



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



**ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y DISEÑO DE
PAVIMENTO REALIZADO EN CALLE CRISTOBAL COLÓN,
EN EL TRAMO UBICADO ENTRE CALLE C. B. JUÁREZ
GARCÍA Y CALLE HIDALGO, CIUDAD FERNÁNDEZ, SAN
LUIS POTOSÍ.**

JUNIO DE 2025





TABLA DE CONTENIDOS

I	INTRODUCCIÓN.....	6
II	ANTECEDENTES.....	8
III	GEOLOGÍA REGIONAL.....	9
IV	GEOLOGÍA LOCAL.....	12
V	REGIONALIZACIÓN SÍSMICA.....	13
VI	TRABAJOS DE CAMPO.....	15
VI.I	SONDEO MEDIANTE POZO A CIELO ABIERTO (PCA).....	15
VI.II	TUBO DE PARED DELGADA.....	16
VII	TRABAJOS DE LABORATORIO.....	17
VII.I	CONTENIDO NATURAL DE AGUA (ASTM D2216).....	17
VII.II	GRANULOMETRÍA POR MALLAS (ASTM D422-63).....	17
VII.III	PORCENTAJE DE FINOS POR LAVADO (ASTM C117-95).....	18
VII.IV	LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318-05).....	19
VII.V	DENSIDAD DE SÓLIDOS (ASTM D854).....	19
VII.VI	VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA CBR (ASTM D1883-21).....	20
VIII	ESTRATIGRAFÍA Y PROPIEDADES.....	20
VIII.I	PERFÍL ESTRATIGRÁFICO.....	20
IX	ANÁLISIS GEOTECNICO.....	27
X	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (METODO AASHTO 93).....	29
X.I	NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES (ESAL).....	31
X.II	MODULOS RESILIENTES.....	39
X.III	MODULO DINÁMICO DE LA CAPA ASFALTICA.....	41
X.IV	COEFICIENTES ESTRUCTURALES.....	42
X.V	DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DRENAJE.....	44
X.VI	CALCULO DEL ESPESOR DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO.....	45
XI	CONCLUSIONES.....	
XII	RECOMENDACIONES.....	
XIII	BIBLIOGRAFÍA.....	
XIV	ANEXO ENSAYES DE LABORATORIO.....	





INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO	6
FIGURA 2: POBLACIÓN EN TIEMPOS DEL GENERAL ZENÓN FERNÁNDEZ (IMAGEN DE REFERENCIA) (Celia, 2012)	8
FIGURA 3: PROVINCIAS FISIAGRÁFICAS DE MÉXICO, TOMADO DE (INEGI, 2002).....	9
FIGURA 4: PROVINCIAS FISIAGRÁFICAS DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ, TOMADO DE (INEGI, s.f.).....	11
FIGURA 5: GEOLOGÍA DEL MUNICIPIO DE CIUDAD FERNÁNDEZ, TOMADO DE (INEGI, 2010).....	12
FIGURA 6: ZONIFICACIÓN SISMICA DE MÉXICO, TOMADO DE PRODISIS V 4.1	13
FIGURA 7: UBICACIÓN DE LOS SONDEOS EXPLORATORIOS	15
FIGURA 8: PERFIL ESTRATIGRAFICO PCA-1	21
FIGURA 9: PERFIL ESTRATIGRAFICO PCA-2	22
FIGURA 10: PERFIL ESTRATIGRAFICO PCA-3	23
FIGURA 11: PERFIL ESTRATIGRAFICO PCA-3	24
FIGURA 12: PERFIL DE SUELO PROBABLE (NO ESCALADO)	26
FIGURA 13: TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN UN PAVIMENTO RIGIDO.....	27
FIGURA 14: TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN UN PAVIMENTO FLEXIBLE.....	28
FIGURA 15: CLASIFICACIÓN VEHICULAR DEL INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE (IMT), TOMADO DE IMT-PAVE 3.0	32
FIGURA 16: RELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL PARA BASE GRANULAR Y DISTINTOS PARÁMETROS RESISTENTES, TOMADO DE (Officials), 1993).....	42
FIGURA 17: RELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL PARA SUBBASE GRANULAR Y DISTINTOS PARÁMETROS RESISTENTES, TOMADO DE (Officials), 1993)	43
FIGURA 18: COEFICIENTES ESTRUCTURALES PARA CAPAS ASFÁLTICAS RELACIONADAS CON VARIOS ENSAYOS, TOMADO DE (Officials), 1993).....	43
FIGURA 19: REPRESENTACIÓN ESQUEMATICA PARA CALCULAR EL ESPESOR DE LA CAPA ASFALTICA.....	45
FIGURA 20: REPRESENTACIÓN ESQUEMATICA PARA CALCULAR EL ESPESOR DE LA CAPA BASE	46
FIGURA 21: REPRESENTACIÓN ESQUEMATICA PARA CALCULAR EL ESPESOR DE LA CAPA SUBBASE.....	47





FIGURA 22: SECCIÓN DE PAVIMENTO PROPUESTA..... 48

INDICE DE IMAGENES

IMAGEN 1: VISTA DE LA CALLE CRISTÓBAL COLÓN..... 7
 IMAGEN 2: SONDEOS MEDIANTE PCA..... 16
 IMAGEN 3: TUBOS DE PARED DELGADA..... 16
 IMAGEN 4: ENSAYO DE CONTENIDO NATURAL DE AGUA..... 17
 IMAGEN 5: ENSAYO DE GRANULOMETRÍA..... 18
 IMAGEN 6: PORCENTAJE DE FINOS POR LAVADO..... 18
 IMAGEN 7: ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA..... 19
 IMAGEN 8: ENSAYO DE DENSIDAD DE SÓLIDOS..... 19
 IMAGEN 9: PROCESO DE SATURACIÓN Y ENSAYO CBR..... 20
 IMAGEN 10: AFORO VEHICULAR MANUAL..... 31
 IMAGEN 11: GUÍA DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO AASHTO 93 33
 IMAGEN 12: EJEMPLO DE TERRACERIA CON UNA CALIDAD DE DRENAJE
 POBRE..... 44

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: PESOS VOLUMETRICOS EN ESTADO NATURAL Y SECO..... 25
 TABLA 2: RESULTADOS DE ENSAYO DE DENSIDAD DE SOLIDOS ASTM D854..... 25
 TABLA 3: VALORES DE Z_R EN LA CURVA NORMAL PARA DIVERSOS GRADOS
 DE CONFIABILIDAD, REPRODUCIDO DE (Officials), 1993)..... 30
 TABLA 4: VALORES RECOMENDADOS PARA LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S_o),
 REPRODUCIDO DE (Officials), 1993)..... 30
 TABLA 5: RESULTADOS DEL AFORO MANUAL..... 32
 TABLA 6: PORCENTAJES DE TRANSITO POR TIPO DE VEHICULO..... 33
 TABLA 7: FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA PARA PAVIMENTOS
 FLEXIBLES, EJES SIMPLES, $P_t=2.0$, REPRODUCIDO DE (Officials), 1993)..... 34
 TABLA 8: FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA PARA PAVIMENTOS
 FLEXIBLES, EJES TÁNDEM, $P_t=2.0$, REPRODUCIDO DE (Officials), 1993)..... 35
 TABLA 9: FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA PARA PAVIMENTOS
 FLEXIBLES, EJES TRIDEM, $P_t=2.0$, REPRODUCIDO DE (Officials), 1993)..... 36
 TABLA 10: CALCULO DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES $ESAL_0$ 37
 TABLA 11: REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PARA CAPA
 SUBRASANTE, REPRODUCIDO DE (Normativa para la Infraestructura del Transporte,
 2021)..... 40





TABLA 12: REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PARA SUBBASES DE PAVIMENTOS ASFALTICOS, REPRODUCIDO DE (Normativa para la Infraestructura del Transporte, 2021).....	40
TABLA 13: REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PARA BASES DE PAVIMENTOS ASFALTICOS, REPRODUCIDO DE (Normativa para la Infraestructura del Transporte, 2022).....	40
TABLA 14: REQUISITOS DE CALIDAD PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA Densa, DISEÑADAS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL, REPRODUCIDO DE (Normativa para la Infraestructura del Transporte, 2016)	41
TABLA 15: VALORES DE COEFICIENTE DE DRENAJE, REPRODUCIDO DE (Oficials), 1993)	44
TABLA 16: ESPESORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO.....	48





I INTRODUCCIÓN

La calle Cristóbal Colón es una vía de comunicación que beneficia a productores, turistas y a la economía local, que además conecta la zona centro de Ciudad Fernández con el Ejido Los Llanitos, por lo que para este último representa un acceso hacia el centro de la ciudad, de este modo la calle Colón se consolida como una de las arterias clave del municipio de Ciudad Fernández, siendo de especial interés la infraestructura vial necesaria para maximizar su aprovechamiento.



FIGURA 1: LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

Por este motivo la Coordinación de Desarrollo Social del Municipio de Cd. Fernández, solicitó al Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Facultad de Estudios Profesionales Zona Media (FEPZM) el estudio de mecánica de suelos y diseño de pavimento requeridos para la realización del proyecto de pavimentación de la calle Cristóbal Colón en su tramo de calle C. B. Juárez García a calle Hidalgo (aprox. 770 m).





IMAGEN 1: VISTA DE LA CALLE CRISTÓBAL COLÓN





II ANTECEDENTES

El municipio de Ciudad Fernández fue fundado como un asentamiento franciscano conocido en aquel entonces como "Puesto de Santa Catarina", en el que se hallaban congregados aproximadamente seiscientos indios entre Coyotes, Mascorros, Caisanes, Alaquines y Guascamas.

Más tarde se solicitó la expulsión de los españoles que vivían en los pueblos indios, dando lugar a un declive en su seguridad causado por los constantes asedios de pueblos rivales; es así como en 1624 los españoles solicitaron la formación de una villa a media legua de Río Verde, llamada Dulce Nombre de Jesús y más tarde en 1731 se le cambió el nombre por el de Villa de Santa Elena y posteriormente en 1828 por el de Ciudad Fernández, en honor al general Zenón Fernández, nativo del lugar.

La calle Cristóbal Colón es una continuación de la carretera estatal libre Ciudad Fernández – Cerritos y por muchos años ha sido una ruta importante que conectó la ciudad con otros municipios.



FIGURA 2: POBLACIÓN EN TIEMPOS DEL GENERAL ZENÓN FERNÁNDEZ (IMAGEN DE REFERENCIA) (Celia, 2012)





III GEOLOGÍA REGIONAL

México está situado en una de las zonas tectónicas más dinámicas del planeta. Es denominado el Anillo de Fuego del Pacífico, una zona de volcanismo activo y acción sísmica frecuente.

Además, está ubicado en el extremo latinoamericano de la formidable placa de América del Norte, cuya interacción con las placas del Pacífico, Cocos y Caribe ha dado paso a profundos y severos terremotos, así como a los mecanismos de reconstrucción de la tierra que originan el accidentado territorio del sur de México.

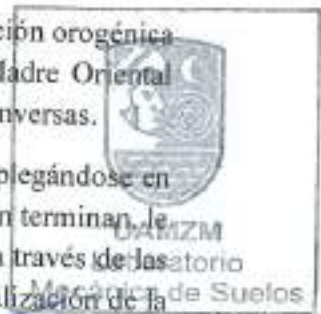


FIGURA 3: PROVINCIAS FISIográficas DE MÉXICO, TOMADO DE (INEGI, 2002)

En el estado de San Luis Potosí, se encuentran partes de las provincias fisiográficas Mesa del Centro, Sierra Madre Oriental y Llanura Costera del Golfo Norte, a continuación, se describe de manera breve su historia geológica.

A finales del periodo Cretácico y principios del Terciario, la máxima deformación orogénica conocida como Revolución Laramide, provocó la formación de la Sierra Madre Oriental constituida por pliegues anticlinales y sinclinales estrechos, además de fallas inversas.

Durante el Cenozoico continúan los levantamientos y el retiro de los mares, plegándose en forma definitiva la Sierra Madre Oriental. Cuando los esfuerzos de compresión terminan, le suceden esfuerzos de tensión, que dieron lugar a fracturas y fallas normales, a través de las cuales actuaron las intrusiones ígneas que causaron el metamorfismo y mineralización de la región.





Después de la Revolución Laramide, comienza un periodo de erosión que pone al descubierto cuerpos intrusivos, seguido por una intensa actividad volcánica de tipo ácido y básico, para finalmente depositarse los sedimentos cuaternarios aluviales y de talud que rellenan las partes bajas.

Los perfiles de los relieves están influenciados por el tipo de roca y su respuesta a los agentes erosivos y a los esfuerzos deformantes. En el flanco este de la Sierra Madre Oriental, donde el paquete sedimentario de rocas calizas principalmente ha sido plegado de manera intensa, la configuración del relieve es bastante diferente a la porción occidental, donde las mismas rocas han sido sólo ligeramente deformadas. Así, a lo largo de todo el frente oriental, el relieve se torna abrupto y escarpado, reflejando la característica de las calizas y la incompetencia de las lutitas frente a los esfuerzos deformativos que dieron lugar a estas estructuras.

En la Mesa del Centro, el relieve estructural original fue creado principalmente por fenómenos de volcanismo terciario, que dieron a esta región características de una altiplanicie petroclástica, sobrepuesta a un basamento antiguo de rocas sedimentarias mesozoicas. La altiplanicie fue modificada por el desarrollo de fallas de gravedad, creando un relieve de montañas en bloque, bordeadas por valles tectónicos parcialmente rellenos, que muestran rasgos de depositación como son los abanicos aluviales alojados al pie de la serranía. Estos abanicos aluviales, al igual que la altiplanicie, presentan superpuestas pequeñas mesetas lávicas. Localmente sobresalen algunas prominencias orográficas del relieve antiguo o que corresponden a aparatos volcánicos más recientes.

Contrastando con las áreas antes descritas, la Llanura Costera del Golfo Norte, al oriente del estado, es una planicie sedimentaria cuyo origen está íntimamente relacionado con la regresión del Atlántico, iniciada desde el Terciario Inferior y causada por el relleno gradual de la cuenca oceánica, donde fueron acumulados grandes volúmenes de materiales rocosos provenientes del continente. El levantamiento continuo de la plataforma costera ha permitido la erosión subsecuente de los depósitos marinos terciarios, que en la actualidad dan al relieve una morfología suavemente ondulada de lomeríos y valles.

A principios del Jurásico Superior, se inició la transgresión marina que cubrió de forma parcial la Plataforma Valles-San Luis Potosí y favoreció el depósito de sedimentos calcáreos y arcillosos que dieron origen a la formación de rocas calizas y calizas-lutitas.

En el Cretácico, comienza a definirse los elementos paleogeográficos que se presentaron durante el resto del Mesozoico.

En el inicio del Cretácico Inferior (Neocomiano-Aptiano) ocurrieron depósitos de mar abierto en la Cuenca Mesozoica de México y en el antiguo Golfo de México, con sedimentos calcáreos y arcillosos; mientras que en la Plataforma Valles-San Luis Potosí se depositaba





una secuencia principalmente de evaporitas. En el Aptiano Superior se llevó a cabo un levantamiento que provocó el acarreo de suelos y favoreció el depósito de sedimentos calcáreos.

Hacia mediados del Cretácico (Albiano) se generalizó una transgresión marina que originó una franja arrecifal en el perímetro de la Plataforma Valles-San Luis Potosí y se depositó el conjunto post y prearrecifal denominado El Abra. Durante el Cretácico Superior, los mares se retiran paulatinamente hacia el oriente en una franca regresión, lo que provocó un cambio en el régimen de sedimentación, y se desarrollaron en el área de la Cuenca Mesozoica de México, los depósitos que originaron la formación de rocas calizas, lutitas y areniscas.

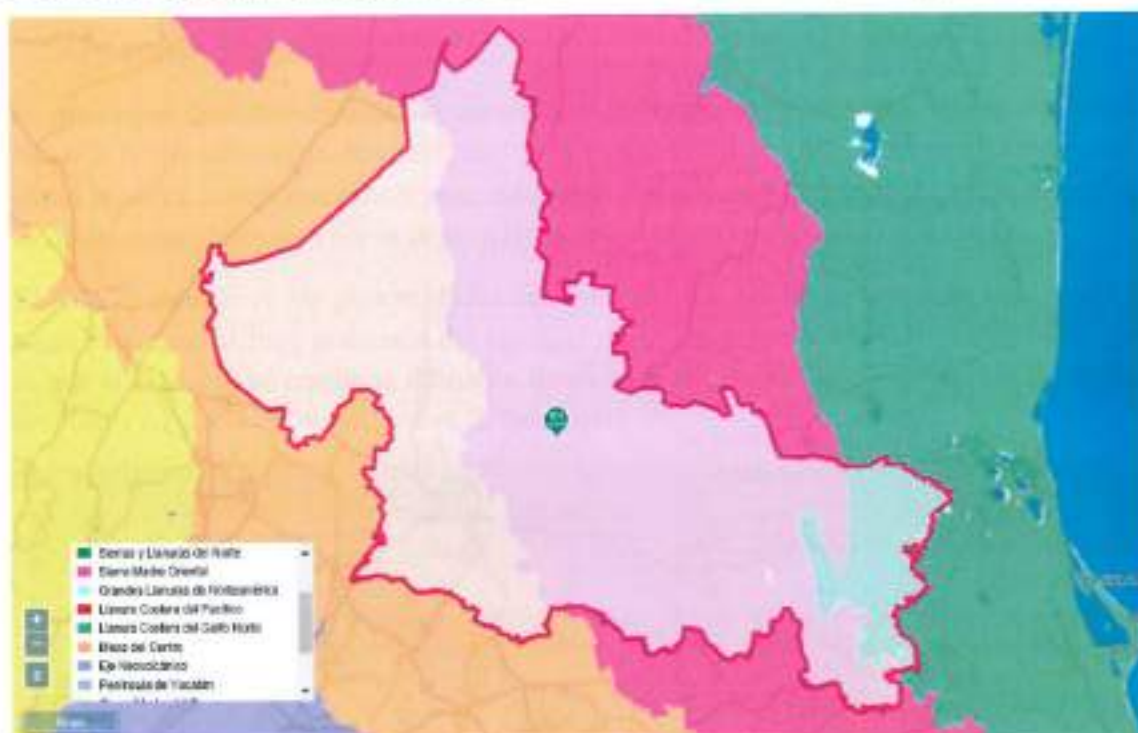


FIGURA 4: PROVINCIAS FISIAGRÁFICAS DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ, TOMADO DE (INEGI, s.f.)





IV GEOLOGÍA LOCAL

El sitio de estudio se ubica en la provincia de la Sierra Madre Oriental y en la región de la Plataforma Valles-San Luis, la zona se formó a lo largo del Cuaternario, Neógeno y Cretácico, dando lugar a los siguientes sistemas de topoformas:

- Sierras plegadas con llanuras
- Llanuras desérticas
- Sierras altas escarpadas
- Llanuras desérticas de piso rocoso o cementado
- Llanuras desérticas de piso rocoso o cementado y salino
- Llanuras aluviales

El municipio de Cd. Fernández se caracteriza por la presencia de rocas ígneas extrusivas como la riolita-toba ácida, basaltos, dacitas, toba ácida y riolita, rocas del tipo sedimentario como la caliza, conglomerados y yeso, mientras que los suelos son principalmente aluviales, es decir, suelos formados por la deposición de materiales transportados por el agua.

El sitio de estudio en las proximidades del cruce del Río Verde, en una zona cuyos suelos están expuestos al flujo constante del agua del río y que antaño fueron de uso agrícola, por lo que el subsuelo se compone de suelos limpios por efecto del agua y presencia de suelos arcillosos en dirección al centro de Cd. Fernández.

