

CAPITULO 3

Determinación de la compactación del suelo

3.- DETERMINACIÓN DE LA COMPACTACIÓN DEL SUELO

En este capítulo se hablará sobre la compactación del suelo, así como de la prueba Proctor Estándar que se le realizó al material extraído (tepetate) de los dos bancos de materiales y sus resultados.

3.1.- Bancos de Materiales

El material analizado para la conformación de la base para el diseño del pavimento fue tepetate; el cual se obtuvo de dos bancos comerciales de préstamo para poder hacer una comparación y determinar cual de los dos utilizamos en el proyecto.

El primero fue el banco de materiales “Los Monteros”, localizado en el kilómetro dos del periférico ecológico, 4 000 metros en la desviación a la derecha Ocotlán.

Tiene una capacidad de aproximadamente 150,000 m³ y cuenta con un volumen de material aprovechable de aproximadamente 120 000 m³.

Es un frente abierto donde se obtiene una arcilla arenosa de baja plasticidad (CL), limo arcilloso (SM) y materiales que se obtienen después de un proceso de trituración y un cribado como grava, tepetate y cacahuatillo.

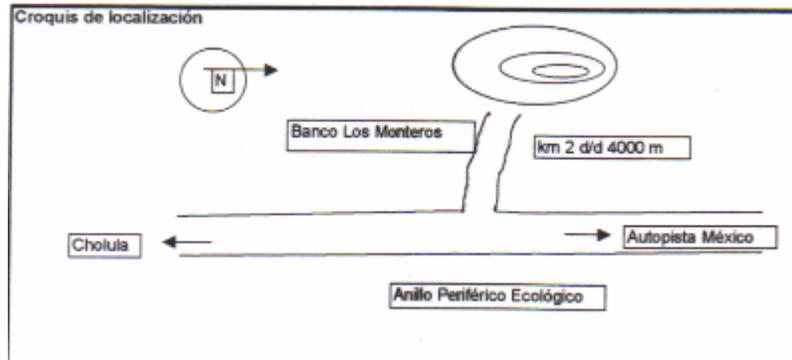


Figura 13. Croquis de ubicación del banco los Monteros.
Fuente: Elaboración propia

El segundo fue el banco de materiales “Thomé”, localizado en el kilómetro 11.5 de la carretera Puebla-Azumiatla, desviación a la izquierda; el cual tiene una capacidad de aproximadamente 85,000 m³. De este banco se extrae material que después de un proceso de triturado y cribado puede ser utilizado para base o sub-base, así como grava, tepetate y cacahuatillo.

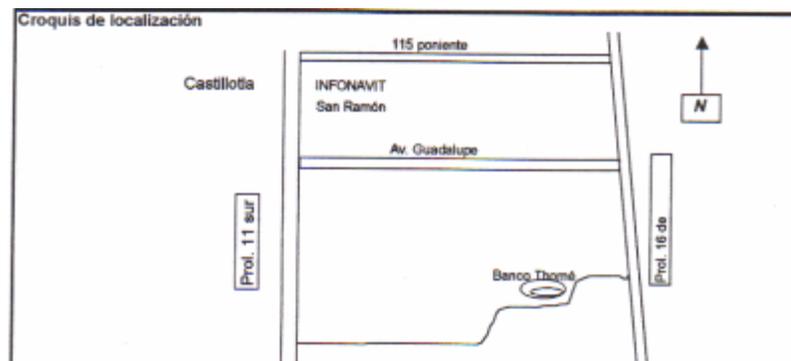


Figura 14. Croquis de ubicación del banco Thomé
Fuente: Elaboración propia

3.2.- Compactación de los suelos

La compactación es el mejoramiento artificial de las propiedades mecánicas de un suelo, por medios mecánicos, de los materiales térreos que constituyen la sección estructural de las carreteras, ferrocarriles o aeropistas. Su mayor importancia estriba en el aumento de resistencia y la disminución de deformaciones del suelo.

