripción petrográfica del material

Clase de depósito muestreado

Tratamiento previo al muestreo

Grava- Arena de 1 1/2" a finos

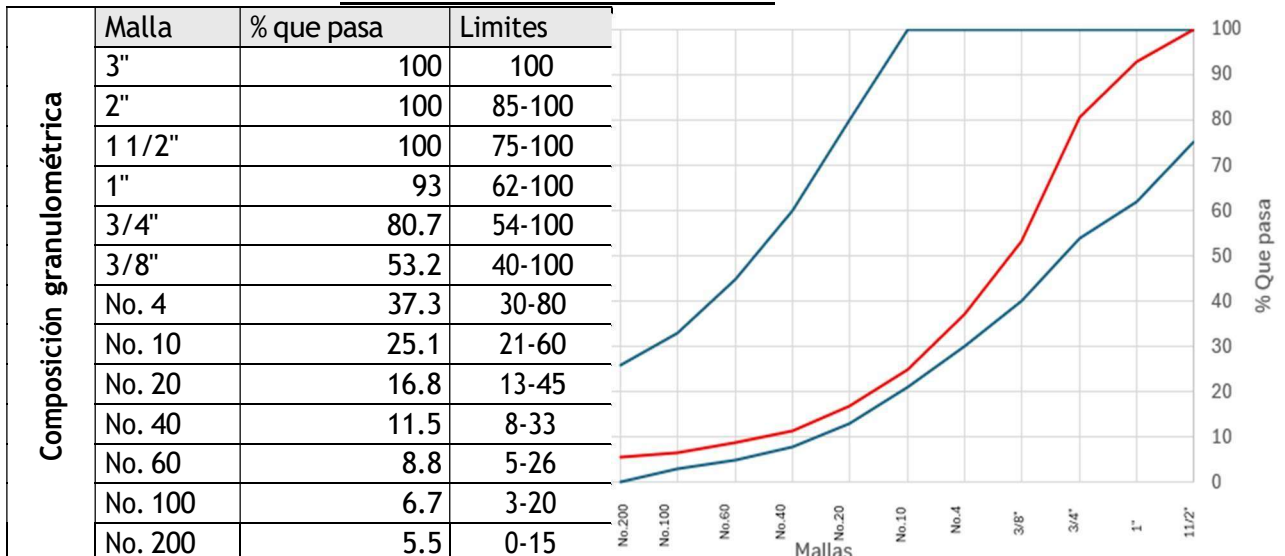
Almacén de planta km 153+300

Mezclado

Ubicación del banco

Mezcla 50% Fresado de base 50% Grava TN
1" Bco. Herradura

COMPOSICION GRANULOMETRICA



SUB-BASE

Datos para $\Sigma L > 10^6$

N-CMT-4-02-001/11

Características del material	P.E. Seco Suelto kg/m ³	1532	-
	P.E. Máximo kg/m ³	1953	-
	Humedad Optima %	9.7	-
	Grado de Compactación %	100.05	100% Min
	CBR %	66	60 % Min
	Expansión %	0.05	-
	Equivalente de arena %	56	40% Min
	Desgaste de los ángeles %	36	40% Max
	Absorción %	4.85	-
	Densidad	2.301	-



Instituto Tecnológico Nacional de México: Campus Apizaco
Memoria de Residencias Profesionales



Límite Líquido %	18.8	25% Max
Límite Plástico %	14.9	-
Índice Plástico %	3.9	6% Max
Clasificación SUCS	ML	-

Observaciones

Laboratorista	Jefe de Brigada	Director General
---------------	-----------------	------------------

Formato de entrega de datos para Base

Para: Grupo Corporativo de Ingeniería y Supervisión S.A. de C.V.

Ensaye PBC-109/25

Fecha de

muestreo 28/04/2025

Obra: Cambio de estructura de pavimento carretera APP
Texcoco-Zacatepec (Tramo 1)

Fecha de informe 30/04/2025

Clave de servicio C-19-02

DATOS DE MUESTREO

Descripción petrográfica del material

Grava- Arena de 1 1/2" a finos

Clase de depósito muestreado

Almacén de planta km 153+300

Tratamiento previo al muestreo

Mezclado

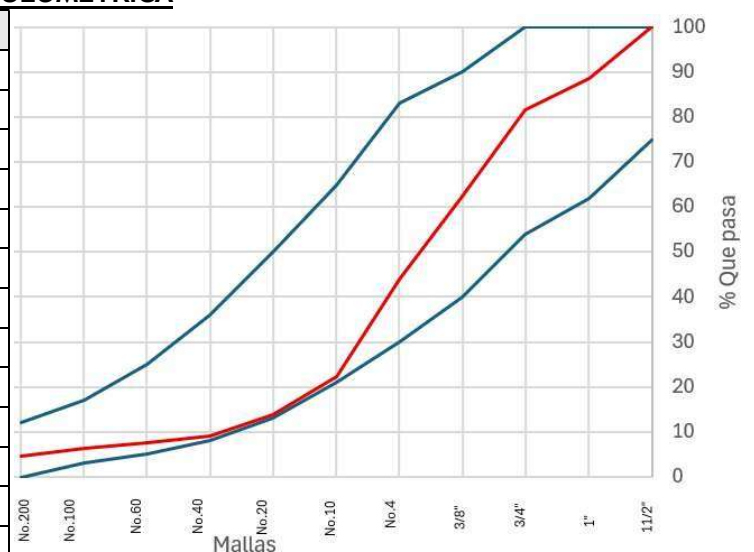
Ubicación del banco

Mezcla 80% Bco. Chiltepeque 20% Bco.

2012 con 2.6% Cemento Portland

COMPOSICION GRANULOMETRICA

Composición granulométrica	Malla	% que pasa	Limites
	3"	100	100
	2"	100	85-100
	1 1/2"	100	75-100
	1"	88.6	62-100
	3/4"	81.7	54-100
	3/8"	62.4	40-100
	No. 4	44.0	30-80
	No. 10	22.2	21-60
	No. 20	13.8	13-45
	No. 40	9.1	8-33
	No. 60	7.5	5-26
No. 100	6.4	3-20	
No. 200	4.5	0-15	





SUB-BASE

N-CMT-4-02-002/21

Datos para $\Sigma L > 10^6$

Características del material	P.E. Seco Suelto kg/m ³	1562	-
	P.E. Máximo kg/m ³	2200	-
	Humedad Optima %	6.0	-
	Grado de Compactación %	100.01	100% Min
	CBR %	139	100 % Min
	Expansión %	0.02	-
	Equivalente de arena %	68	50% Min
	Desgaste de los ángeles %	24	30% Max
	Partículas lajeadas %	21.5	35% Max
	Partículas Alargadas %	27.1	35% Max
	Absorción %	1.76	-
	Densidad	2.564	-
	Límite Liquido %	19.4	25% Max
	Límite Plástico %	14.4	-
	Índice Plático %	5.0	6% Max
	Clasificación SUCS	ML	-

Observaciones

Laboratorista	Jefe de Brigada	Director General
---------------	--------------------	------------------