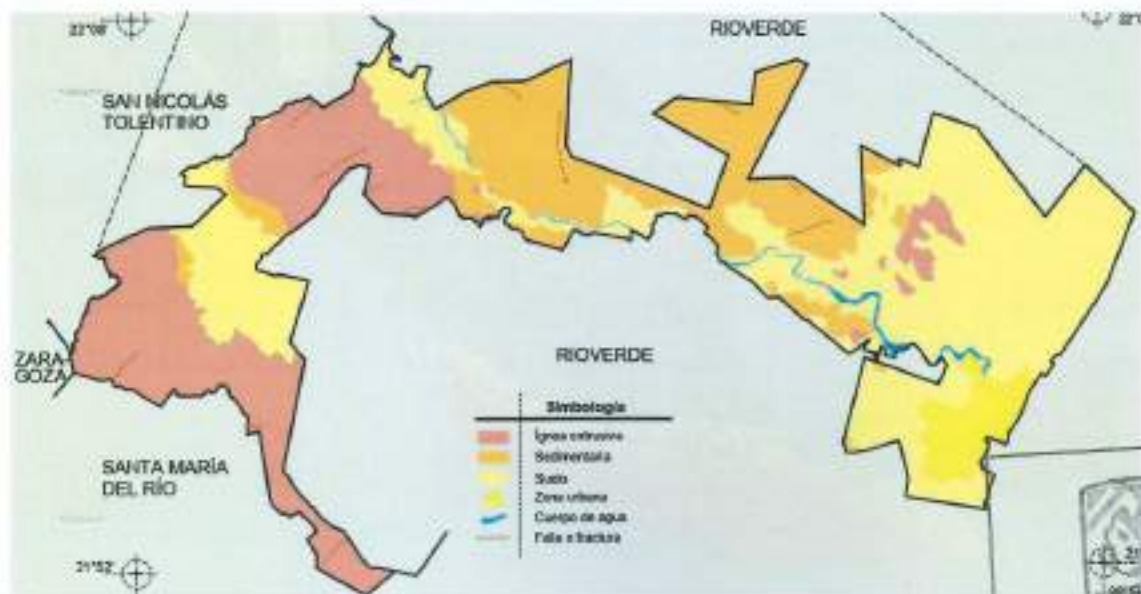


FIGURA 5: GEOLOGÍA DEL MUNICIPIO DE CIUDAD FERNÁNDEZ, TOMADO DE (INEGI, 2010)





V REGIONALIZACIÓN SÍSMICA

Las coordenadas geográficas aproximadas de los extremos del camino en donde se realizó el estudio de Mecánica de Suelos son:

Coordenadas Aproximadas Cristóbal Colón esquina con Hidalgo

Latitud: 21.953253° $21^{\circ}57'11.71''$ N

Longitud: -100.010262° $100^{\circ}0'36.95''$ W

Coordenadas Aproximadas Cristóbal Colón esquina con C. B. Juárez García

Latitud: 21.946299° $21^{\circ}56'46.48''$ N

Longitud: -100.015250° $100^{\circ}0'54.9''$ W



FIGURA 6: ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE MÉXICO, TOMADO DE PRODISIS V 4.1

UAMZM
Laboratorio
Mecánica de Suelos



Su importancia estructural para fines de uso del software es "B", de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México y se encuentra en la zona A del mapa de zonificación sísmica, la cual se considera de escasa actividad sísmica y de baja magnitud.

El software PRODISIS se encarga de obtener espectros de diseño, coeficientes sísmicos, periodo dominante de vibración más largo del terreno en el sitio de interés, celeridad y periodos característicos que delimitan la meseta del espectro de diseño.

Obtenemos los siguientes datos:

ESPECTRO DE ROCA

a_0^r cm/s ²	c cm/s ²
47.64	117.53

ESPECTRO DE SITIO

a_0^s cm/s ²	c cm/s ²	T_a s	T_b s	T_c s	k	r
47.64	117.53	0.1	0.6	2.0	1.5	0.5





VI TRABAJOS DE CAMPO

Con base en la información recabada durante la visita preliminar, así como la obtenida de cartas topográficas y geográficas del INEGI, se programaron cuatro sondeos mediante pozo a cielo abierto (PCA) y muestreos con tubo de pared delgada, buscando que la ubicación de los sondeos brinde muestras lo más representativas posible de la zona de estudio.

La ubicación de los sondeos se muestra a continuación:



FIGURA 7: UBICACIÓN DE LOS SONDEOS EXPLORATORIOS

VII SONDEO MEDIANTE POZO A CIELO ABIERTO (PCA)

El pozo a cielo abierto es un método de muestreo alterado e inalterado que consiste en la excavación manual o con maquinaria de un pozo de dimensiones suficientes para que el técnico pueda acceder y realizar la toma de muestras.

Algunas de sus ventajas son:

- Apreciación directa de las fronteras entre los diferentes estratos presentes
- Mayor recuperación de material
- Posibilidad de obtener muestras cúbicas inalteradas
- Posibilidad de ejecutar ensayos de resistencia directamente en campo





En cuanto a sus desventajas tenemos:

- Limitación de profundidad por alcance de la maquinaria o por la presencia del nivel de aguas freáticas NAF
- Representa un costo más elevado que otros tipos de sondeos como percusión, rotatorios o mixtos
- No es adecuado para aquellos suelos con poca o nula adherencia entre sus partículas (arenas, por ejemplo)



IMAGEN 2: SONDEOS MEDIANTE PCA

VI.II TUBO DE PARED DELGADA

Se trata de un procedimiento similar al método estandarizado de la ASTM D1587, pero a diferencia de este, se realiza por percusión y no está restringido a realizarse de manera vertical ya que su propósito es determinar únicamente el peso volumétrico, el cual no se ve afectado por la orientación de la muestra de suelo obtenida.

La perturbación causada por el procedimiento de percusión es lo suficientemente pequeña para aceptar las muestras para aquellos ensayos y/o procedimientos que requieran ejemplares inalterados y que no se ven afectados por la posición en que se obtuvieron.



IMAGEN 3: TUBOS DE PARED DELGADA

UAMZM
Laboratorio
Mecánica de Suelos



VII TRABAJOS DE LABORATORIO

Con las muestras alteradas recuperadas en los trabajos de campo se realizaron los ensayos de contenido de agua, granulometría, límites de consistencia, densidad de sólidos (peso específico relativo de sólidos o gravedad específica), CBR y mediante remoldeo del material, el ensayo de expansión o colapso unidimensional.

Y con las muestras inalteradas mediante tubo de pared delgada, se llevó a cabo un procedimiento para la determinación del peso volumétrico.

VII.I CONTENIDO NATURAL DE AGUA (ASTM D2216)

El contenido de agua es una de las propiedades más importantes utilizadas para establecer una correlación entre el comportamiento del suelo y sus propiedades índice. Se utiliza para expresar las relaciones de fase aire, agua y sólidos en un volumen determinado de material, así pues, el contenido de agua es la relación entre la masa de agua contenida en los espacios porosos del suelo o material rocoso y la masa sólida de partículas, expresada como porcentaje. Se requiere que el material extraído se seque hasta masa constante en un horno con temperatura controlada a 110 ± 5 °C, durante un tiempo de 24 horas.



IMAGEN 4: ENSAYO DE CONTENIDO NATURAL DE AGUA

VII.II GRANULOMETRÍA POR MALLAS (ASTM D422-63)

Es uno de los ensayos de rutina para la clasificación de suelos, el ensayo trata básicamente de separar una muestra de agregado seco de masa conocida, a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente menores, con el objeto de determinar la proporción de tamaños de las partículas.





IMAGEN 5: ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

VII.III PORCENTAJE DE FINOS POR LAVADO (ASTM C117-95)

La determinación del porcentaje de finos (limos y arcillas) en suelos es fundamental para clasificar y conocer las características del suelo. El material más fino que el tamiz No. 200 se puede separar de partículas más grandes de manera más eficiente con el tamizado húmedo. El agua simple es adecuada para separar el material más fino que el tamiz No. 200 del material más grueso en la mayoría de los agregados.



IMAGEN 6: PORCENTAJE DE FINOS POR LAVADO





VII.IV

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318-05)

Los límites de Atterberg nos permiten conocer o identificar de forma sencilla algunas de las propiedades de los suelos. El límite líquido es el contenido de agua necesario para que un suelo pase de una consistencia plástica a una consistencia líquida, se determina mediante el equipo de la Copa de Casagrande o el Cono Inglés.

El límite plástico es el menor contenido de agua bajo el cual el suelo permanece con una consistencia plástica, se determina al enrollar una pequeña porción de suelo hasta un diámetro de 3 mm o hasta que se desmorone.



IMAGEN 7: ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

VII.V DENSIDAD DE SÓLIDOS (ASTM D854)

La densidad de sólidos (S_s) se define como la relación entre el peso específico de la materia que constituye las partículas del suelo y el peso específico del agua destilada a 20 °C. Es importante para la determinación de algunos de los parámetros fundamentales del suelo como la relación de vacíos (e), grado de saturación (S_w), porosidad (n), etc.



IMAGEN 8: ENSAYO DE DENSIDAD DE SÓLIDOS





VII.VI VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA CBR (ASTM D1883-21)

El ensayo CBR mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, el CBR propiamente se refiere a un número que representa la relación de soporte del espécimen ensayado a una cierta condición de humedad y densidad (requisito particular de cada proyecto), es por ello que este número no es constante para un mismo suelo, si no dependiente del estado en que se encuentre la muestra durante la prueba.

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de agua y densidad dados con respecto a la carga unitaria requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra patrón estándar de material triturado.



IMAGEN 9: PROCESO DE SATURACIÓN Y ENSAYO CBR

VIII ESTRATIGRAFÍA Y PROPIEDADES

VIII.I PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Con la información obtenida en campo y la generada mediante los ensayos de laboratorio, se determinaron las propiedades básicas para la clasificación de los diferentes estratos, para definir los perfiles estratigráficos correspondientes a los pozos a cielo abierto realizados:





UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA

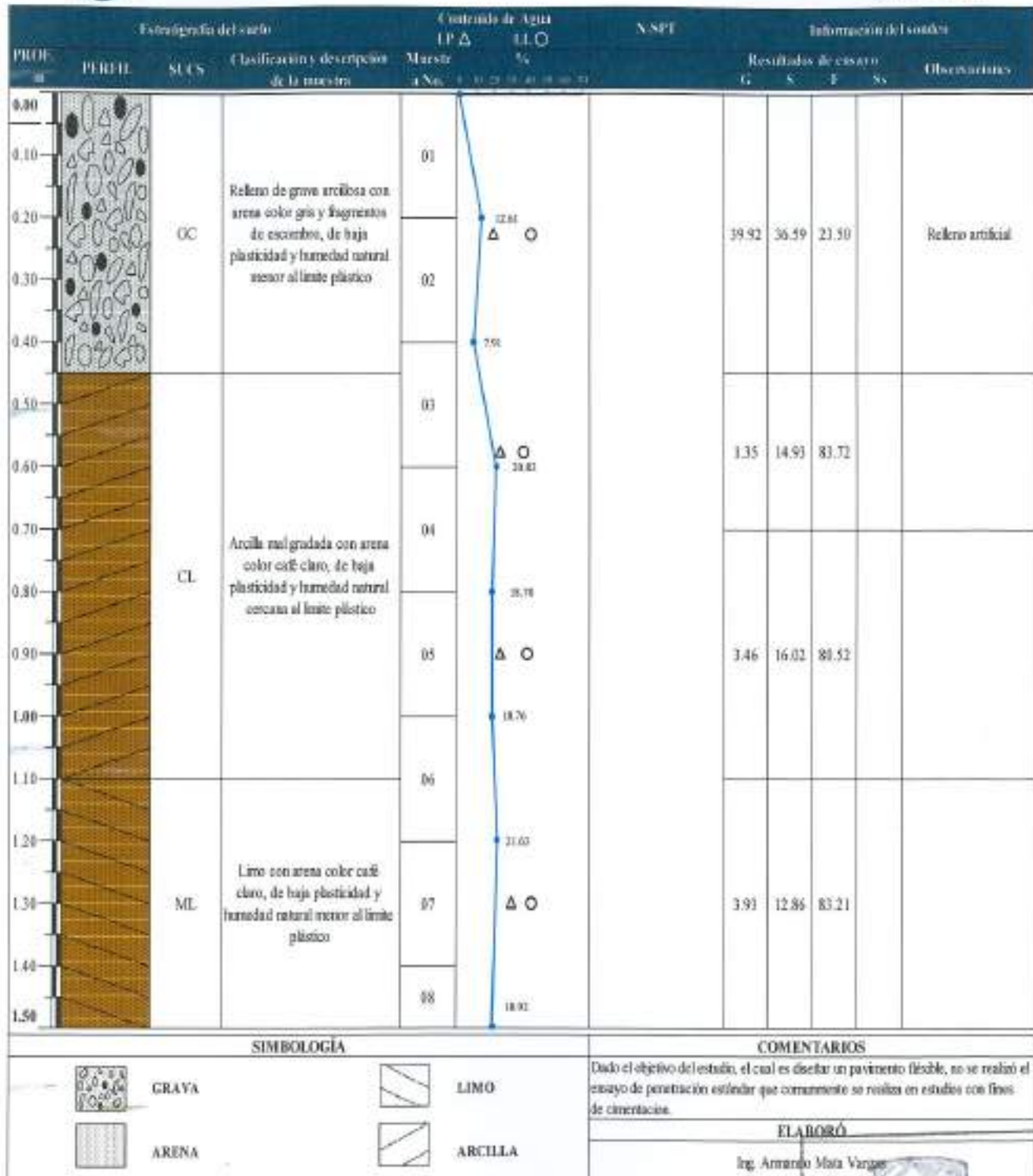


FIGURA 8: PERFIL ESTRATIGRAFICO PCA-1





UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA

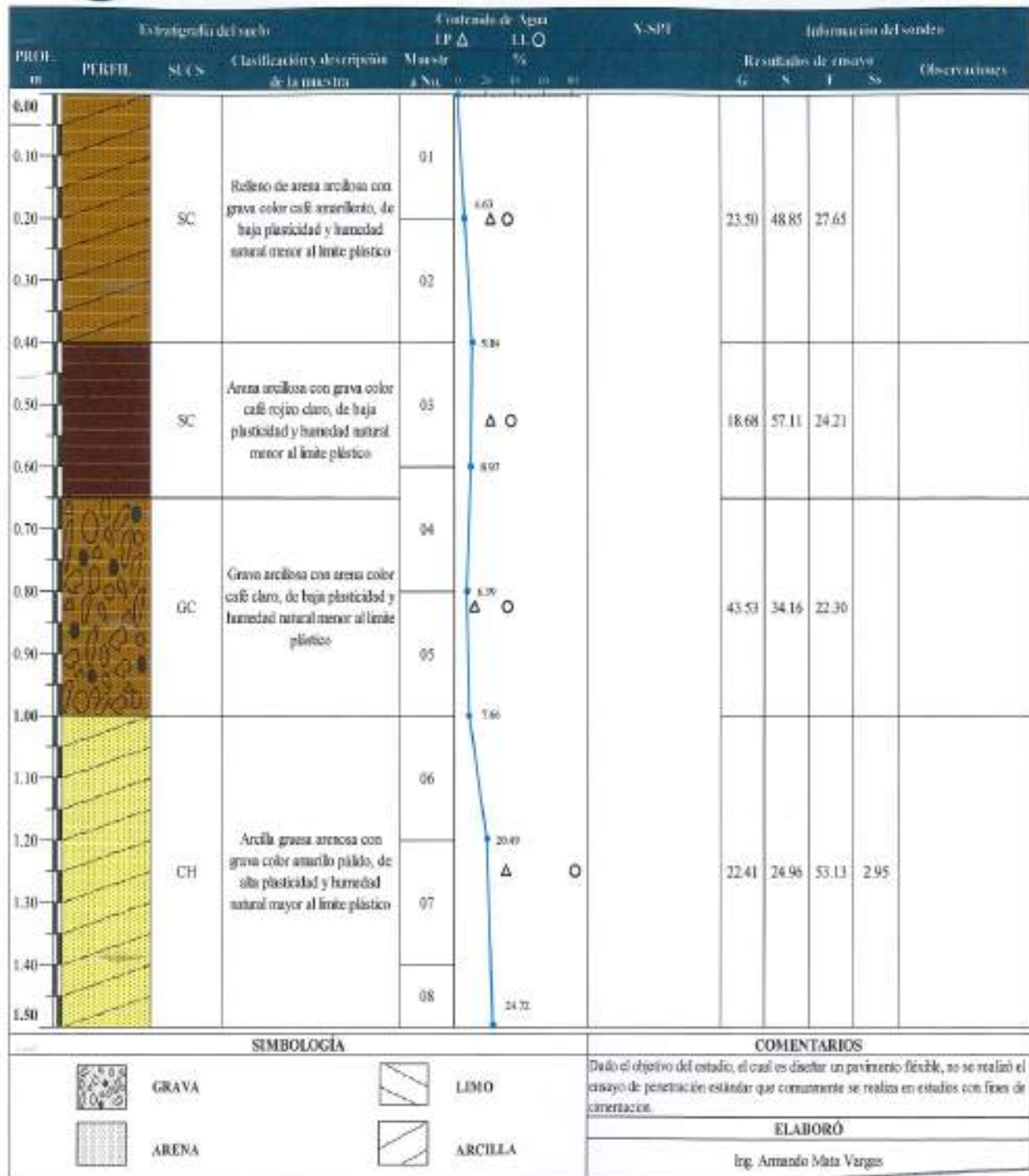


FIGURA 9: PERFIL ESTRATIGRAFICO PCA-2





UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA

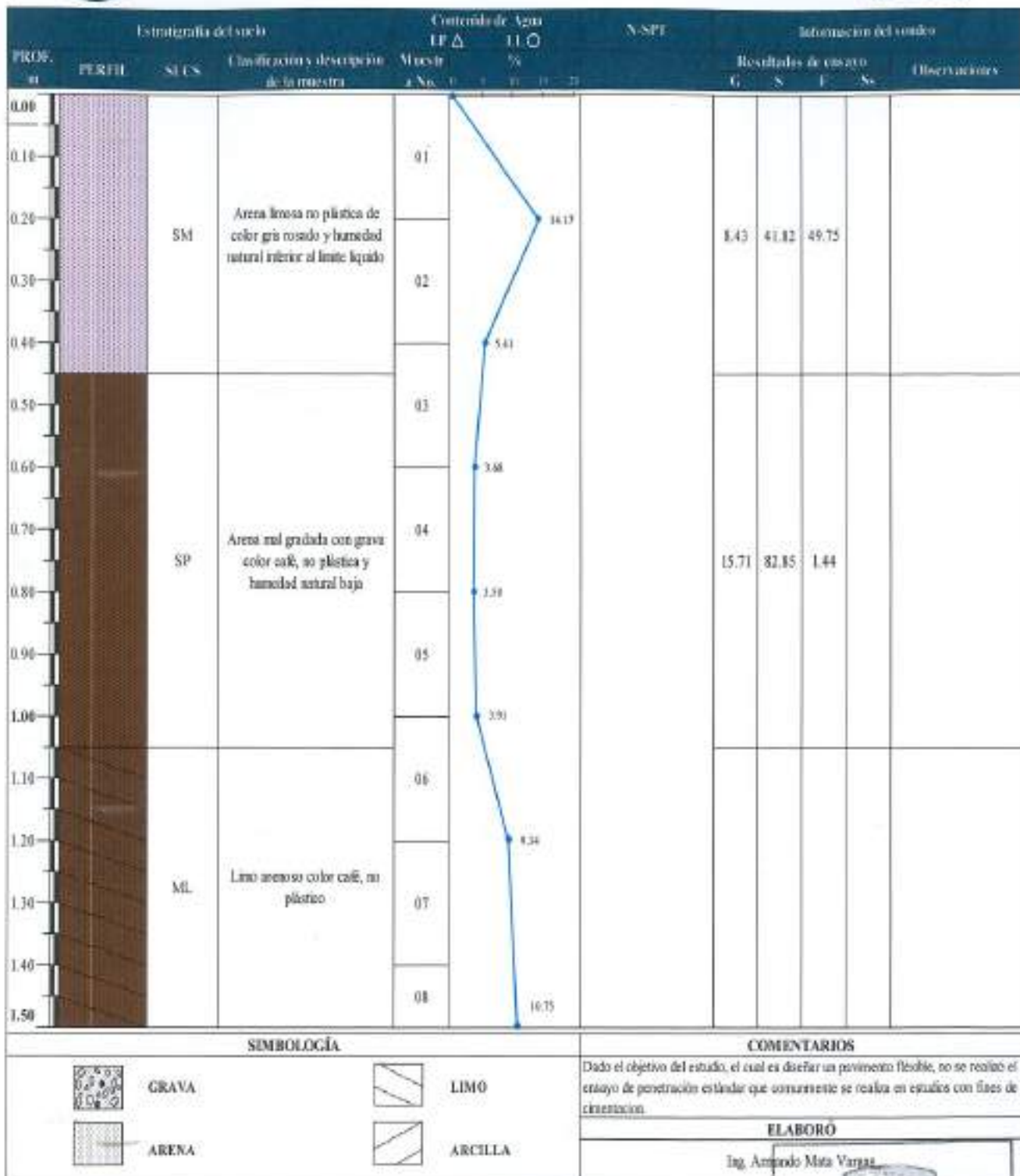


FIGURA 10: PERFIL ESTRÁTIGRAFICO PCA-3





UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA

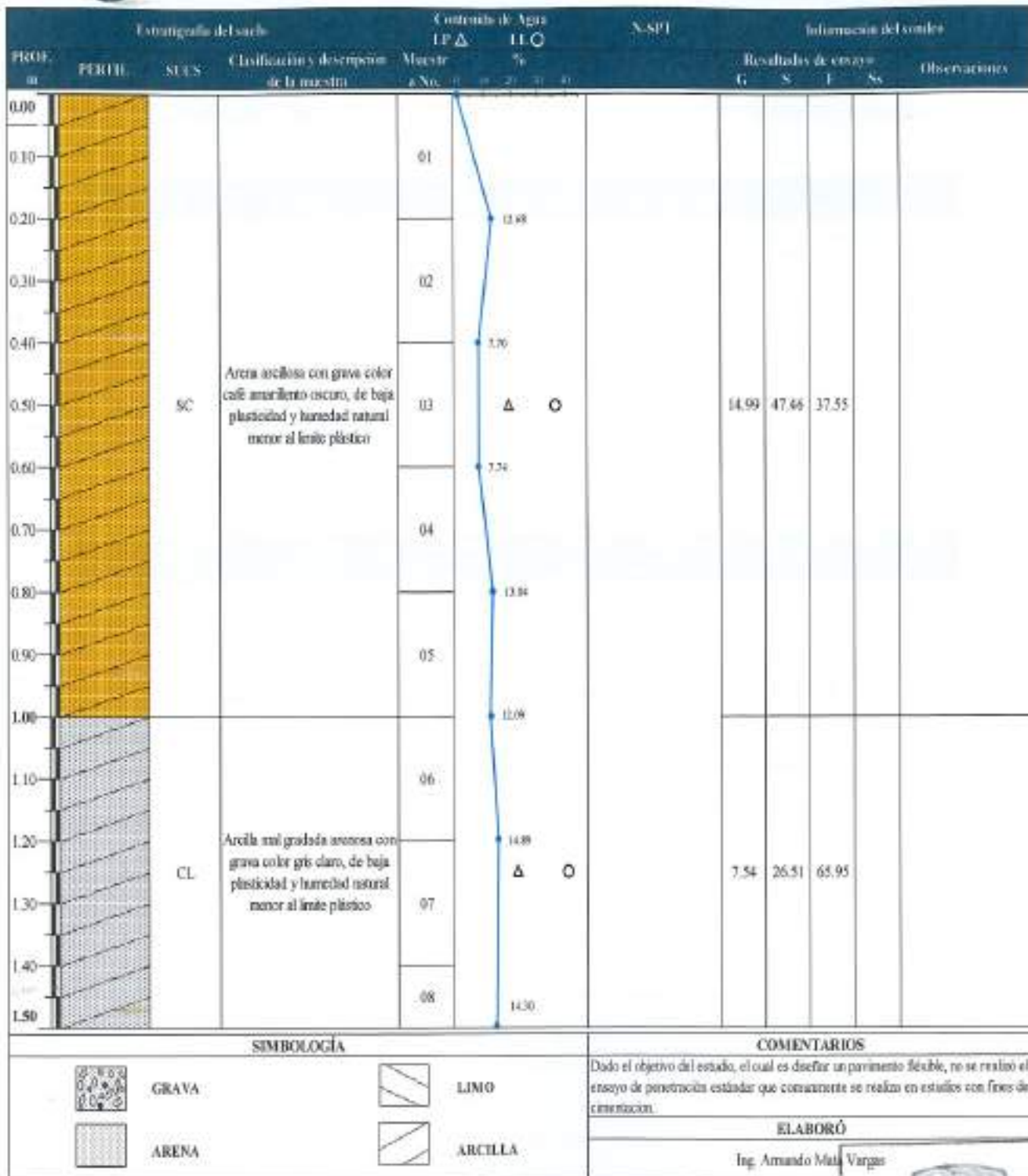


FIGURA 11: PERFIL ESTRATIGRAFICO PCA-3





La tabla 1, muestra las determinaciones de los pesos volumétricos realizadas por medio del hincado de tubos de pared delgada, y la tabla 2, los resultados del ensayo de densidad de sólidos:

Sondeo-Muestra	Prof. m	$W_{humedad}$ g	Diámetro cm	H_{total} cm	H_1 cm	H_2 cm	W_{total} g	V_{total} cm^3	ρ g/cm^3	ρ_s %	V_s cm^3
PCA-1	2	353.48	3.80	22.96	15.75	15.90	209.43	1.78	14.66%	1.50	
	3	401.01	3.80	22.96	11.20	11.18	216.25	1.38	17.77%	1.18	
	4	391.95	3.80	22.92	14.10	14.20	218.38	1.75	21.88%	1.43	
PCA-2	1	313.26	3.80	23.80	16.39	16.54	214.91	1.23	13.56%	1.09	
	4	325.07	3.80	23.00	17.70	17.80	215.17	1.55	37.50%	1.32	
PCA-3	3	324.97	3.80	23.00	16.30	16.00	215.42	1.41	8.63%	1.30	
PCA-4	2	367.29	3.80	23.00	21.00	25.00	214.44	0.97	22.62%	0.79	

TABLA 1: PESOS VOLUMETRICOS EN ESTADO NATURAL Y SECO

SONDEO	PROFUNDIDAD DE:	MATRAZ A:	TEMP. °C	W_{nat} g	W_{sec} g	W_s g	V_s cm^3	W_{nat} g	W_{sec} g	S_s	S_s gramo
PCA-2	1.80	1.40	72	288.36	338.48	50.32	16.98	709.10	673.96	2.952	2.95
			75	283.25	333.39	50.34	16.99	703.61	670.46	2.951	

TABLA 2: RESULTADOS DE ENSAYO DE DENSIDAD DE SOLIDOS ASTM D854

Con la información de los perfiles estratigráficos, los pesos volumétricos y densidad de sólidos se infiere que el área de estudio se compone de los siguientes estratos:

Zona del PCA-2 al PCA-4

- A partir de la superficie y hasta una profundidad promedio de 0.57 m se compone de una capa de arena arcillosa con grava (SC) de color marrón amarillento oscuro.
- De 0.57 m hasta una profundidad promedio de 1.00 m se encuentra una capa de arenas que van del tipo SC, SP y una zona de grava GC hacia la bajada del río, los colores van desde tonalidades amarillentas hasta tonos cafés.
- De 1.00 m hasta 1.50 m de profundidad se extiende una capa de suelos finos entre arcillas arcilla arenosas (CH y CL) y limos arenosos del tipo ML, las tonalidades son variables entre amarillo, café y gris.

Zona del PCA-1

- A partir de la superficie y hasta una profundidad promedio de 0.45 m se compone de una capa de relleno artificial de material del tipo GC grava arcillosa con arena color gris.





- De 0.45 hasta una profundidad promedio de 1.10 m se encuentra una capa de arcilla mal gradada con arena color café (CL).
- De 1.10 hasta 1.50 se encuentra una capa de limo con arena color café (ML).

No se localizó el nivel freático hasta la máxima profundidad de exploración (1.50 m), sus contenidos de agua presentan variaciones ligeras y salvo por los estratos no plásticos, sus humedades son menores a las correspondientes a los límites plásticos.

Se observa como los suelos más finos aparecen en dirección hacia Cd. Fernández, mientras la zona cercana al río se trata esencialmente de arenas con pocos contenidos de finos, principalmente atribuido al lavado que se genera por la corriente del agua.

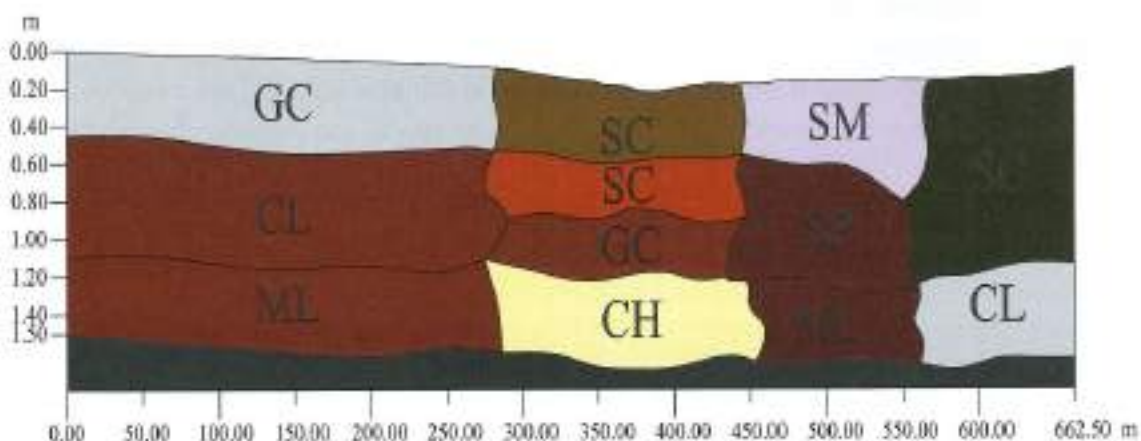


FIGURA 12: PERFIL DE SUELO PROBABLE (NO ESCALADO)





IX ANÁLISIS GEOTECNICO

De manera general existen dos tipos principales de pavimentos, los pavimentos rígidos y los pavimentos flexibles, cada uno con sus propias características y aplicaciones, la principal diferencia entre ambos es su mecanismo de transmisión de esfuerzos al suelo, los pavimentos rígidos constan de una losa de concreto (elemento rígido) como superficie de rodamiento, la cual se encarga de distribuir los esfuerzos a través de su superficie, la losa al ser un elemento con alta resistencia absorbe la mayor parte de los esfuerzos, logrando así menores deformaciones, lo que se traduce en un espesor menor en su capa de base o subbase según sea el caso.

En cambio, los pavimentos flexibles se caracterizan por ser sistemas multicapas, donde la distribución de esfuerzos se da por medio de la serie de capas que conforman el terraplén (base, subbase, etc.), la capa asfáltica al ser un elemento flexible transmite esfuerzos mayores a las capas subyacentes, por lo que en consecuencia estas deberán ser más resistentes y de mayor espesor.

La elección de uno u otro tipo de pavimento dependerá de varios factores, entre los que destacan:

- Tipo de tráfico
- Costo
- Clima
- Requerimientos particulares del proyecto

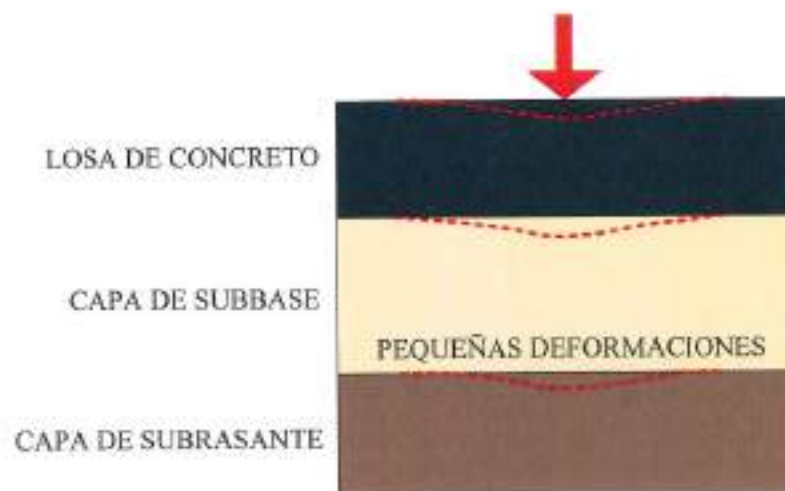


FIGURA 13: TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN UN PAVIMENTO RÍGIDO



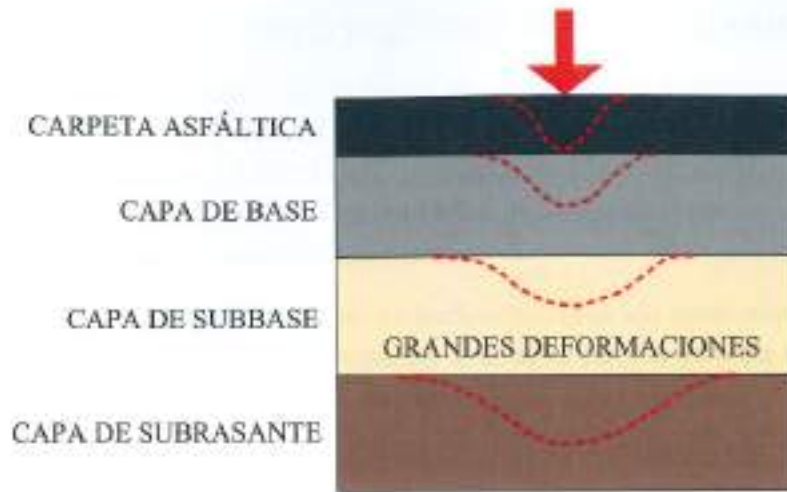


FIGURA 14: TRANSMICIÓN DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN UN PAVIMENTO FLÉXIBLE





X DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (METODO AASHTO 93)

Ya que el proyecto es continuación de un tramo ya construido, se solicitó que el diseño sea del mismo tipo de pavimento usado, en este caso un pavimento del tipo flexible, para ello se empleó el método de diseño AASHTO 93, un método empírico-estadístico basado en una amplia experiencia observacional y en modelos matemáticos que correlacionan los parámetros del pavimento con su comportamiento.

El método consiste en la determinación de un parámetro conocido como número estructural SN, el cual define la resistencia del pavimento a la deformación para un número de ejes equivalentes ESAL, lo cual se traduce en un espesor total del pavimento.

La ecuación del AASHTO 93 correlaciona parámetros de los materiales de las diferentes capas que lo conforman y parámetros propios de la estructura completa de pavimento con el SN dependiente del ESAL, de este modo utilizando parámetros fácilmente obtenibles con ensayos de laboratorio y correlaciones (ecuaciones y nomogramas) se puede seguir un proceso iterativo que determine el número estructural requerido para cada capa.

La ecuación del método AASHTO 93 es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_r) - 8.07$$

en donde:

- W_{18} = ESAL = Número de ejes equivalentes de 18 kips
- Z_R = Valor del desviador en la curva de distribución normal
- S_0 = Desviación estándar del sistema
- ΔPSI = Pérdida de servicialidad
- M_r = Módulo resiliente
- SN = Número estructural

Para este caso se escogió un periodo de diseño de 20 años, una tasa anual de crecimiento del 3.00 %, un nivel de confiabilidad de 95 %, un índice de servicialidad inicial p_0 de 4.20 y un

$$\Delta PSI = p_0 - p_1 \therefore \Delta PSI = 4.20 - 2.00 = 2.20$$

índice de servicialidad final p_1 de 2.00, por lo que la pérdida de servicialidad será:

El valor Z_R correspondiente al nivel de confiabilidad seleccionado se obtiene de la siguiente tabla, siendo este de -1.645:



UAMZM
Laboratorio
Mecánica de Suelos



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



Confiabilidad (R)	Valor de Z_R
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

TABLA 3: VALORES DE Z_R EN LA CURVA NORMAL PARA DIVERSOS GRADOS DE CONFIABILIDAD, REPRODUCIDO DE (Oficials), 1993)

El valor S_0 deberá ser representativo de las condiciones locales ya que representa las posibles variaciones sobre la predicción del comportamiento del pavimento y la estimación del tráfico, la guía AASHTO recomienda los siguientes valores:

Condición de Diseño	Desviación Estándar
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento (sin error de tráfico)	0.25
Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y en la estimación del tráfico	0.35 – 0.50 (0.45 valor recomendado)

TABLA 4: VALORES RECOMENDADOS PARA LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S_0), REPRODUCIDO DE (Oficials), 1993)

Para este diseño se usará el valor recomendado de 0.45 para considerar posibles variaciones dentro del comportamiento esperado y sobre todo para contemplar la incertidumbre propia de los métodos de análisis del flujo vehicular presente y futuro.



UAMZM
Laboratorio
Mecánica de Suelos



XI NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES (ESAL)

La relación entre la carga por eje y el daño al pavimento es del tipo exponencial, un solo eje de 8.2 Ton causa un daño del orden de 3000 o más veces que uno de 1 Ton. La carga equivalente por eje (ESAL) permite expresar la carga de tráfico acumulada sobre el pavimento de una carretera, resultante de múltiples tipos de vehículos con diferentes configuraciones de ejes, como el número de repeticiones de una carga por eje estándar.

El efecto acumulativo del paso de múltiples vehículos es un dato crucial para el diseño de pavimentos. El uso del ESAL permite introducir la carga de tráfico mixto en el cálculo del diseño de pavimentos como un único número representativo.

Entonces podemos definir el ESAL como un número que representa el daño causado por una sola pasada de una carga por eje estándar, en consecuencia, el daño causado por cualquier vehículo puede expresarse en términos de ESAL. En el diseño de pavimentos, no nos interesa el número total de vehículos ni la suma de todas las cargas por eje, sino el daño acumulado causado por la combinación de vehículos a lo largo del tiempo. Necesitamos convertir el efecto del daño de cada tipo de vehículo al número de repeticiones por eje estándar que generaría un efecto de daño equivalente.

Con la intención de conocer la intensidad y configuración del tráfico, se realizó un aforo de tipo manual para contabilizar los vehículos de acuerdo a la clasificación del Instituto Mexicano del Transporte (IMT).



IMAGEN 10: AFORO VEHICULAR MANUAL





FIGURA 15: CLASIFICACIÓN VEHÍCULAR DEL INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE (IMT), TOMADO DE IMT-PAVE 3.0

Los resultados del conteo vehicular se muestran en la tabla siguiente:

Día	Número de Carreteras: 2			AFORO VEHICULAR								TPDS
	A			Sentido del Aforo: N-S y S-N				Estaciones Temporales: 2				
	México	Aguas	Camisetas	B2	B3	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4	Otros	
1	559	536	253	5	0	33	4	0	0	0	1	1291
2	567	450	380	7	0	32	0	0	0	0	15	1451
3	554	457	307	7	1	46	2	1	0	0	9	1594
4	560	481	380	6	0	37	2	0	0	0	8	1475
5	560	481	380	6	0	37	2	0	0	0	8	1475
6	364	313	247	4	0	24	1	0	0	0	5	959
7	364	313	247	4	0	24	1	0	0	0	5	959
TPDS	504	430	342	6	0	35	2	0	0	0	8	1328

TABLA 5: RESULTADOS DEL AFORO MANUAL

Los primeros tres días corresponden a los días realmente aforados (lunes, martes y miércoles) y ya que se requiere el tránsito promedio diario semanal (TPDS) de cada tipo de vehículo, se consideró un promedio de los tres días aforados para los otros dos (jueves y viernes) y para los últimos dos días (sábado y domingo) se consideró el 65 % del tránsito promedio usado.



Día	TUV	A	B2	B3	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4	Otros	Total
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	1391	96.91	0.36	0.00	2.37	0.29	0.00	0.00	0.00	0.07	100.00
2	1451	96.28	0.48	0.00	2.21	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	100.00
3	1584	95.83	0.44	0.06	2.90	0.13	0.06	0.00	0.00	0.57	100.00
Promedio		96.34	0.43	0.02	2.49	0.14	0.02	0.00	0.00	0.56	100.00

TABLA 6: PORCENTAJES DE TRANSITO POR TIPO DE VEHICULO

Los ESAL se calculan aplicando factores de equivalencia de carga al TPDS de cada tipo de vehículo, cabe destacar que los factores de equivalencia de carga para una misma configuración de ejes y cargas no son constantes, si no que dependen también de dos parámetros clave en el diseño de pavimentos, el número estructural SN y el índice de servicialidad final p_i .