Se distingue de la consolidación de los suelos en que, en este último proceso el peso específico crece gradualmente bajo acción natural de sobrecargas impuestas que provocan expulsión del agua por un proceso de difusión, ambos procesos involucran disminución de volumen, por lo que en el fondo son equivalentes.

La importancia de la compactación de los suelos estriba en el aumento de la resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtienen al sujetar al suelo a técnicas convenientes que aumenten su peso específico, disminuyendo sus vacíos.

Por lo general las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales, tales como cortinas de presas de tierra, diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, bordos de defensa, muelles, pavimentos etc.

Los métodos usados en la compactación de suelos varían, por ejemplo en una arena el método que se puede utilizar es el vibratorio, en los plásticos el método de carga estática resulta ser mejor. La compactación se hace principalmente con tres tipos de rodillos, los rodillos más comunes son:

- Rodillos de sheepsfoot: usados principalmente para suelos arcillosos y cienosos.
- Rodillos liso-tambor: usados principalmente para suelos granulares.
- Rodillos vibratorios: usados principalmente para suelos granulares.

Las pruebas más utilizadas para la compactación del suelo son:

- Prueba del cono de arena
- Prueba del tubo perforador
- Prueba nuclear

Los tres métodos arrojan resultados con suficiente exactitud para determinar el grado de compactación; sin embargo, el método del cono de arena ha demostrado ser el más exacto y es generalmente la prueba requerida por las autoridades municipales. El método del tubo perforador y el método nuclear son las pruebas más eficientes y son utilizadas por varias agencias de pruebas.

Así mismo existen tres métodos para el mejoramiento de los suelos:

- Método físico:
 - Confinamiento (suelos friccionantes)
 - Consolidación previa (suelos finos y arcillosos)
 - Mezclas (suelo con suelo)
 - Vibroflotación
- Métodos químicos:
 - Con sal
 - Con cemento
 - Con asfalto
 - Con cal
 - Con otras sustancias
- Métodos mecánicos:
 - Compactación

La eficiencia de cualquier tipo de compactación depende principalmente del contenido de agua del suelo antes de la compactación y la energía específica que se le aplique al proceso. Para poder analizar la influencia particular de los factores involucrados en la eficiencia de una técnica o equipo de compactación es necesario disponer de procedimientos estandarizados que reproduzcan a nivel laboratorio la compactación que se puede lograr en el campo.

3.3.- Descripción de la Prueba Proctor Estándar

Actualmente existen diversos métodos para reproducir, en el laboratorio, condiciones dadas en el campo; el primer método en el sentido de la técnica actual es el debido a R. R. Proctor y es conocido hoy en día como Prueba Proctor Estándar o AASHO (American Association of State Highway Officials).

Esta prueba consiste en compactar el suelo en tres capas dentro de un molde de dimensiones y forma determinadas, a cada capa se le compacta con 25 golpes por medio de un pisón, que se deja caer libremente desde una altura específica.

Con este procedimiento de compactación R. R. Proctor estudio la influencia que ejercía en el proceso el contenido inicial de agua en el suelo, encontrando que tal valor era de vital importancia en la compactación lograda.

Observó que a contenidos de humedad crecientes, a partir de valores bajos, se obtenían más altos pesos específicos secos y, por lo tanto, mejores compactaciones del suelo. Sin embargo, ésta tendencia no se mantenía indefinida, sino que al pasar la humedad de un

cierto valor, los pesos específicos secos obtenidos disminuían, resultando peores compactaciones.

Proctor puso de manifiesto que para un suelo dado y usando el procedimiento descrito, existe una humedad inicial llamada óptima, que produce el máximo peso específico seco que puede lograrse con este procedimiento de compactación.

El objetivo de esta prueba es determinar el peso volumétrico seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) y la humedad óptima (W_{opt}) del suelo en estudio.

Primero se pesan las cápsulas y el molde de compactación, anotando estos datos como una constante, para ser utilizados posteriormente. Se prepara una muestra de tres kilogramos de suelo secado al sol, y se le incorpora cinco por ciento de agua; inmediatamente después se uniformiza la humedad con una espátula y se vacía el suelo húmedo en la primera cápsula hasta completar tres cuartas partes de su capacidad, la cual se pesa y se registra como peso de cápsula más suelo húmedo.