La guía de diseño AASHTO 93 proporciona los factores de equivalencia para diferentes configuraciones de ejes con diferentes cargas considerando además los dos parámetros antes mencionados (SN y p_i), de este modo es posible calcular la equivalencia de ejes estándar que genera el mismo daño que el tráfico mezclado.



IMAGEN 11: GUÍA DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO AASHTO 93



Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles, Ejes Simples, $P_t = 2.0$						
Carga por eje (Kips)	Número Estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113	108	97	86	81	82

TABLA 7: FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES, EJES SIMPLES, $P_t=2.0$, REPRODUCIDO DE (Oficiales, 1993)





UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles, Ejes Tandem, P _t = 2.0						
Carga por eje (Kips)	Numero Estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

TABLA 8: FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES, EJES TANDEM, P_t=2.0, REPRODUCIDO DE (Officials), 1993)





UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



Carga por eje (Kips)	Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles, Ejes Tridem, Pt = 2.0					
	Número Estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
8	0.0009	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007
10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
12	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
14	0.006	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005
16	0.010	0.012	0.012	0.010	0.009	0.009
18	0.016	0.019	0.019	0.017	0.015	0.015
20	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
22	0.034	0.042	0.042	0.038	0.035	0.034
24	0.049	0.058	0.060	0.055	0.051	0.048
26	0.068	0.080	0.083	0.077	0.071	0.068
28	0.093	0.107	0.113	0.105	0.098	0.094
30	0.125	0.140	0.149	0.140	0.131	0.126
32	0.164	0.182	0.194	0.184	0.173	0.167
34	0.213	0.233	0.248	0.238	0.225	0.217
36	0.273	0.294	0.313	0.303	0.288	0.279
38	0.346	0.368	0.390	0.381	0.364	0.353
40	0.434	0.456	0.481	0.473	0.454	0.443
42	0.538	0.560	0.587	0.580	0.561	0.548
44	0.662	0.682	0.710	0.705	0.686	0.673
46	0.807	0.825	0.852	0.849	0.831	0.818
48	0.976	0.992	1.015	1.014	0.999	0.987
50	1.17	1.18	1.20	1.20	1.19	1.18
52	1.40	1.40	1.42	1.42	1.41	1.40
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	2.67	2.64	2.59	2.57	2.60	2.63
62	3.10	3.05	2.98	2.95	2.99	3.04
64	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	4.13	4.05	3.89	3.83	3.90	3.99
68	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	5.40	5.28	5.03	4.90	5.00	5.15
72	6.15	6.00	5.68	5.52	5.63	5.82
74	6.97	6.79	6.41	6.20	6.33	6.56
76	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	8.88	8.63	8.09	7.75	7.90	8.23
80	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	11.2	10.8	10.1	9.6	9.8	10.2
84	12.5	12.1	11.2	10.6	10.8	11.3
86	13.9	13.5	12.5	11.8	11.9	12.5
88	15.5	15.0	13.8	13.0	13.2	13.8
90	17.2	16.6	15.3	14.3	14.5	15.2

TABLA 9- FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES, EJES TRIDEM, Pt=2.0
 REPRODUCIDO DE (Officials), 1993)



UAMZM
 Laboratorio
 Mecánica de Suelos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



Tipos de Vehículo		Tipo de Eje	Ejes de Carga (Ton)	Ejes de Carga (Kspx)	Factor de Equivalencia	TPDS	Ejes Equivalentes
Vehículos Ligeros	Motocicletas	Simple	0.41	0.90		504	0.00000
	Autos	Simple	1.00	2.20	0.00049	433	0.21058
		Simple	1.00	2.20	0.00049	433	0.21058
	Camionetas	Simple	1.00	2.20	0.00049	342	0.16636
		Simple	1.00	2.20	0.00049	342	0.16636
	B2	Simple	6.50	14.33	0.38089	6	2.17106
		Simple	12.50	27.56	6.84538	6	39.01864
	B3	Simple	6.50	14.33	0.38089	0	0.11427
		Tandem	21.00	46.30	4.23902	0	1.27171
	C2	Simple	6.50	14.33	0.38089	33	12.68354
Simple		12.50	27.56	6.84538	33	227.95099	
C3	Simple	6.50	14.33	0.38089	2	0.68560	
	Tandem	21.00	46.30	4.2390	2	7.63024	
Vehículos de Carga	T3-S2	Simple	6.50	14.33	0.38089	0	0.11427
		Tandem	21.00	46.30	4.2390	0	1.27171
	T3-S3	Tandem	21.00	46.30	4.2390	0	1.27171
		Simple	6.50	14.33	0.38089	0	0.00000
T3-S2-R4	Tandem	21.00	46.30	4.2390	0	0.00000	
	Tridem	26.50	58.42	2.34805	0	0.00000	
	Simple	6.50	14.33	0.38089	0	0.00000	
	Tandem	18.00	39.68	2.12022	0	0.00000	
Otros	Tandem	17.00	37.48	1.65347	0	0.00000	
	Tandem	17.00	37.48	1.65347	0	0.00000	
	Tandem	17.00	37.48	1.65347	0	0.00000	
	Simple	3.30	7.28	0.02666	8	0.19998	
Simple	7.70	16.98	0.79406	8	5.95545		
						ESAL₄	301.09302

TABLA 10: CALCULO DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES ESAL₄





La mayoría de diseños de estructuras de pavimento no contemplan los vehículos ligeros debido a la mínima o nula aportación que generan en la determinación del ESAL, su uso se limita a completar el 100 % de los vehículos en el tránsito mezclado, en este caso se puede observar lo acertado de esa consideración pues para el caso de las motocicletas, el peso en su eje es tan bajo que no figura en las tablas de factores de equivalencia del AASHTO 93 y aquellos como autos y camionetas sencillas tienen factores muy bajos.

Aplicando los factores de equivalencia correspondientes para un SN asumido de 2.0 se obtuvo un $ESAL_0$ de 301.09302, este valor de ejes equivalentes deberá afectarse por los 365 días del año y por los siguientes factores:

- $D_D = 0.5$ (Factor de distribución direccional)
- $D_L = 0.5$ (Factor de distribución por carril)
- $T_C = 3 \%$ (Tasa anual del crecimiento de tránsito)
- $n = 20$ años (Periodo de diseño)

Se tendrá entonces:

$$ESAL = ESAL_0 \cdot 365 \cdot D_D \cdot D_L \cdot \left(\frac{(1 + T_C)^n - 1}{T_C} \right)$$
$$\therefore$$
$$301.09302 \cdot 365 \cdot 0.5 \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{(1 + 0.03)^{20} - 1}{0.03} \right) = 738,256.00$$





X.II MODULOS RESILIENTES

El módulo resiliente (M_r) de un suelo es una medida de su capacidad para soportar cargas repetidas y recuperarse después de la aplicación de una fuerza. Es decir, es una medida de la rigidez o resistencia del suelo a la deformación elástica bajo cargas cíclicas, sin que se produzca una deformación permanente.

El módulo resiliente se determina mediante ensayos triaxiales cíclicos, en los que se somete al suelo a una serie de esfuerzos y se mide la deformación recuperable, este parámetro representa muy bien la respuesta de un suelo a las cargas de tráfico por lo que es uno de los parámetros fundamentales en el diseño de pavimentos.

Como ya se mencionó, la determinación del M_r se realiza mediante el ensayo triaxial cíclico, el cual es un ensayo que la mayoría de los laboratorios no manejan; es por ello que a lo largo del desarrollo del método de diseño de estructuras de pavimento del AASHTO se desarrollaron correlaciones entre el M_r y otros parámetros del suelo, entre ellos destaca el CBR, el cual es un ensayo mucho más simple y que prácticamente todos los laboratorios realizan de manera rutinaria, es además un parámetro usado para controlar la calidad de los materiales usados en la construcción de las capas de base, subbase y subrasante.

El AASHTO 93 propone las siguientes correlaciones entre el CBR y el M_r :

1	$CBR \leq 7.2\%$	$M_r = 1500 \cdot CBR$
2	$7.2\% \leq CBR \leq 20\%$	$M_r = 3000 \cdot CBR^{0.65}$
3	$CBR \geq 20\%$	$M_r = 4326 \cdot \ln CBR + 241$

Mediante el ensayo CBR practicado al terreno natural (material para subrasante) se determinó que este tiene un valor de 17.78 % (menor al requisito mínimo de calidad) y aplicando la correlación número 2 se obtiene un M_r de 19,479.46 lb/in² (psi).

Los valores mínimos de las propiedades de una subrasante que soportará un pavimento, de acuerdo a la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), se desglosan en la tabla 11. Del mismo modo, la SCT tiene especificada la calidad mínima para los materiales que se utilizarán como base y subbase, mediante los valores que se presenta en las tablas 12 y 13, respectivamente.





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

TABLA 11: REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PARA CAPA SUBRASANTE, REPRODUCIDO DE (Normativa para la Infraestructura del Transporte, 2021)

Para el material de subbase se asumió un valor de 50.00 % que corresponde con el mínimo reglamentario para materiales con calidad de subbase y aplicando la correlación número 3 se obtuvo un Mr de 17,164.41 lb/in² (psi).

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

TABLA 12: REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PARA SUBBASES DE PAVIMENTOS ASFALTICOS, REPRODUCIDO DE (Normativa para la Infraestructura del Transporte, 2021)

En el caso de la capa de base se usó un CBR de 80.00 %, aplicando la correlación número 3 obtuvimos un Mr de 19,197.65 se consideró que es un valor bajo para un material con calidad de base granular, por lo que para esta capa el Mr se determinó mediante el nomograma de la guía AASHTO que correlaciona el coeficiente estructural con diversos parámetros, entre ellos el CBR y el módulo resiliente, de este modo se obtuvo un Mr de 29,000.00 lb/in² (psi).

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

TABLA 13: REQUISITOS DE CALIDAD DE MATERIALES PARA BASES DE PAVIMENTOS ASFALTICOS, REPRODUCIDO DE (Normativa para la Infraestructura del Transporte, 2022)





X.III MODULO DINÁMICO DE LA CAPA ASFALTICA

Una de las características fundamentales de las mezclas asfálticas es la relacionada a su módulo dinámico el cual está relacionado al comportamiento que pueda presentar la mezcla asfáltica cuando sea colocada como superficie de rodamiento en una carretera.

La mezcla asfáltica deberá ser resistente a las acciones del tránsito debido a que estará sometida a esfuerzos de tensión importantes los cuales le pueden ocasionar serios problemas relacionados a deformaciones permanentes y a agrietamientos por fatiga fundamentalmente, no significa lo anterior que no esté expuesta a problemas de fractura por efecto térmico.

El método clásico del AASHTO 93 hace uso de un nomograma que correlaciona varios parámetros con el coeficiente estructural, desde donde se puede estimar el módulo resiliente que por muchos años se usó para caracterizar mecánicamente las carpetas asfálticas. La introducción de los métodos de diseño empírico – mecanicistas como el de la Guía de Diseño de Pavimentos Mecanicista – Empírico (MEPDG) del AASHTO dieron pie a la incorporación y entendimiento de los fenómenos mecánicos que se dan en la estructura interna de la carpeta asfáltica durante su vida útil, esto se tradujo en una mayor aceptación del módulo dinámico como parámetro fundamental para el diseño de pavimentos.

La determinación del módulo dinámico se puede realizar mediante la prueba de la rueda cargada de Hamburgo, variando las condiciones de temperatura y frecuencia f (Hz), para así construir las curvas maestras de la mezcla asfáltica ensayada, la principal desventaja es que es un ensayo poco común en la práctica profesional actual y su principal uso se da en proyectos de investigación.

Siguiendo el criterio usado en la determinación de los módulos resilientes, se puede entrar al nomograma anterior mencionado con el valor mínimo reglamentario de Estabilidad Marshall, obteniendo así un M_r de aproximadamente $250,000.00 \text{ lb/in}^2$ (psi), se considera un valor bajo y fácilmente superado por los concretos asfálticos comerciales.

Características	Número de ejes equivalentes de diseño ΣL	
	$\Sigma L \leq 10^6$	$10^6 \leq \Sigma L \leq 10^7$
Compactación; número de golpes en cada cara de la probeta	50	75
Estabilidad; N (lb _f), mínimo	5340 (1200)	8000 (1800)
Flujo; mm (10^{-2} in)	2 – 4 (8 – 16)	2 – 3.5 (8 – 14)
Vacios en la mezcla asfáltica (VMC); %	3 – 5	3 – 5
Vacios ocupados por el asfalto (VFA); %	65 – 78	65 – 75

TABLA 14: REQUISITOS DE CALIDAD PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA Densa, DISEÑADAS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL, REPRODUCIDO DE (Normativa para la Infraestructura del Transporte, 2016)





En el proceso iterativo de la ecuación del AASHTO 93 se emplean coeficientes estructurales para cada capa, dichos coeficientes se obtienen mediante los nomogramas ya mencionados e intervienen en el cálculo de los espesores de cada capa, de ahí se propuso determinar de modo inverso a través del coeficiente de la capa asfáltica el módulo resiliente correspondiente.

X.IV COEFICIENTES ESTRUCTURALES

Como se mencionó con anterioridad la ecuación de diseño requiere del uso de un coeficiente estructural para cada capa (capa asfáltica, capa de base y capa de subbase), este número representa la capacidad del material para soportar las cargas y contribuir a la resistencia estructural del pavimento. Los coeficientes estructurales se determinan con el uso de los nomogramas particulares de capa tipo de capa, estos nomogramas correlacionan el coeficiente con diferentes parámetros del material como son el CBR o el Mr, de este modo para la capa de base tendremos un coeficiente estructural a_2 de 0.135 y para la capa de subbase un a_3 de 0.125.

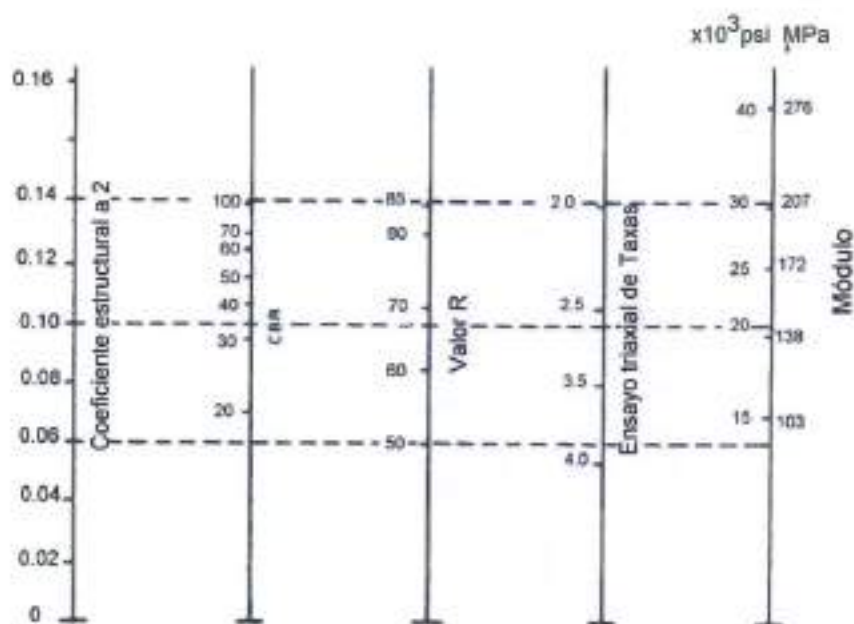


FIGURA 16: RELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL PARA BASE GRANULAR Y DISTINTOS PARÁMETROS RESISTENTES, TOMADO DE (Oficial), 1993)



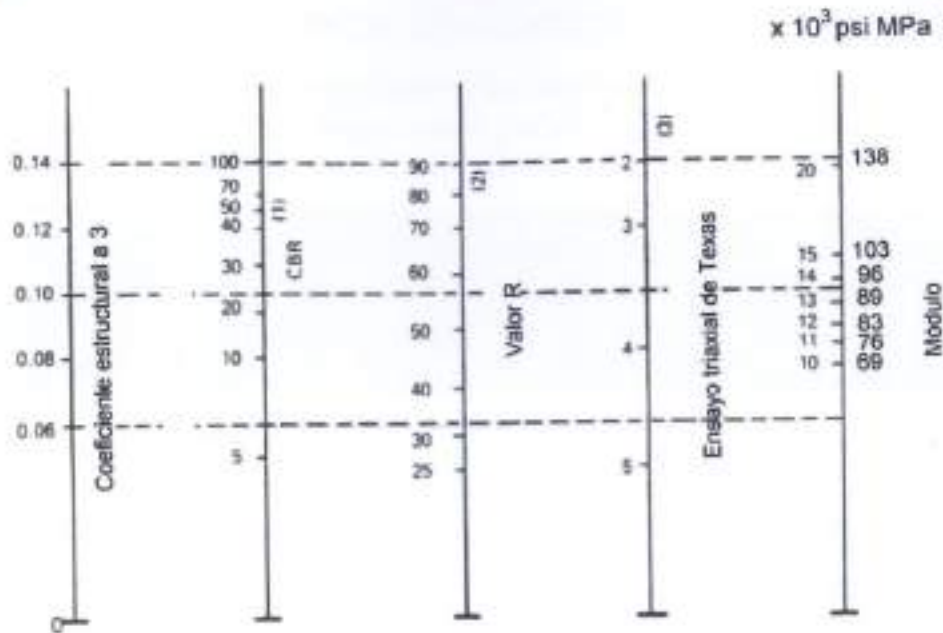


FIGURA 17: RELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL PARA SUBBASE GRANULAR Y DISTINTOS PARÁMETROS RESISTENTES, TOMADO DE (Oficiala), 1993)

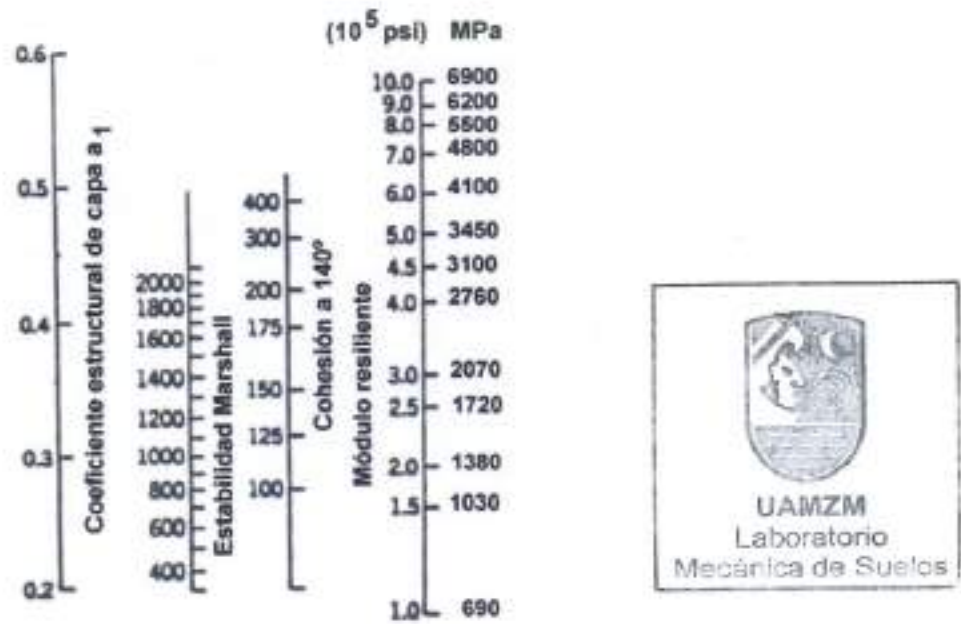


FIGURA 18: COEFICIENTES ESTRUCTURALES PARA CAPAS ASFÁLTICAS RELACIONADAS CON VARIOS ENSAYOS, TOMADO DE (Oficiala), 1993)



X.V DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DRENAJE

El drenaje de las capas de base y subbase es un factor que afecta la resistencia de la estructura del pavimento a lo largo del tiempo, por lo que el AASHTO 93 considera este factor en su metodología.

Calidad de Drenaje	Tiempo de Remoción del Agua	% de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a niveles de humedad próximos a la saturación			
		< 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	> 25 %
Excelente	2 horas	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Buena	1 día	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Aceptable	1 semana	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1 mes	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Pobre	El agua no drena	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

TABLA 15: VALORES DE COEFICIENTE DE DRENAJE, REPRODUCIDO DE (Oficials), 1993)

Se considero un promedio de 40 días de lluvia al año que producen un ligero escurrimiento, lo que se traducen en un 10.96 % de días de exposición a humedades cercanas a la saturación y si se asume una calidad de drenaje aceptable, el coeficiente de drenaje será de 0.90, además se asumieron iguales los coeficientes de la base y subbase ($m_2 = m_3$).



IMAGEN 12: EJEMPLO DE TERRACERIA CON UNA CALIDAD DE DRENAJE POBRE





X.VI CALCULO DEL ESPESOR DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO

Para calcular el primer espesor que corresponde a la carpeta asfáltica se asumió que toda la resistencia está dada por la carpeta, por lo que el Mr de la ecuación tendrá que ser el de la capa base.



FIGURA 19: REPRESENTACIÓN ESQUEMATICA PARA CALCULAR EL ESPESOR DE LA CAPA ASFALTICA

Aplicando la ecuación de diseño se tendrá:

$$\log_{10}(738,256.00) = -1.645 \cdot 0.45 + 9.36 \log_{10}(SN_1 + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{2.20}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN_1 + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(29,000) - 8.07$$

Por lo tanto:

$$5.87 = -1.645 \cdot 0.45 + 9.36 \log_{10}(SN_1 + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{2.20}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN_1 + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(29,000) - 8.07$$

Se puede observar que en esta ecuación la única variable que podemos modificar libremente es el SN que para el primer espesor se denomina SN_1 , pero no es posible despejarla por lo que se deben hacer iteraciones hasta encontrar el valor de SN_1 que iguale la parte izquierda de la ecuación, de este modo se determinó un SN_1 de 2.061.

El espesor de la carpeta D_1 se calcula como:

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

y como se mencionó en capítulos anteriores este coeficiente se obtiene del nomograma que lo correlaciona con parámetros como el Mr, en este caso se decidió hacer de manera inversa dado el bajo Mr que se obtenía mediante el nomograma y los valores mínimos reglamentarios de estabilidad Marshall, por lo que se fue variando el coeficiente estructural hasta obtener un espesor D_1 cercano a 4 (valor común en la práctica).

Así con un coeficiente de 0.515 se obtuvo un valor $D_1 = 4.00$ y con este coeficiente y el nomograma se determinó un Mr de 652,671.00 lb/in².

Los valores de los diferentes espesores se deben aproximar a media o a una unidad entera, para este caso el D_1 de 4.00 será igual al D_1^* y finalmente se recalcula el número estructural



UAMZM
Laboratorio
de Mecánica de Suelos



con el espesor final D_1^* , este nuevo número se designa como SN_1^* que para este caso es de 2.06.

Ahora para calcular el espesor de la capa de base se asume que toda la resistencia está dada por la carpeta y la capa de base, por lo que el Mr de la ecuación tendrá que ser el de la capa subbase.



FIGURA 20: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA PARA CALCULAR EL ESPESOR DE LA CAPA BASE

Aplicando la ecuación de diseño se tendrá:

$$\log_{10}(738,256.00) = -1.645 \cdot 0.45 + 9.36 \log_{10}(SN_2 + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{2.20}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN_2 + 1)^{3.19}}} + 2.32 \log_{10}(17,164.41) - 8.07$$

Por lo tanto:

$$5.87 = -1.645 \cdot 0.45 + 9.36 \log_{10}(SN_2 + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{2.20}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN_2 + 1)^{3.19}}} + 2.32 \log_{10}(17,164.41) - 8.07$$

Y con un SN_2 de 2.502 se cumple la igualdad, ahora el espesor de la base D_2 se calcula como:

$$D_2 = \frac{(SN_2 - SN_1^*)}{a_2 \cdot m_2} \cdot \frac{(2.502 - 2.060)}{0.135 \cdot 0.90} = 3.64$$

La aproximación lógica sería a 4.00 pero ese valor se traduce en un espesor de aproximadamente 10 cm, el cual es menor al reglamentario que dicta capas no menores a 20 cm, de este modo se asumió un D_2^* de 8.00 y por medio de la resta entre el SN_2 y el SN_1^* se obtuvo un SN_2^* de 0.442.

Finalmente, para el análisis de la capa subbase se asume que toda la resistencia está dada por la combinación de la carpeta, la base y la subbase, por lo que el Mr a utilizar en la ecuación será el de la subrasante.



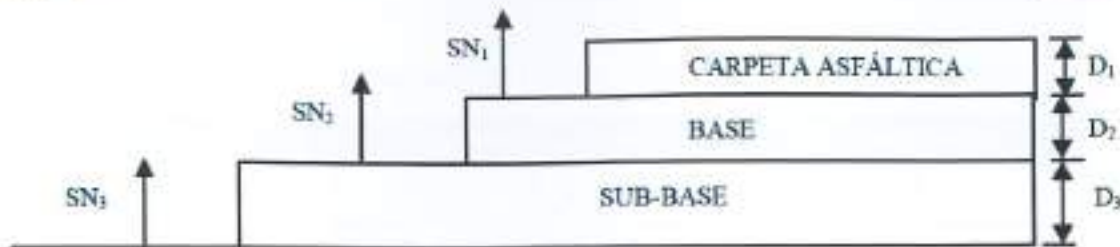


FIGURA 21: REPRESENTACIÓN ESQUEMATICA PARA CALCULAR EL ESPESOR DE LA CAPA SUBBASE

Aplicando la ecuación de diseño se tendrá:

$$\log_{10}(738,256.00) = -1.645 \cdot 0.45 + 9.36 \log_{10}(SN_3 + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{2.20}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN_3 + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(19,479.46) - 8.07$$

Por lo tanto:

$$5.87 = -1.645 \cdot 0.45 + 9.36 \log_{10}(SN_3 + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{2.20}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN_3 + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(19,479.46) - 8.07$$

Y con un SN_3 de 2.390 se cumple la igualdad, ahora el espesor de la subbase D_3 se calcula como:

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 \cdot m_3} \therefore \frac{2.390 - (2.060 + 0.442)}{0.125 \cdot 0.90} = -1.00$$

En este caso se observa un valor negativo debido a que la subrasante tiene mayor modulo resiliente que la subbase, esto se atribuye a los suelos gruesos (arenas) presentes en la mayor parte del área de estudio, por lo tanto, para el D_3^* se tomó el valor reglamentario mínimo de 12.00, para verificar los espesores se tiene que cumplir con la siguiente desigualdad:

$$SN \leq a_1 \cdot D_1^* + a_2 \cdot D_2^* \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3^* \cdot m_3$$

En donde el SN es aquel que considera todas las capas de la estructura del pavimento, siendo este el SN_3 , entonces:

$$2.39 \leq (0.515)(4.00) + (0.135)(8.00)(0.90) + (0.125)(12.00)(0.90) \therefore 2.39 \leq 4.38$$

el diseño cumple con el SN demandado por la estructura completa.

Los valores calculados presentados en la secuencia anterior, se ajustan a espesores constructivos que hagan más practica su fabricación, sin sacrificar la capacidad estructural.





A continuación, se presenta los espesores finales y la sección de pavimento propuesta:

Capa	Espesor Calculado	Espesor Final
Capa Asfáltica	4.00 in (10.16 cm)	10 cm
Capa Base	8.00 in (20.32 cm)	20 cm
Capa Subbase	12.00 in (30.48 cm)	30 cm
Capa Subrasante	-	20 cm

Nota: El espesor propuesto para la subrasante es el mínimo dictado por la SCT para casos donde la intensidad del tránsito es de 1 millón de ejes equivalentes o menor.

TABLA 16: ESPESORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO

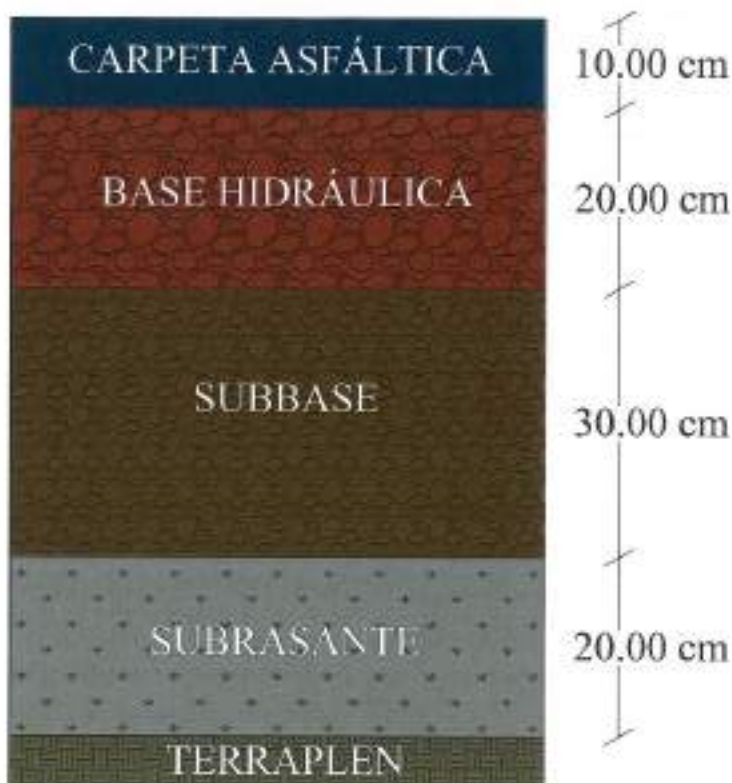


FIGURA 22: SECCIÓN DE PAVIMENTO PROPUESTA





XI CONCLUSIONES

1. La calle Cristóbal Colón es un camino que cruza el río verde, por lo que es común encontrar suelos gruesos lavados por la corriente del agua, en dirección hacia el centro de Cd. Fernández se encuentran zonas con mayor presencia de arcillas del tipo CH.
2. El área de estudio se encuentra en la zona sísmica A, la cual se considera de escasa actividad sísmica y de baja magnitud (Capítulo V).
3. Se realizaron 4 sondeos exploratorios mediante pozos a cielo abierto (PCA) (Capítulo VI.I) complementados con el procedimiento de hincado de tubo de pared delgada (Capítulo VI.II), esto para obtener muestras alteradas e inalteradas para los ensayos de laboratorio, tomando como criterio para la profundidad de exploración los antecedentes de estudios similares realizados en zonas cercanas y la experiencia propia.
4. De todas las muestras se obtuvieron contenidos de agua en estado natural, así como % de finos, granulometría y límites de consistencia, mientras que solo a algunas se les realizó el procedimiento de peso volumétrico y a una sola muestra seleccionada se le realizó el ensayo de densidad de sólidos y CBR, todo ejecutado bajo las normas ASTM D2216, ASTM D422-63, ASTM C117-95, ASTM D4318-05, ASTM D854 y ASTM D1883-21.
5. La estratigrafía (valores de profundidad promedio) encontrada es:
Zona del PCA-2 al PCA-4
 - A partir de la superficie y hasta una profundidad promedio de 0.57 m se compone de una capa de arena arcillosa con grava (SC) de color marrón amarillento oscuro.
 - De 0.57 m hasta una profundidad promedio de 1.00 m se encuentra una capa de arenas que van del tipo SC, SP y una zona de grava GC hacia la bajada del río, los colores van desde tonalidades amarillentas hasta tonos cafés.
 - De 1.00 m hasta 1.50 m de profundidad se extiende una capa de suelos finos entre arcillas arcilla arenosas (CH y CL) y limos arenosos del tipo ML, las tonalidades son variables entre amarillo, café y gris.Zona del PCA-1 en dirección hacia Cd. Fernández
 - A partir de la superficie y hasta una profundidad promedio de 0.45 m se compone de una capa de relleno artificial de material del tipo GC grava arcillosa con arena color gris.
 - De 0.45 hasta una profundidad promedio de 1.10 m se encuentra una capa de arcilla mal gradada con arena color café (CL).
 - De 1.10 hasta 1.50 se encuentra una capa de limo con arena color café (ML).
6. No se localizó el nivel freático hasta la máxima profundidad de exploración (1.50 m).





7. Por medio del ensayo Valor Soporte de California realizado al material de subrasante, se determinó un CBR de 17.78 %.
8. Mediante el análisis de tránsito se determinó un ESAL de 738,256 ejes equivalentes.
9. Los espesores propuestos son valores mínimos que satisfacen el nivel de daño traducido a ESAL y los requisitos establecidos en la normativa vigente de la SCT.
10. El cálculo de la estructura de pavimento se realizó con el método AASHTO 93.
11. Las afectaciones por crecidas del río verde están fuera del alcance de este estudio.

XII RECOMENDACIONES

1. Para la ejecución del proyecto se deberá considerar el drenaje transversal a través de sobreelevación central o bombeo del 2 %, y longitudinal mediante cunetas, preferentemente revestidas de concreto hidráulico.
2. Verificar que todos los materiales utilizados en la construcción del pavimento cumplan con los requisitos de calidad establecidos por la SCT.
3. Llevar un control de calidad, tanto de los materiales, como de los procesos, durante la construcción de las diferentes capas.
4. Prevenir fugas de agua durante la instalación de obras hidráulicas y sanitarias.
5. Si se desea reducir el espesor de la carpeta asfáltica será necesario usar un concreto asfáltico de mayor modulo resiliente o modulo dinámico para el caso de los asfaltos por grado de desempeño PG y recalculer los espesores.
6. Para garantizar la conservación de la compactación, deberán mantenerse las terracerías húmedas, hasta la colocación de la capa superior.
7. No se detectaron cruces de escurrimientos superficiales, ya que no se analizó la topografía, en caso de identificarse alguno en el tramo de estudio posteriormente, se deberá analizar la opción de revestirlo de concreto hidráulico, dependiendo de su magnitud.
8. Se recomienda realizar los estudios pertinentes, entre ellos el estudio hidrológico para considerar el periodo de retorno y las afectaciones que tendría una crecida del río sobre el cruce con calle Colón.

Sin otro particular estamos a sus apreciables órdenes:

ATENTAMENTE


M. I. JOSÉ ÁLVARO SEGURA CÁSTRO UAMZM
COORDINADOR DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



50



XIII BIBLIOGRAFÍA

- ASTM. (2014). Expansión Unidimensional o Colpaso de Suelos. *ASTM D4546-14*.
- Celia, A. R. (2012). *cefimslp.gob.mx*. Obtenido de https://cefimslp.gob.mx/monografias_municipales/2012/ciudadfernandez/files/ciudad%20fernandez.12.pdf
- Das, B. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Cd. de México: Cengage Learning.
- INEGI. (2002). *inegi.org.mx*. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224240/702825224240_7.pdf
- INEGI. (2010). Compendio de Información Geográfica Municipal. Cd. Fernández, San Luis Potosí, México. Obtenido de inegi.org.mx.
- INEGI. (s.f.). *inegi.org.mx*. Obtenido de inegi.org.mx: <https://www.inegi.org.mx/temas/fisiografia/>
- Juárez Badillo, E. (2021). *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la mecánica de Suelos*. Cd. de México: Limusa.
- Leal Vaca, J. C., Mendoza Puga, L. E., Serafín Muñoz, A. H., Coreño Alonso, O., Villalobos Pérez, S., Luna Rodríguez, F. J., & Gallegos Fonseca, G. (s.f.). Método de Laboratorio en Consolidómetro para Determinar las Deformaciones Verticales en Suelos y Criterios para Diseño de Plataformas.
- Normativa para la Infraestructura del Transporte*. (2016). Obtenido de <https://normas.imt.mx/storage/normativa/N-CMT-4-05-003-16.pdf>
- Normativa para la Infraestructura del Transporte*. (2021). Obtenido de <https://normas.imt.mx/storage/normativa/N-CMT-1-03-21.pdf>
- Normativa para la Infraestructura del Transporte*. (2021). Obtenido de <https://normas.imt.mx/storage/normativa/N-CMT-4-02-001-21.pdf>
- Normativa para la Infraestructura del Transporte*. (2022). Obtenido de <https://normas.imt.mx/storage/normativa/N-CMT-4-02-002-22.pdf>
- Officials), A. (. (1993). Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D.C., EUA.





XIV ANEXO ENSAYES DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE GRANULOMÉTRICO ASTM D422 - 63

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
Sondeo: PCA-1 Capa: 1

Fecha: 13/03/2025
Elaboró: Ing. Armando Mata Vargas
Profundidad: 0.00 - 0.45 m

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

Refracto tipo (GC) grava arcillosa con arena color gris, de baja plasticidad y humedad natural menor al límite plástico.

PESOS DE LAS MUESTRAS

MUESTRA SUELO SECO INICIAL g: 2369.72
MUESTRA REDUCIDA SIN LAVAR g: 200.00
MUESTRA REDUCIDA LAVADA g: 122.03

RETENIDO TAMEZ #4					PASANTE TAMEZ #4				
TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %	TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %
3"	75.00	0.00	0.00	100.00	#10	2.00	29.96	9.00	51.08
2 1/2"	63.00	282.63	11.99	88.01	#20	0.85	28.60	8.59	42.49
2"	50.00	0.00	0.00	88.01	#40	0.43	31.21	9.38	33.12
1 1/2"	37.50	140.41	5.95	82.06	#60	0.25	8.81	2.65	30.47
1"	25.00	96.93	4.11	77.95	#100	0.15	14.87	4.47	26.00
3/4"	19.00	96.93	4.11	73.84	#200	0.075	8.33	2.50	23.50
1/2"	12.50	135.88	5.76	68.08	PASANTE		78.22	23.50	
3/8"	9.50	62.50	2.65	65.42	% GRAVA:		39.92	D ₆₀	-
1/4"	6.30	54.35	2.31	63.12	% ARENA:		36.59	D ₃₀	0.24
#4	4.75	71.56	3.03	60.08	% FINOS:		23.50	D ₁₀	4.71
PASANTE		1416.76	60.08		% ERROR:		0.50	C _u	-
SUMA		2357.94	100.00					C _c	-



OBSERVACIONES: Presencia de fragmentos de escombros.



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE GRANULOMÉTRICO ASTM D422 - 63

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
Sondeo: PCA-1 Capa: 2

Fecha: 12/03/2025
Elaboró: Ing. Armando Mata Vargas
Profundidad: 0.45 - 0.70 m

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(CL) Arcilla mal graduada con arena color café claro, de baja plasticidad y humedad natural cercana al límite plástico.

PESOS DE LAS MUESTRAS

MUESTRA SUELO SECO INICIAL g: 2225.80
MUESTRA REDUCIDA SIN LAVAR g: 200.00
MUESTRA REDUCIDA LAVADA g: 30.72

RETENIDO TAMIZ #4					PASANTE TAMIZ #4				
TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %	TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %
5"	75.00	0.00	0.00	100.00	#10	2.00	0.93	0.46	98.20
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	100.00	#20	0.85	0.64	0.32	97.88
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	#40	0.43	2.20	1.09	96.79
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	100.00	#60	0.25	1.38	0.68	96.11
1"	25.00	0.00	0.00	100.00	#100	0.15	8.54	4.21	91.90
3/4"	19.00	0.00	0.00	100.00	#200	0.075	16.58	8.18	83.72
1/2"	12.50	0.00	0.00	100.00	PASANTE		169.73	83.72	
3/8"	9.50	13.23	0.60	99.40	% GRAVA:		1.35	D ₁₀	-
1/4"	6.30	12.40	0.56	98.84	% ARENA:		14.93	D ₃₀	-
#4	4.75	4.13	0.19	98.65	% FINOS:		83.72	D ₆₀	-
PASANTE		2181.98	98.65		% ERROR:		0.63	C _u	-
SUMA		2211.74	100.00					C _c	-



OBSERVACIONES:



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE GRANULOMÉTRICO ASTM D422 - 63

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
 Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
 Sondeo: PCA-I Capa: 3

Fecha: 12/03/2025
 Elaboró: Ing. Armando Mata Vargas
 Profundidad: 0.70 - 1.10 m

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(CL) Arcilla mal graduada con arena color café claro, de baja plasticidad y humedad natural menor al límite plástico.