Con el material restante llenamos el molde, compactándolo en tres capas aproximadamente iguales, dándole veinticinco golpes con el pisón a cada una de estas.

Una vez compactado el suelo se enrasa el molde y se pesa registrándolo como peso del molde más suelo húmedo. Después se saca el material del molde y se reintegra al resto del material que se encuentra en la charola, se disgrega hasta dejarlo como estaba inicialmente.

Posteriormente se le hace un incremento de agua recomendado que es de un tres por ciento con respecto al peso inicial de la muestra; de igual manera se distribuye la humedad en forma homogénea y se repite la compactación como se describió anteriormente.

Todo este proceso se realiza otras dos veces pero en esta ocasión se le adiciona un tres y uno por ciento respectivamente.

Al terminar se tiene un total de cuatro cápsulas y estas se introducen al horno por un período de veinticuatro horas para registrarlas como peso de cápsula más suelo seco.

Inmediatamente se hacen los cálculos necesarios de la siguiente forma:

1.- Peso del suelo húmedo (W_m) = (Peso del molde + suelo húmedo) – (Peso del molde).

2.- Peso volumétrico húmedo en $\text{kg/m}^3 = \gamma_m = W_m/V$; donde V = Volumen del molde en m^3

3.- Peso del agua (W_w) = (Peso de cápsula + suelo húmedo) – (Peso de cápsula + suelo seco)

4.- Peso del suelo seco (W_s) = (Peso de cápsula + suelo seco) – (Peso de cápsula)

5.- Contenido de agua (ω) = $W_w/W_s \times 100$

6.- Pesos volumétricos secos (γ_d) = $\gamma_m / 1 + \omega/100$

Por último se grafica en el eje de las abscisas los contenidos de agua (W) y en el eje de las ordenadas los pesos volumétricos secos (γ_d). En el punto más alto de la parábola con la horizontal se obtiene el peso volumétrico seco máximo ($\gamma_{d\text{máx}}$) y con la vertical se obtiene la humedad óptima (W_{opt}).

El equipo y material utilizado se ilustra a continuación:



Figura 15. Pisón



Figura 16. Probeta



Figura 17. Charola



Figura 18. Cápsulas



Figura 19. Horno



Figura 20. Molde de compactación



Figura 21. Báscula chica



Figura 22. Báscula grande

3.4.- Resultados de la prueba Proctor Estándar

Los resultados obtenidos del material analizado del banco de materiales Thomé se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9. Resultados de la prueba Proctor estándar al material del banco “Thomé”.

Análisis	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Peso del suelo húmedo(W_m)	1750	1929	1955	1980
Peso vol. húmedo(γ_m)	1302.15	1432.3	1441.92	1474.84
Peso del agua(W_w)	17.6	28.7	29.4	36.5
Peso del suelo seco(W_s)	78.7	122.5	128.1	172.71
Contenido de agua(W)	21.5	25.8	26.3	31.2
Peso volumétrico seco(γ_d)	1066.1	1169.78	1192.12	1174.72

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos estos resultados se realiza la siguiente gráfica:

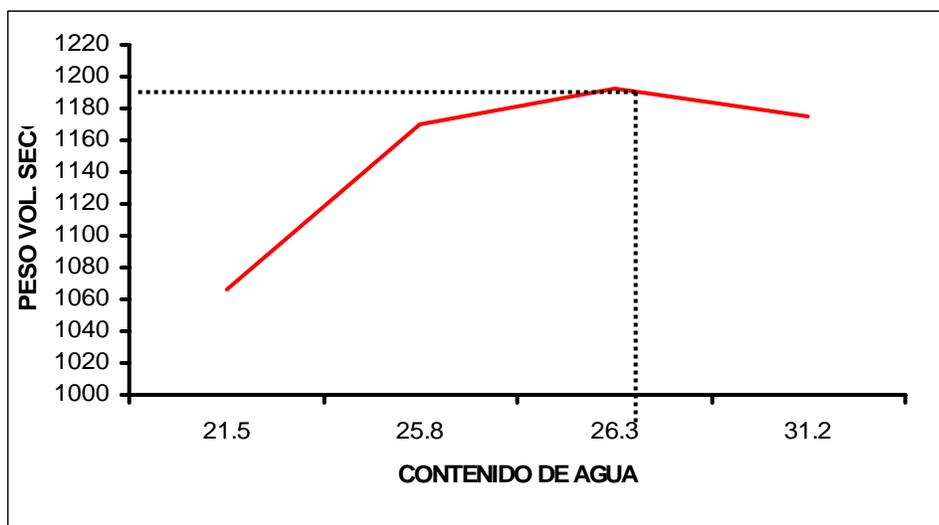


Figura 23. Gráfica de resultados de prueba Proctor estándar del material del banco “Thome”

De la gráfica anterior obtenemos que el peso volumétrico seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) es de 1192.12 kg/m³ y la humedad óptima es de 26.3%. Los resultados obtenidos del material analizado del banco de materiales “Los Monteros” se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10. Resultados de la prueba Proctor estándar al material del banco “Los Monteros”.

Análisis	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Peso del suelo húmedo(W_m)	1600	1800	1900	1950
Peso vol. húmedo(γ_m)	1198.34	1343.13	1423.03	1460.48
Peso del agua(W_w)	15.8	18.7	26.8	46.2
Peso del suelo seco(W_s)	93.2	81.3	113.2	169.8
Contenido de agua(W)	16.95	23	23.67	27.2
Peso volumétrico seco(γ_d)	1024.63	1096.04	1448.17	1150.97

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos los resultados se realiza la siguiente gráfica:

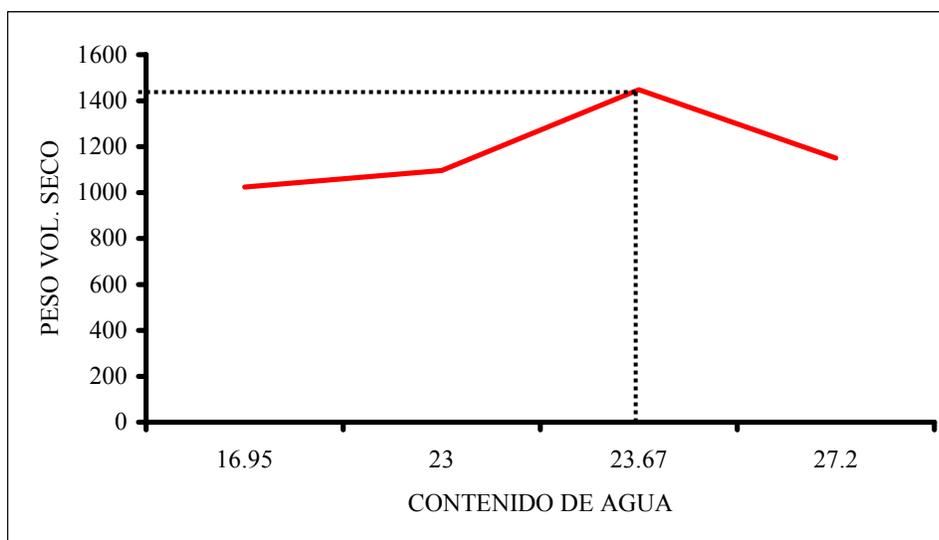


Figura 24. Gráfica de resultados de prueba Proctor estándar del material del banco “Los Monteros”

De la gráfica obtenemos que el peso volumétrico seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) es 1448.17 kg/m³ y la humedad óptima es 23.67%.

En éste caso se estipuló que el porcentaje de humedad obtenido es el óptimo, ya que se realizó la prueba únicamente para una muestra; por lo que no existe una variación en los resultados que nos permita proponer algún otro porcentaje de humedad para ambos bancos.