PESOS DE LAS MUESTRAS

MUESTRA SUELO SECO INICIAL g: 1244.85
 MUESTRA REDUCIDA SIN LAVAR g: 200.00
 MUESTRA REDUCIDA LAVADA g: 33.55

RETENIDO TAMIZ #4					PASANTE TAMIZ #4				
TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %	TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %
3"	75.00	0.00	0.00	100.00	#10	2.00	0.62	0.30	96.24
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	100.00	#20	0.85	0.43	0.21	96.03
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	#40	0.43	0.65	0.31	95.72
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	100.00	#60	0.25	0.66	0.32	95.40
1"	25.00	0.00	0.00	100.00	#100	0.15	8.51	4.11	91.29
3/4"	19.00	0.00	0.00	100.00	#200	0.075	22.31	10.77	80.52
1/2"	12.50	8.43	0.68	99.32	PASANTE		166.82	80.52	
3/8"	9.50	20.24	1.63	97.69	% GRAVA:		3.46	D ₁₀	-
1/4"	6.30	11.81	0.95	96.74	% ARENA:		16.02	D ₃₀	-
#4	4.75	2.53	0.20	96.54	% FINOS:		80.52	D ₆₀	-
PASANTE		1200.15	96.54		% ERROR:		0.14	C _u	-
SUMA		1243.16	100.00					C _c	-



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE GRANULOMÉTRICO ASTM D422 - 63

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
 Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
 Sondeo: PCA-1 Capa: 4

Fecha: 12/03/2025
 Elaboró: Ing. Armando Mata Vargas
 Profundidad: 1.10 - 1.50 m

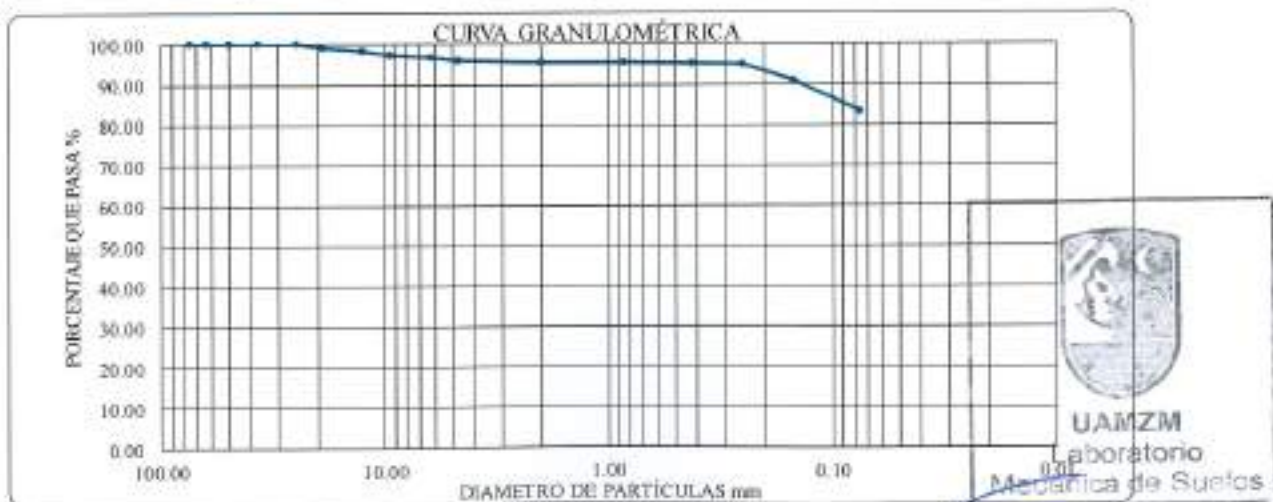
CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(ML) Lino con arena color café claro, de baja plasticidad y humedad natural menor al límite plástico.

PESOS DE LAS MUESTRAS

MUESTRA SUELO SECO INICIAL g: 1418.70
 MUESTRA REDUCIDA SIN LAVAR g: 200.00
 MUESTRA REDUCIDA LAVADA g: 27.10

RETENIDO TAMIZ #4					PASANTE TAMIZ #4				
TAMIZ	DIAMETRO	PESO RETENIDO	RETENIDO PARCIAL	MATERIAL PASANTE	TAMIZ	DIAMETRO	PESO RETENIDO	RETENIDO PARCIAL	MATERIAL PASANTE
	mm	g	%	%		mm	g	%	%
3"	75.00	0.00	0.00	100.00	#10	2.00	1.01	0.49	95.59
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	100.00	#20	0.85	0.33	0.16	95.43
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	#40	0.43	0.45	0.22	95.21
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	100.00	#60	0.25	0.37	0.18	95.04
1"	25.00	0.00	0.00	100.00	#100	0.15	8.62	4.14	90.89
3/4"	19.00	12.42	0.88	99.12	#200	0.075	16.00	7.69	83.21
1/2"	12.50	10.77	0.76	98.36	PASANTE		173.22	83.21	
3/8"	9.50	13.25	0.94	97.42	% GRAVA:	3.93	D ₁₀	-	
1/4"	6.30	9.11	0.64	96.78	% ARENA:	12.86	D ₅₀	-	
#4	4.75	9.94	0.70	96.07	% FINOS:	83.21	D ₆₀	-	
PASANTE		1357.42	96.07		% ERROR:	0.41	C _u	-	
SUMA		1412.91	100.00				C _c	-	



OBSERVACIONES _____





UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE GRANULOMÉTRICO ASTM D422 - 63

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
Sondeo: PCA-2 Capa: 1

Fecha: 12/03/2025
Elaboró: Ing. Armando Mata Vargas
Profundidad: 0.00 - 0.40 m

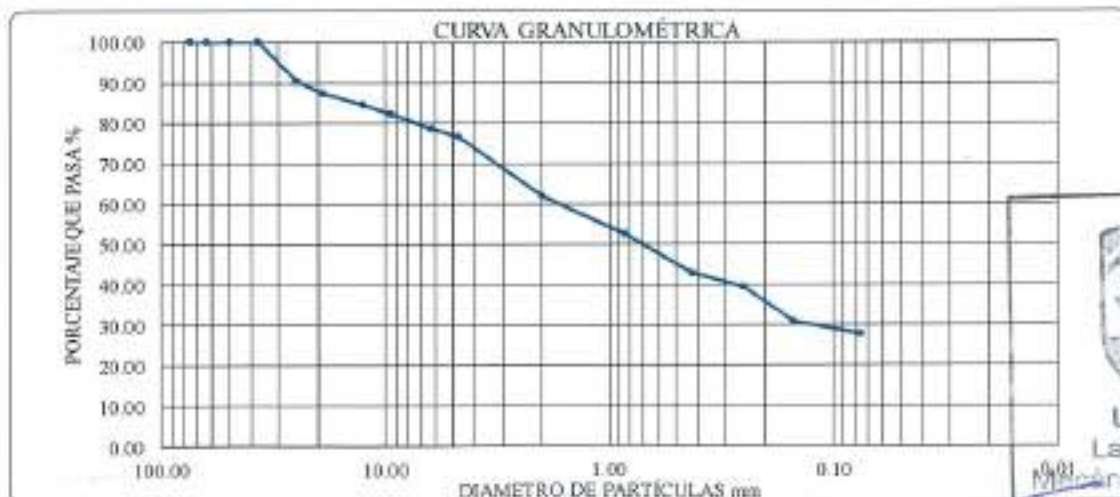
CLASIFICACION DEL MATERIAL

(SC) Arena arcillosa con grava color café amarillento, de baja plasticidad y humedad natural menor al límite plástico.

PESOS DE LAS MUESTRAS

MUESTRA SUELO SECO INICIAL g: 2028.66
MUESTRA REDUCIDA SIN LAVAR g: 200.00
MUESTRA REDUCIDA LAVADA g: 131.11

RETENIDO TAMIZ #4					PASANTE TAMIZ #4				
TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %	TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %
3"	75.00	0.00	0.00	100.00	#10	2.00	38.11	14.58	61.92
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	100.00	#20	0.85	34.62	9.42	52.51
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	#40	0.43	25.56	9.78	42.73
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	100.00	#60	0.25	8.25	3.16	39.57
1"	25.00	190.45	9.50	90.50	#100	0.15	22.80	8.72	30.85
3/4"	19.00	64.43	3.22	87.28	#200	0.075	8.37	3.20	27.65
1/2"	12.50	57.80	2.88	84.40	PASANTE		72.29	27.65	
3/8"	9.50	44.53	2.22	82.17	% GRAVA:		23.50	D ₁₀	-
1/4"	6.30	72.01	3.59	78.58	% ARENA:		48.85	D ₅₀	0.12
#4	4.75	41.69	2.08	76.50	% FINOS:		27.65	D ₆₀	1.68
PASANTE		1533.10	76.50		% ERROR:		1.21	C _u	-
SUMA		2004.02	100.00					C _c	-



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE GRANULOMÉTRICO ASTM D422 - 63

Proyecto: Estado de Mecánica de Suelos Calle Colón
 Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
 Sondeo: PCA-2 Capa: 2

Fecha: 13/03/2025
 Elaboró: Ing. Armando Mata Vargas
 Profundidad: 0.40 - 0.65 m

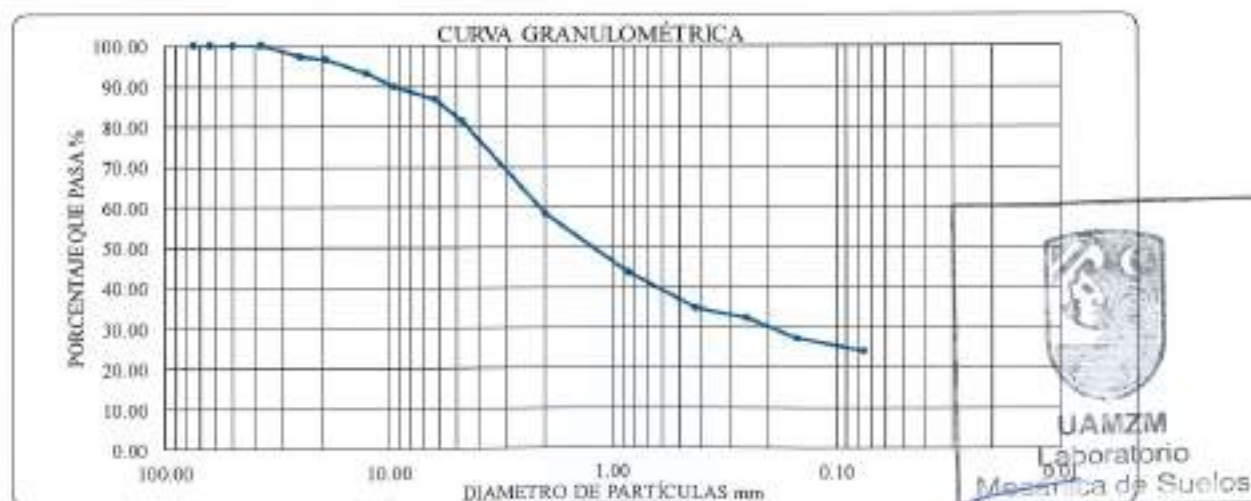
CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(SC) Arena arcillosa con grava color café rojizo claro, de baja plasticidad y humedad natural menor al límite plástico.

PESOS DE LAS MUESTRAS

MUESTRA SUELO SECO INICIAL g: 1770.21
 MUESTRA REDUCIDA SIN LAVAR g: 200.00
 MUESTRA REDUCIDA LAVADA g: 140.50

RETENIDO TAMIZ #4					PASANTE TAMIZ #4				
TAMIZ	DIAMETRO	PESO	RETENIDO	MATERIAL	TAMIZ	DIAMETRO	PESO	RETENIDO	MATERIAL
	mm	g	%	%		mm	g	%	%
3"	75.00	0.00	0.00	100.00	#10	2.00	56.38	22.92	58.40
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	100.00	#20	0.85	35.98	14.63	43.77
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	#40	0.43	22.15	9.01	34.76
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	100.00	#60	0.25	5.98	2.43	32.33
1"	25.00	45.93	2.60	97.40	#100	0.15	11.39	5.04	27.29
3/4"	19.00	15.62	0.88	96.51	#200	0.075	7.58	3.08	24.21
1/2"	12.50	58.79	3.33	93.18	PASANTE		59.54	24.21	
3/8"	9.50	57.87	3.28	89.91	% GRAVA:		18.68	D ₁₀	-
1/4"	6.30	54.20	3.07	86.84	% ARENA:		57.11	D ₃₀	0.20
#4	4.75	97.38	5.52	81.32	% FINOS:		24.21	D ₆₀	2.12
PASANTE		1435.83	81.32		% ERROR:		0.26	C _u	-
SUMA		1765.62	100.00					C _c	-



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE GRANULOMÉTRICO ASTM D422 - 63

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
Sondeo: PCA-2 Capa: 3

Fecha: 12/03/2025
Elaboró: Ing. Amando Mata Vargas
Profundidad: 0.65 - 1.00 m

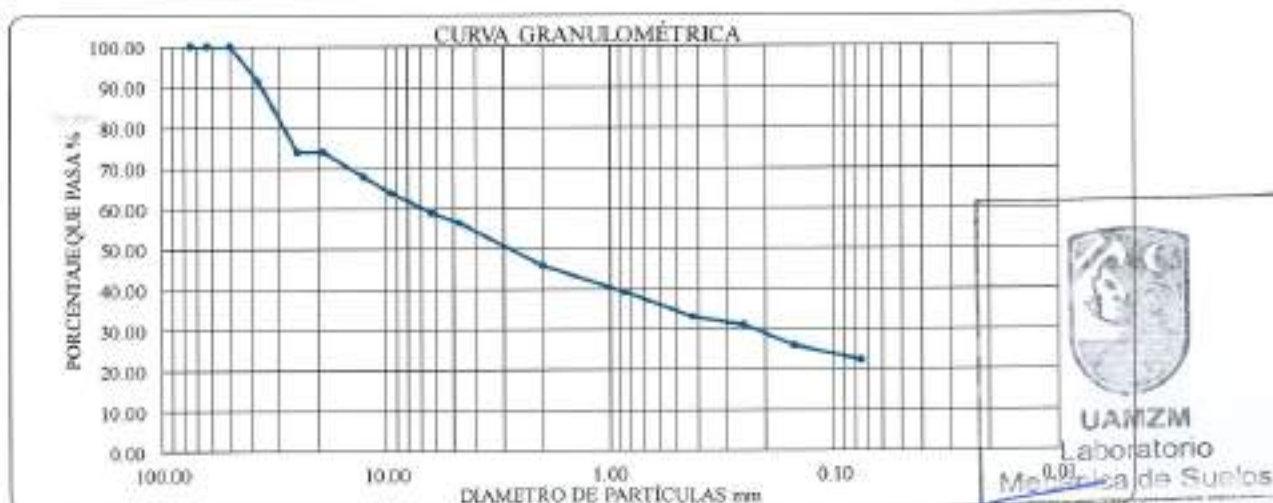
CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL.

(GC) Grava arcillosa con arena color café claro, de baja plasticidad y humedad natural menor al límite plástico.

PESOS DE LAS MUESTRAS

MUESTRA SUELO SECO INICIAL g: 1765.28
MUESTRA REDUCIDA SIN LAVAR g: 200.00
MUESTRA REDUCIDA LAVADA g: 121.49

RETENIDO TAMEZ #4					PASANTE TAMEZ #4				
TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %	TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %
3"	75.00	0.00	0.00	100.00	#10	2.00	37.82	10.68	45.79
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	100.00	#20	0.85	23.51	6.64	39.15
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	#40	0.43	21.86	6.17	32.98
1 1/2"	37.50	148.44	8.48	91.52	#60	0.25	7.32	2.07	30.91
1"	25.00	308.15	17.61	73.91	#100	0.15	17.98	5.08	25.84
3/4"	19.00	0.00	0.00	73.91	#200	0.075	12.51	3.53	22.30
1/2"	12.50	107.10	6.12	67.79	PASANTE		79.00	22.30	
3/8"	9.50	72.34	4.13	63.66	% GRAVA:		43.53	D ₁₅ :	-
1/4"	6.30	84.55	4.83	58.83	% ARENA:		34.16	D ₃₀ :	0.23
#4	4.75	41.34	2.36	56.47	% FINOS:		22.30	D ₆₀ :	6.96
PASANTE		988.33	56.47		% ERROR:		0.85	C _u :	-
SUMA		1750.25	100.00					C _c :	-



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE GRANULOMÉTRICO ASTM D422 - 63

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
Sondeo: PCA-2 Capa: 4

Fecha: 13/03/2025
Elaboró: Ing. Armando Mata Vargas
Profundidad: 1.00 - 1.40 m

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(CH) Arcilla gruesa arenosa con grava color amarillo pálido, de alta plasticidad y humedad natural mayor al límite plástico.

PESOS DE LAS MUESTRAS

MUESTRA SUELO SECO INICIAL g: 1799.00
MUESTRA REDUCIDA SIN LAVAR g: 200.00
MUESTRA REDUCIDA LAVADA g: 58.11

RETENIDO TAMIZ #4					PASANTE TAMIZ #4				
TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %	TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %
3"	75.00	0.00	0.00	100.00	#10	2.00	22.64	8.78	68.80
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	100.00	#20	0.85	14.67	7.24	61.56
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	#40	0.43	8.82	3.42	58.14
1 1/2"	37.50	221.00	12.35	87.65	#60	0.25	1.84	0.71	57.43
1"	25.00	89.00	4.97	82.67	#100	0.15	8.28	3.21	54.21
3/4"	19.00	10.00	0.56	82.11	#200	0.075	2.80	1.09	53.13
1/2"	12.50	40.00	2.24	79.88	PASANTE		136.95	53.13	
3/8"	9.50	18.00	1.01	78.87	% GRAVA:		22.41	D ₁₀	-
1/4"	6.30	17.00	0.95	77.92	% ARENA:		24.46	D ₃₀	-
#4	4.75	6.00	0.34	77.59	% FINOS:		53.13	D ₆₀	0.62
PASANTE		1388.00	77.59		% ERROR:		0.56	C _u	-
SUMA		1789.00	100.00					C _c	-



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE GRANULOMÉTRICO ASTM D422 - 63

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
 Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
 Sondeo: PCA-3 Capa: 1

Fecha: 12/03/2025
 Elaboró: Ing. Armando Mata Vargas
 Profundidad: 0.00 - 0.45 m

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(SM) Arena limosa no plástica de color gris rosado y humedad natural inferior al límite líquido.

PESOS DE LAS MUESTRAS

MUESTRA SUELO SECO INICIAL g: 2783.60
 MUESTRA REDUCIDA SIN LAVAR g: 200.00
 MUESTRA REDUCIDA LAVADA g: 91.30

RETENIDO TAMIZ #4					PASANTE TAMIZ #4				
TAMIZ	DIAMETRO	PESO RETENIDO	RETENIDO PARCIAL	MATERIAL PASANTE	TAMIZ	DIAMETRO	PESO RETENIDO	RETENIDO PARCIAL	MATERIAL PASANTE
	mm	g	%	%		mm	g	%	%
3"	75.00	0.00	0.00	100.00	#10	2.00	9.64	4.41	87.16
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	100.00	#20	0.85	12.97	5.94	81.22
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	#40	0.43	21.05	9.64	71.58
1 1/2"	37.50	126.32	4.55	95.45	#60	0.25	8.23	3.77	67.82
1"	25.00	0.00	0.00	95.45	#100	0.15	24.68	11.30	56.52
3/4"	19.00	16.72	0.60	94.85	#200	0.075	14.77	6.76	49.75
1/2"	12.50	36.22	1.30	93.55	PASANTE		108.66	49.75	
3/8"	9.50	9.29	0.33	93.21	% GRAVA:		8.43	D ₁₀	-
1/4"	6.30	22.29	0.80	92.41	% ARENA:		41.82	D ₅₀	-
#4	4.75	23.22	0.84	91.57	% FINOS:		49.75	D ₆₀	0.17
PASANTE		2543.97	91.57		% ERROR:		0.20	C _u	-
SUMA		2778.60	100.00					C _c	-



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE GRANULOMÉTRICO ASTM D422 - 63

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
Sondeo: PCA-3 Caps: 2

Fecha: 12/03/2025
Elaboró: Ing. Armando Mata Vargas
Profundidad: 0.45 - 1.05 m

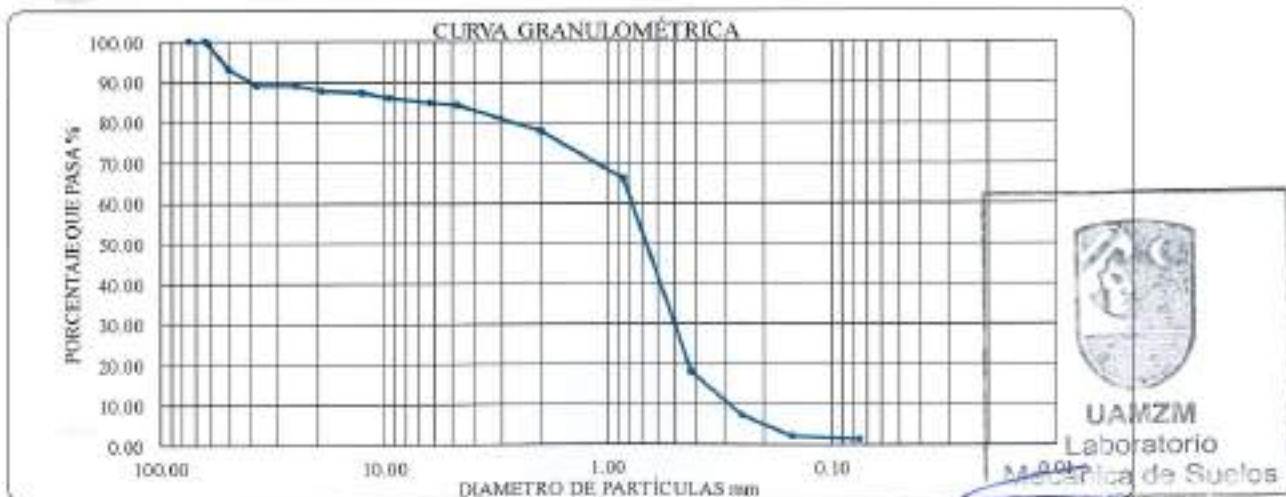
CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(SP) Arena mal graduada con grava color café, no plástica y humedad natural baja.

PESOS DE LAS MUESTRAS

MUESTRA SUELO SECO INICIAL g: 3635.18
MUESTRA REDUCIDA SIN LAVAR g: 200.00
MUESTRA REDUCIDA LAVADA g: 196.03

RETENIDO TAMIZ #4					PASANTE TAMIZ #4				
TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %	TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %
3"	75.00	0.00	0.00	100.00	#10	2.00	15.08	6.36	77.94
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	100.00	#20	0.85	28.23	11.90	66.04
2"	50.00	248.40	6.84	93.16	#40	0.43	114.25	48.15	17.89
1 1/2"	37.50	149.81	4.13	89.03	#60	0.25	25.40	10.71	7.18
1"	25.00	0.00	0.00	89.03	#100	0.15	12.02	5.07	2.12
3/4"	19.00	41.56	1.14	87.89	#200	0.075	1.60	0.67	1.44
1/2"	12.50	24.16	0.67	87.22	PASANTE		3.42	1.44	
3/8"	9.50	47.36	1.30	85.92	% GRAVA:		15.71	D ₆₀ :	0.29
1/4"	6.30	38.66	1.06	84.85	% ARENA:		82.83	D ₅₀ :	0.51
#4	4.75	20.30	0.56	84.29	% FINOS:		1.44	D ₁₀ :	0.78
PASANTE		3060.08	84.29		% ERROR:		0.13	C _u :	2.71
SUMA		3630.34	100.00					C _c :	1.14



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE GRANULOMÉTRICO ASTM D422 - 63

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
Localización: Cd. Ferrández, S. L. P.
Sondeo: PCA-3 Capa: 3

Fecha: 12/03/2025
Elaboró: Ing. Armando Mota Vargas
Profundidad: 1.05 - 1.20 m

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(ML) Limo arenoso color café, no plástico

PESOS DE LAS MUESTRAS	
MUESTRA SUELO SECO INICIAL g	2403.63
MUESTRA REDUCIDA SIN LAVAR g	200.00
MUESTRA REDUCIDA LAVADA g	62.99

RETENIDO TAMIZ #4					PASANTE TAMIZ #4				
TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %	TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %
3"	75.00	0.00	0.00	100.00	#10	2.00	0.30	0.15	99.81
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	100.00	#20	0.85	0.33	0.16	99.65
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	#40	0.43	1.48	0.74	98.91
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	100.00	#60	0.25	0.64	0.32	98.59
1"	25.00	0.00	0.00	100.00	#100	0.15	19.38	9.69	88.90
3/4"	19.00	0.00	0.00	100.00	#200	0.075	40.14	20.06	68.84
1/2"	12.50	0.00	0.00	100.00	PASANTE		137.73	68.84	
3/8"	9.50	0.00	0.00	100.00	% GRAVA:		0.04	D ₁₀	-
1/4"	6.30	0.00	0.00	100.00	% ARENA:		31.12	D ₃₀	-
#4	4.75	0.91	0.04	99.96	% FINOS:		68.84	D ₆₀	-
PASANTE		2398.20	99.96		% ERROR:		0.19	C _u	-
SUMA		2399.10	100.00					C _c	-



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE GRANULOMÉTRICO ASTM D422 - 63

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
Sondeo: PCA-4 Capa: 1

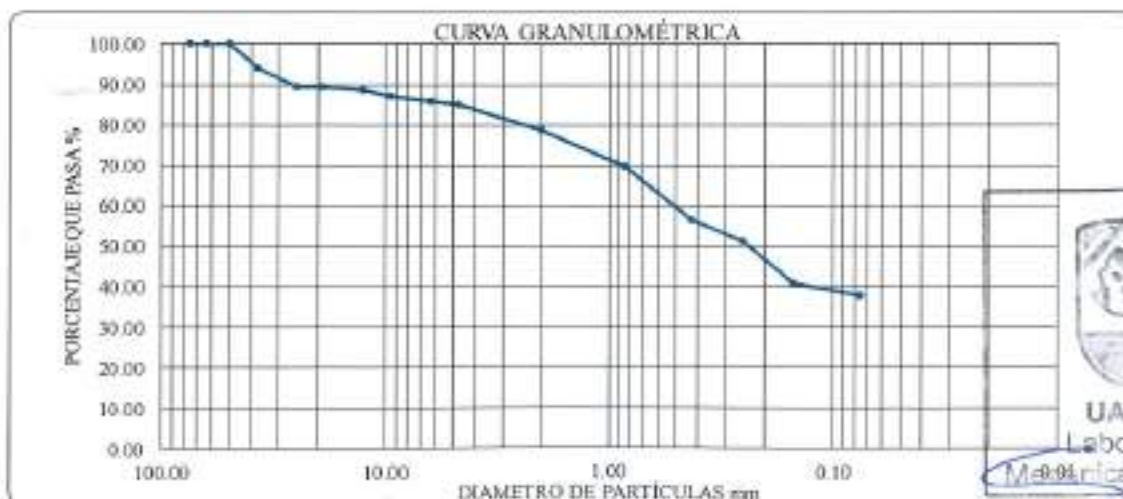
Fecha: 13/03/2025
Elaboró: Ing. Armando Miza Vargas
Profundidad: 0.00 - 1.00 m

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(SC) Arena arcillosa con grava color café amarillento oscuro, de baja plasticidad y humedad natural menor al límite plástico.

PESOS DE LAS MUESTRAS	
MUESTRA SUELO SECO INICIAL g:	1818.84
MUESTRA REDUCIDA SIN LAVAR g:	200.00
MUESTRA REDUCIDA LAVADA g:	112.64

RETENIDO TAMEZ #4					PASANTE TAMEZ #4				
TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %	TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %
3"	75.00	0.00	0.00	100.00	#10	2.00	14.99	6.37	78.64
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	100.00	#20	0.85	21.26	9.04	69.60
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	#40	0.43	30.89	13.13	56.47
1 1/2"	37.50	109.04	6.02	93.98	#60	0.25	12.51	5.32	51.15
1"	25.00	82.23	4.54	89.45	#100	0.15	24.66	10.48	40.67
3/4"	19.00	0.00	0.00	89.45	#200	0.075	7.35	3.12	37.55
1/2"	12.50	15.19	0.84	88.61	PASANTE		88.34	37.55	
3/8"	9.50	27.71	1.53	87.08	% GRAVA:		14.99	D ₁₀ :	-
1/4"	6.30	25.03	1.38	85.70	% ARENA:		47.46	D ₅₀ :	-
#4	4.75	12.51	0.69	85.01	% FINOS:		37.55	D ₆₀ :	0.51
PASANTE		1540.88	85.01		% ERROR:		0.34	C _u :	-
SUMA		1812.59	100.00					C _c :	-



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE GRANULOMÉTRICO ASTM D422 - 63

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
 Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
 Sondeo: PCA-4 Capa: 2

Fecha: 13/03/2025
 Elaboró: Ing. Armando Mata Vargas
 Profundidad: 1.00 - 1.40 m.

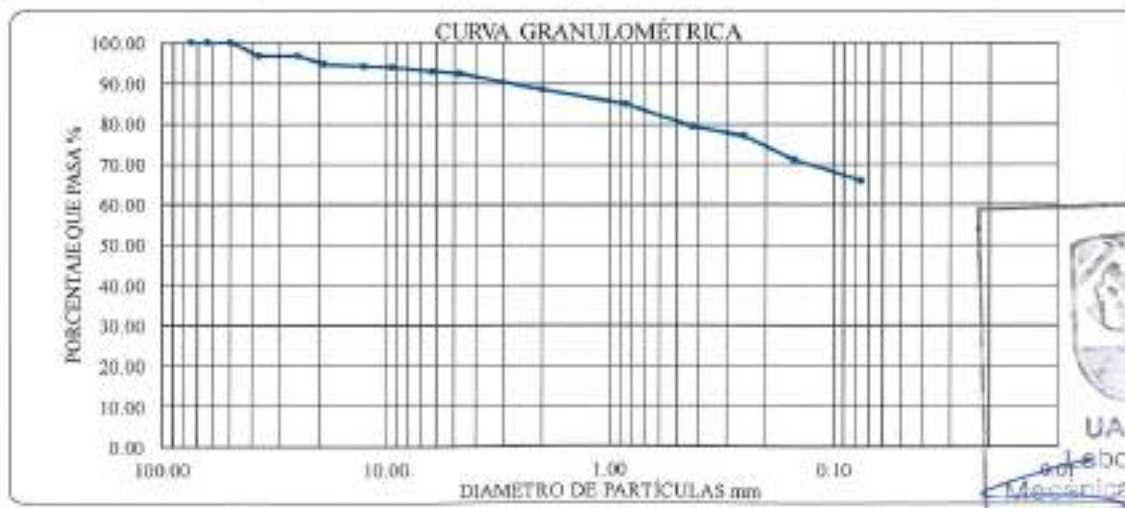
CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(CL) Arcilla mal gradada arenosa con grava color gris claro, de baja plasticidad y humedad natural menor al límite plástico.

PESOS DE LAS MUESTRAS

MUESTRA SUELO SECO INICIAL g: 1849.34
 MUESTRA REDUCIDA SIN LAVAR g: 200.00
 MUESTRA REDUCIDA LAVADA g: 57.65

RETENIDO TAMIZ #4					PASANTE TAMIZ #4				
TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %	TAMIZ	DIAMETRO mm	PESO RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	MATERIAL PASANTE %
3"	75.00	0.00	0.00	100.00	#10	2.00	8.57	3.96	88.50
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	100.00	#20	0.85	7.67	3.55	84.95
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	#40	0.43	11.84	3.47	79.48
1 1/2"	37.50	60.04	3.26	96.74	#60	0.25	5.00	2.31	77.17
1"	25.00	0.00	0.00	96.74	#100	0.15	13.24	6.12	71.04
3/4"	19.00	38.60	2.09	94.65	#200	0.075	11.03	5.10	65.95
1/2"	12.50	7.72	0.42	94.23	PASANTE		142.65	65.95	
3/8"	9.50	6.00	0.33	93.90	% GRAVA:		7.54	D ₅₀	-
1/4"	6.30	17.16	0.93	92.97	% ARENA:		26.51	D ₆₀	-
#4	4.75	9.44	0.51	92.46	% FINOS:		65.95	D ₈₅	-
PASANTE		1703.52	92.46		% ERROR:		0.37	C _u	-
SUMA		1842.44	100.00					C _c	-



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

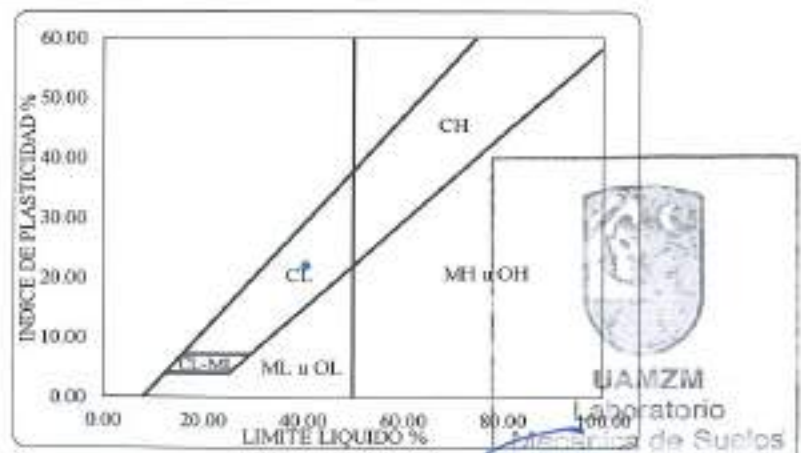
Proyecto:	<u>Ensayo de Mecánica de Suelos Calle Colón</u>	Fecha:	<u>18/03/2025</u>
Localización:	<u>Cd. Fernández, S. L. P.</u>	Elaboró:	<u>Ing. Armando Mata Vargas</u>
Sondeo:	<u>PCA-1</u> Capa: <u>1</u>	Profundidad:	<u>0.00 - 0.45 m</u>

LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO		
NÚMERO DE GOLPES	8	13	18	25	33			
NUMERO DE CAPSULA	90	41	37	7	5	B	71	90
PESO DE LA CAPSULA g	32.57	26.05	26.11	27.78	31.07	21.97	28.88	28.45
PESO DE LA CAPSULA + SUELO HUMEDO g	39.99	32.55	34.30	36.96	38.72	23.33	30.21	29.89
PESO DE LA CAPSULA + SUELO SECO g	37.73	30.63	31.89	34.32	36.53	23.12	29.99	29.66
PESO DEL AGUA g	2.26	1.92	2.41	2.64	2.19	0.21	0.22	0.23
PESO DEL SUELO SECO g	5.16	4.58	5.78	6.54	5.46	1.15	1.11	1.21
CONTENIDO DE AGUA, ω %	43.80	41.92	41.70	40.37	40.11	18.26	19.82	19.01



LIMITE LIQUIDO LL %	40.62
LIMITE PLASTICO LP %	19.03
INDICE DE PLASTICIDAD IP %	21.59

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL
CL



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA

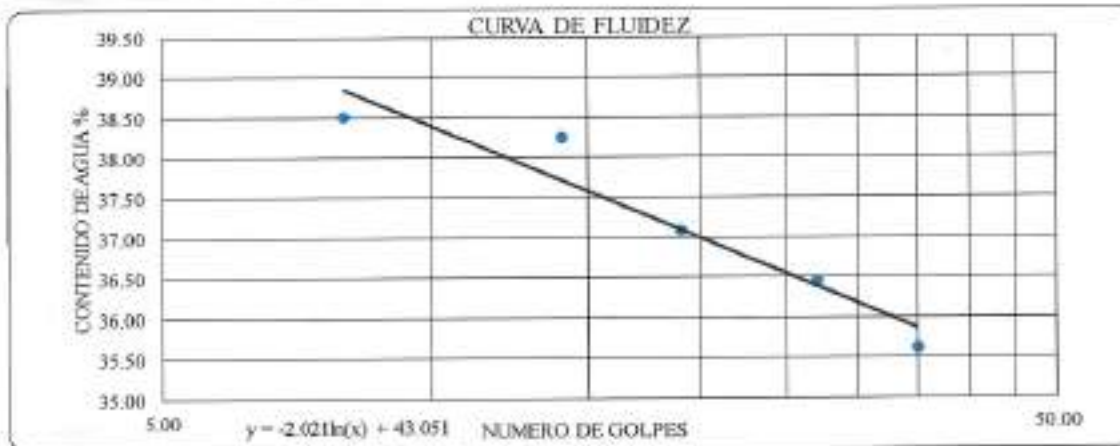


ENSAYE LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
 Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
 Sondaje: PCA-1 Capa: 2

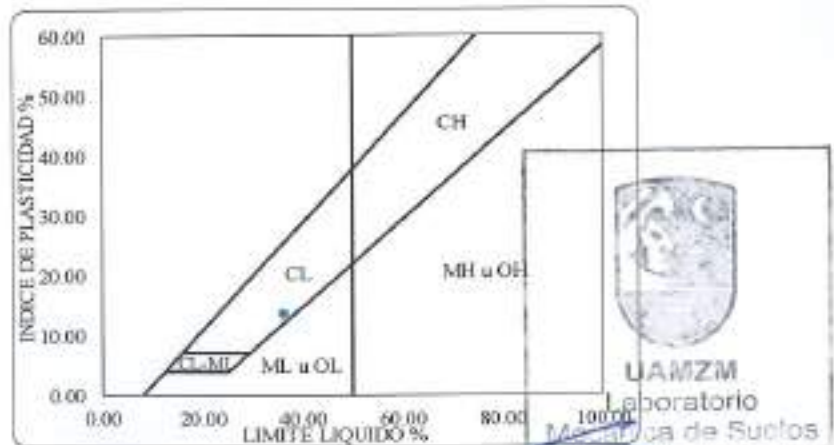
Fecha: 18/03/2025
 Elaboró: Ing. Armando Mata Vargas
 Profundidad: 0.45 - 0.70 m

	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO		
	8	14	19	27	35			
NÚMERO DE GOLPES	8	14	19	27	35			
NÚMERO DE CAPSULA	31	6	4	31-F	27	90	B	17
PESO DE LA CAPSULA g	23.76	27.37	24.11	24.09	24.12	28.44	21.96	28.86
PESO DE LA CAPSULA + SUELO HUMEDO g	33.04	35.14	30.69	32.55	31.05	29.89	23.38	30.44
PESO DE LA CAPSULA + SUELO SECO g	30.46	32.99	28.91	30.29	29.23	29.63	23.10	30.14
PESO DEL AGUA g	2.58	2.15	1.78	2.26	1.82	0.26	0.28	0.30
PESO DEL SUELO SECO g	6.70	5.62	4.80	6.20	5.11	1.19	1.14	1.28
CONTENIDO DE AGUA ω %	38.51	38.26	37.08	36.45	35.62	21.85	24.56	25.44



LIMITE LIQUIDO LL %	36.55
LIMITE PLASTICO LP %	23.28
INDICE DE PLASTICIDAD IP %	13.26

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL
CL



OBSERVACIONES: _____





UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
 Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
 Sonda: PCA-1 Capa: 3

Fecha: 19/03/2025
 Elabóó: Ing. Armando Mota Vargas
 Profundidad: 0.70 - 1.10 m

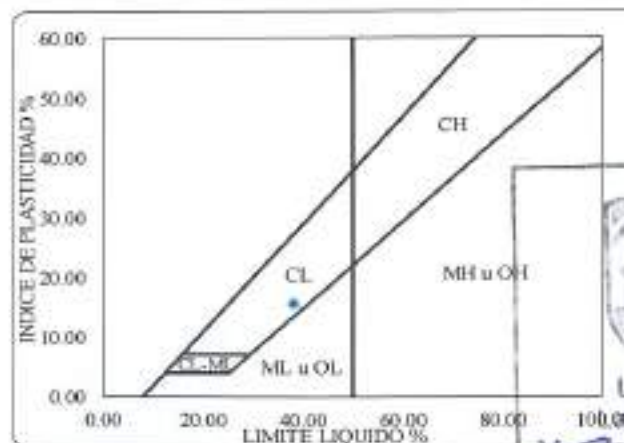
NÚMERO DE GOLPES	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO		
	6	12	17	22	28	71	B	90
NUMERO DE CAPSULA	6	7	5	90	27	71	B	90
PESO DE LA CAPSULA g	27.37	27.80	27.59	32.59	24.12	28.86	21.97	28.46
PESO DE LA CAPSULA + SUELO HUMEDO g	35.19	35.48	35.58	40.28	32.19	30.13	23.43	29.69
PESO DE LA CAPSULA + SUELO SECO g	32.89	33.28	33.33	38.14	29.95	29.90	23.14	29.46
PESO DEL AGUA g	2.30	2.20	2.25	2.14	2.24	0.23	0.29	0.23
PESO DEL SUELO SECO g	5.52	5.48	5.74	5.55	5.83	1.04	1.17	1.00
CONTENIDO DE AGUA ω %	41.67	40.15	39.20	38.56	38.42	22.12	24.79	23.00



LIMITE LIQUIDO LL %	38.46
LIMITE PLASTICO LP %	23.30
INDICE DE PLASTICIDAD IP %	15.16

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

CL



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
 Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
 Sondeo: PCA-1 Capa: 4

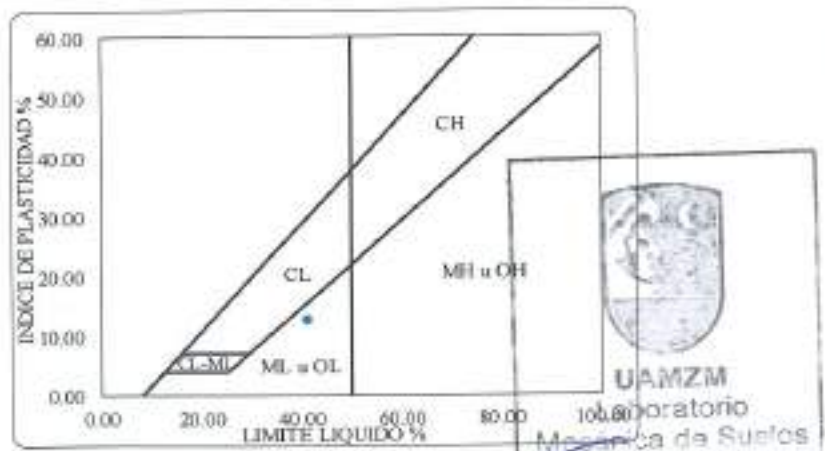
Fecha: 18/03/2025
 Elaboró: Ing. Armando Mata Vargas
 Profundidad: 1.10 - 1.50 m

NÚMERO DE GOLPES	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO		
	8	14	20	26	34	B	90	71
NÚMERO DE CAPSULA	31-F	7	41	27	37	B	90	71
PESO DE LA CAPSULA g	24.10	27.79	26.06	24.11	26.08	21.97	28.44	28.85
PESO DE LA CAPSULA + SUELO HUMEDO g	39.23	41.69	38.84	37.24	37.99	24.43	31.17	31.36
PESO DE LA CAPSULA + SUELO SECO g	34.51	37.56	35.05	33.40	34.54	23.88	30.56	30.79
PESO DEL AGUA g	4.72	4.13	3.79	3.84	3.45	0.55	0.61	0.57
PESO DEL SUELO SECO g	10.41	9.77	8.99	9.29	8.46	1.91	2.12	1.94
CONTENIDO DE AGUA ω %	45.34	42.27	42.16	41.33	40.78	28.80	28.77	29.38



LIMITE LIQUIDO LL %	41.42
LIMITE PLASTICO LP %	28.98
INDICE DE PLASTICIDAD IP %	12.44

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL
ML



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

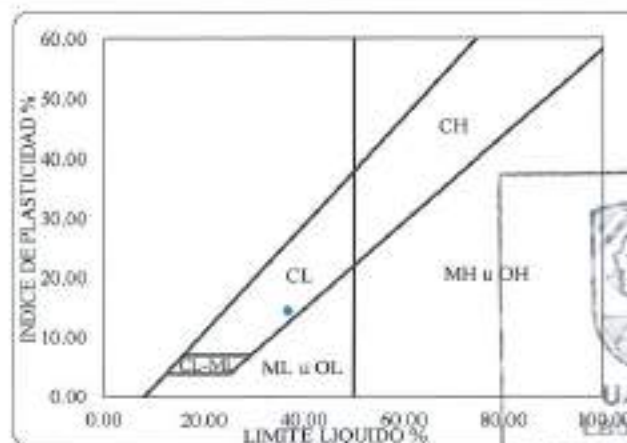
Proyecto:	Estudio de Mecánica de Suelos Calle Cokón	Fecha:	18/03/2025
Localización:	Cd. Fernández, S. L. P.	Elaboró:	Ing. Armando Mata Vargas
Sondeo:	PCA-2 Capa: 2	Profundidad:	0.40 - 0.65 m

NÚMERO DE GOLPES	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO		
	5	11	19	24	29			
NUMERO DE CAPSULA	6	41	15	37	31-F	90	71	B
PESO DE LA CAPSULA g	27.36	26.05	25.09	26.09	24.09	28.46	28.87	21.97
PESO DE LA CAPSULA + SUELO HUMEDO g	41.14	38.35	38.69	38.77	34.74	30.28	30.71	23.98
PESO DE LA CAPSULA + SUELO SECO g	37.01	34.86	34.96	35.34	31.87	29.92	30.37	23.63
PESO DEL AGUA g	4.13	3.49	3.75	3.43	2.87	0.36	0.34	0.35
PESO DEL SUELO SECO g	9.65	8.81	9.87	9.25	7.78	1.46	1.50	1.66
CONTENIDO DE AGUA ω %	42.80	39.61	37.79	37.08	36.89	24.66	22.67	21.08



LIMITE LIQUIDO LL %	37.04
LIMITE PLASTICO LP %	22.80
INDICE DE PLASTICIDAD IP %	14.24

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL
CL



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
 Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
 Sonda: PCA-2 Capa: 3

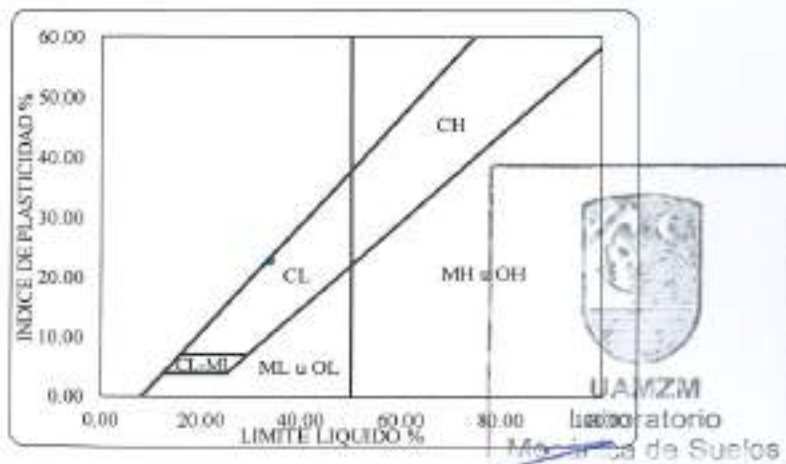
Fecha: 18/03/2025
 Elaboró: Ing. Armando Mata Vargas
 Profundidad: 0.65 - 1.00 m

NÚMERO DE GOLPES	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO		
	5	10	15	21	28	C	57	A
NUMERO DE CAPSULA	5	41	90	37	15			
PESO DE LA CAPSULA g	31.07	26.05	32.59	26.09	25.12	17.69	16.85	16.24
PESO DE LA CAPSULA + SUELO HUMEDO g	40.25	34.79	41.67	32.86	33.91	18.89	18.09	17.59
PESO DE LA CAPSULA + SUELO SECO g	37.56	32.37	39.29	31.11	31.65	18.76	17.97	17.44
PESO DEL AGUA g	2.69	2.42	2.38	1.75	2.26	0.13	0.12	0.15
PESO DEL SUELO SECO g	6.49	6.32	6.70	5.02	6.53	1.07	1.12	1.20
CONTENIDO DE AGUA ω %	41.45	38.29	35.52	34.86	34.61	12.15	10.71	12.50



LIMITE LIQUIDO LL %	34.33
LIMITE PLASTICO LP %	11.79
INDICE DE PLASTICIDAD IP %	22.55

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL
CL



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Proyecto:	Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón	Fecha:	18/03/2025
Localización:	Cd. Fernández, S. L. P.	Elaboró:	Ing. Armando Mata Vargas
Sondeo:	PCA-2 Capa 4	Profundidad:	1.00 - 1.40 m

NÚMERO DE GOLPES	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO		
	8	14	22	27	35	71	90	B
NUMERO DE CÁPSULA	C-14	H-1	4	90	5	71	90	B
PESO DE LA CÁPSULA g	51.26	46.16	24.12	32.59	31.04	28.86	28.44	21.96
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO HUMEDO g	61.77	54.64	31.80	39.56	37.98	30.17	29.88	23.17
PESO DE LA CÁPSULA + SUELO SECO g	56.87	50.77	28.33	36.45	34.89	29.85	29.48	22.88
PESO DEL AGUA g	4.90	3.87	3.47	3.11	3.09	0.32	0.40	0.29
PESO DEL SUELO SECO g	5.61	4.61	4.21	3.86	3.85	0.99	1.04	0.92
CONTENIDO DE AGUA ω %	87.34	83.95	82.42	80.57	80.26	32.32	38.46	31.52



LIMITE LIQUIDO LL %	81.50
LIMITE PLASTICO LP %	34.10
INDICE DE PLASTICIDAD IP %	47.40

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL
CH



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
 Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
 Sondas: PCA-4 Capa: 1

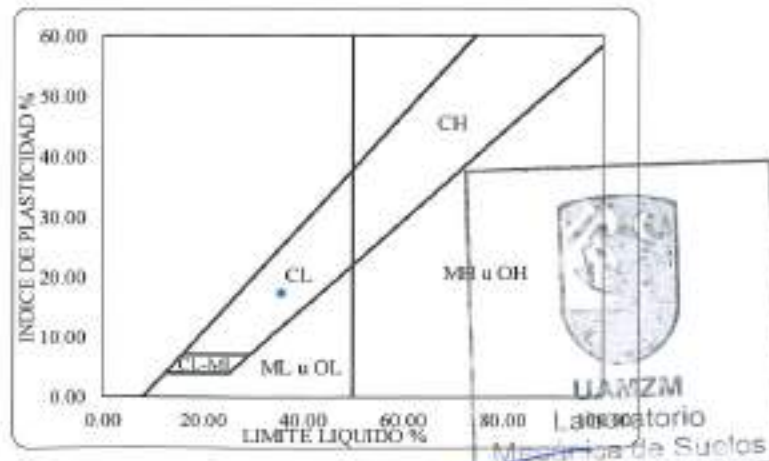
Fecha: 18/03/2025
 Elaboró: Ing. Armando Mata Vargas
 Profundidad: 0.00 - 1.00 m

NÚMERO DE GOLPES	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO		
	5	10	15	20	27	C	A	57
NUMERO DE CAPSULA	C-12	90	4	27	5	C	A	57
PESO DE LA CAPSULA g	18.56	32.57	24.10	24.12	31.04	17.66	16.25	16.85
PESO DE LA CAPSULA + SUELO HUMEDO g	29.71	41.67	32.78	33.51	39.91	19.10	17.52	18.02
PESO DE LA CAPSULA + SUELO SECO g	26.55	39.20	30.44	30.99	37.57	18.87	17.31	17.84
PESO DEL AGUA g	3.16	2.47	2.34	2.52	2.34	0.23	0.21	0.18
PESO DEL SUELO SECO g	7.99	6.63	6.34	6.87	6.53	1.21	1.06	0.99
CONTENIDO DE AGUA ω %	39.55	37.25	36.91	36.68	35.83	19.01	19.81	18.18



LIMITE LIQUIDO LL %	35.94
LIMITE PLASTICO LP %	19.00
INDICE DE PLASTICIDAD IP %	16.94

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL
CL



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Proyecto: Estudio de Mecánica de Suelos Calle Colón
 Localización: Cd. Fernández, S. L. P.
 Sonda: PCA-4 Capa: 2

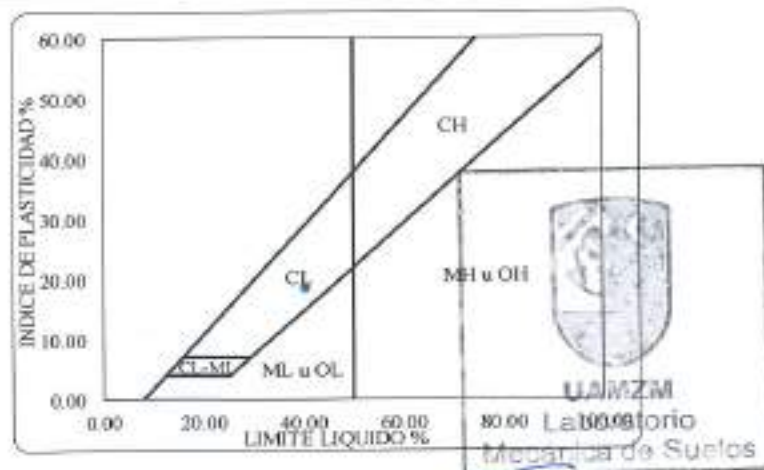
Fecha: 19/03/2025
 Elaboró: Inj. Armando Mata Vargas
 Profundidad: 1.00 - 1.40 m

NÚMERO DE GOLPES	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO		
	8	13	20	25	30	A	C	57
NUMERO DE CAPSULA	5	7	41	C-12	C-11			
PESO DE LA CAPSULA g	31.05	27.79	26.07	18.57	18.61	16.18	17.68	16.85
PESO DE LA CAPSULA + SUELO HUMEDO g	41.77	38.11	35.99	29.00	31.28	18.88	19.03	19.54
PESO DE LA CAPSULA + SUELO SECO g	38.56	35.05	33.08	26.00	27.65	18.39	19.52	19.05
PESO DEL AGUA g	3.21	3.06	2.91	3.00	3.63	0.49	0.41	0.49
PESO DEL SUELO SECO g	7.51	7.26	7.01	7.43	9.04	2.21	1.84	2.20
CONTENIDO DE AGUA ω %	42.74	42.15	41.51	40.38	40.15	22.17	22.28	22.27



LIMITE LIQUIDO LL %	40.64
LIMITE PLASTICO LP %	22.24
INDICE DE PLASTICIDAD IP %	18.40

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL.
CL



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA MEDIA



ENSAYE DE RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR) ASTM D1883-21

Proyecto: Estado de Mecánica de Suelos Calle Colón
 Localización: Cd. Fernández, S. L. P.

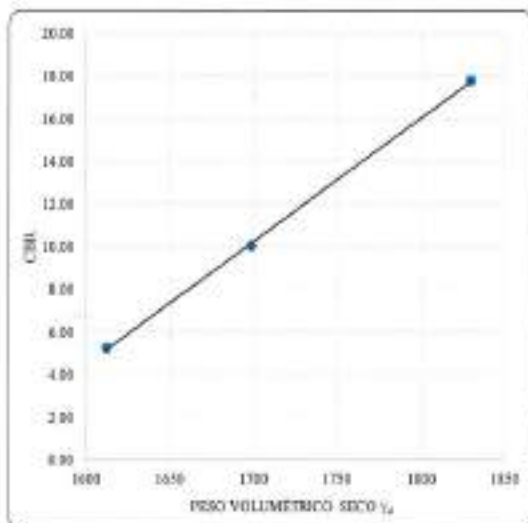
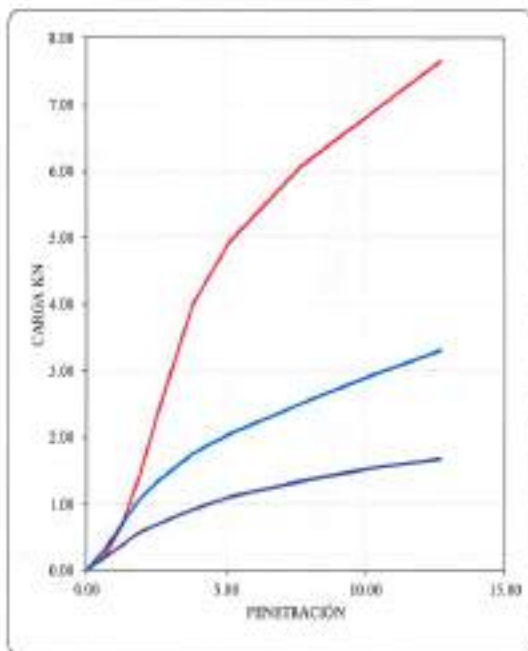
Fecha: 05/05/2025
 Elabóro: Ing. Armando Mata Vargas

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL

(SC) Arena arcillosa con grava, de baja plasticidad y humedad natural menor al límite plástico

RESULTADOS DE ENSAYE PORTER

Peso Volumétrico Seco Máximo (γ_{dmax})= 1.92 kg/m³
 Contenido de Agua Óptimo (w_{opt})= 13.08 %



Molde	4	7	5
Alura H_m (cm)	17.25	17.80	17.73
Diámetro D_m (cm)	15.25	15.26	15.27
Peso W_m (g)	7332.00	7239.00	7036.00
No. Capas	5	5	5
No. Golpes	56	25	30
Alura H_c (cm)	6.158	6.158	6.158
Peso mold + esp. comp. W_{mold} (g)	11723.00	11337.00	10893.00
Peso volumétrico húmedo γ_w (kg/m ³)	2073.30	1925.63	1814.45
Tara	CH	CH	CH
Peso Tara (g)	62.78	41.41	48.22
Peso Tara+SH (g)	195.29	153.64	201
Peso Tara+SS (g)	179.69	140.38	183.94
Contenido de Agua w %	13.34%	13.40%	12.57%
Peso volumétrico seco γ_d (kg/m ³)	1829.21	1698.12	1611.84
Peso mold + esp. sat. W_{mold} (g)	11889.00	11597.00	11205.00
Tara	CH	CH	CH
Peso Tara (g)	48.23	63.66	48.03
Peso Tara+SH (g)	187.64	289.36	156.89
Peso Tara+SS (g)	167.41	254.55	139.37
Contenido de Agua Saturado w_{sat} %	18.97%	18.24%	20.10%
Lectura inicial	2.25	2.00	2.10
Lectura final	-	5.11	3.60
Expansión %	-	2.67	1.34
Expansión promedio %	2.01		
Penetraciones (mm)	Cargas de Penetración (kN)		
0.00	0.00	0.08	0.00
0.64	0.23	0.32	0.20
1.27	0.70	0.72	0.39
1.91	1.44	1.08	0.57
2.54	2.37	1.34	0.70
3.81	4.01	1.77	0.92
5.08	4.94	2.05	1.11
7.62	6.06	2.51	1.34
10.16	6.86	2.93	1.54
12.70	7.67	3.32	1.69
$C_{12.5}$	2.37	1.34	0.70
$CBR_{12.5}$ (%)	17.78	10.93	5.22
$C_{1.18}$	4.94	2.05	1.11
$CBR_{1.18}$ (%)	24.68	10.25	5.55
CBR (%)	17.78	10.93	5.22

OBSERVACIONES: Falla del micrometro fijado en el tipo del espécimen correspondiente a 56 golpes por capa, la expansión promedio se hizo con los espécimen restantes





Universidad Autónoma de San Luis Potosí
 Facultad de Estudios Profesionales Zona Media
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales



ORDEN DE PAGO DE SERVICIO DE LABORATORIO

Orden No: P183

Cliente: L.M. Alejandro Simón Meléndez

Obra: Estudio de Mecánica de Suelos en Calle Cristóbal Colón de Calle C. B. Juárez
 García a Calle Hidalgo, en el Municipio de Cd. Fernández, S. L. P.

RFC: 0

Concepto a facturar: Estudio de Mecánica de Suelos

No.	Descripción	Unidad	Cantidad	PU	Importe
1	Trabajo de Campo	Lote	1	\$ 6,200.00	\$ 6,200.00
2	Trabajo de Laboratorio	Lote	1	\$ 13,000.00	\$ 13,000.00
3	Informe	-	1	\$ 3,072.00	\$ 3,072.00
Total					\$ 22,272.00



Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

025

