

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA CIVIL

TEMA:

“CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN LOS SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS CUNCHIBAMBA Y UNAMUNCHO, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

AUTOR: MARÍA MERCEDES TROYA JURADO

TUTOR: Ing. Favio Portilla Msc.

AMBATO-ECUADOR

2019

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de graduación, certifico que el presente Trabajo Experimental bajo el tema **“CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN LOS SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS CUNCHIBAMBA Y UNAMUNCHO, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, realizado por la Srta. María Mercedes Troya Jurado, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, previo a la obtención del título de Ingeniera Civil, se desarrolló bajo mi tutoría, es un trabajo personal e inédito, el cual se ha concluido de manera satisfactoria.

Ambato, noviembre del 2019



Ing. Favio Portilla Msc.
TUTOR DE TESIS

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, María Mercedes Troya Jurado, con C.I. 0504431578 Egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: **“CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN LOS SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS CUNCHIBAMBA Y UNAMUNCHO, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA”** es de mi competencia Autoría.



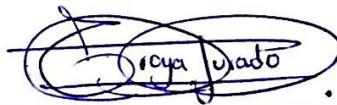
Egda. María Mercedes Troya Jurado

CI:0504431578

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución. Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora.



Egda. María Mercedes Troya Jurado

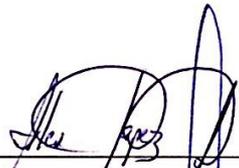
CI:0504431578

AUTOR

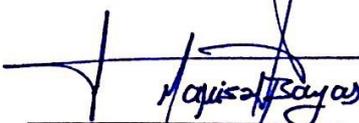
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el Informe de Investigación, bajo el tema: **“CORRELACIÓN ENTRE CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN LOS SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS CUNCHIBAMBA Y UNAMUNCHO, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, elaborado por María Mercedes Troya Jurado, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, diciembre 2019



Ing. Mg. Alex López



Ing. Mg. Marisol Bayas

DEDICATORIA

La culminación de este trabajo representa una etapa muy importante en mi vida, llena de muchos momentos de alegría y amor. Por lo que quiero dedicar este trabajo:

A Dios por bendecirme con una familia que ha estado a mi lado en todos los momentos de esta etapa, por poner en mi camino a buenas personas que han sido parte de este sueño.

A mi abuelita Mercedes (+), quien siempre ha estado a mi lado, por ser mi fuerza, mi motor y las ganas de continuar hasta llegar al final de esta meta.

A mis padres, por su ejemplo, por todo el apoyo y amor incondicional que me han brindado, por sus consejos y por enseñarme a nunca darme por vencida.

A mis hermanos Daniel y Sharloth, por ser parte importante de mi vida, por confiar en mí y brindarme su cariño para seguir adelante día a día.

A mi sobrino Elianth, por endulzarme la vida, con sus ocurrencias que alegran mis días.

A mi enamorado Daniel, por expresarme su amor y por siempre estar a mi lado en los buenos y malos momentos durante toda mi carrera.

Dios le pague por tanta dicha y felicidad que me han brindado

María Troya

AGRADECIMIENTO

A mi tutor, el Ing. Favio Portilla por su asesoramiento, su ayuda y su tiempo dedicado para la culminación de este trabajo.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por sus enseñanzas impartidas durante estos años de carrera universitaria.

A la Universidad Técnica de Ambato, por abrirme sus puertas y permitirme utilizar las instalaciones para lo consecución de esta meta.

A Walter Coque (+), por ayudarme a realizar los ensayos de laboratorio, y ser parte de este trabajo.

A mis amigos, por compartir momentos conmigo y estar presentes durante la carrera.

María Troya

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CAPITULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación.....	2
1.1.3 Fundamentación Teórica.....	4
1.1.3.1 Ubicación Geo-referenciada	4
1.1.3.2 Definiciones y clasificación de suelos	4
1.1.3.3 Exploración y muestreo	13
1.1.3.4 Relaciones fundamentales.....	14
1.1.3.5 Propiedades índice	17
1.1.3.6 Propiedades mecánicas	24
1.1.3.7 Pavimentos.....	28
1.1.3.8 Componentes de un pavimento flexible.....	30
1.1.3.9 Parámetros de diseño de un pavimento flexible	32
1.1.3.10 Teoría de correlación	44
1.1.3 Hipótesis.....	48
1.2 Objetivos.....	49
1.2.1 Objetivo General.....	49
1.2.2 Objetivos Específicos	49
CAPITULO II	50
METODOLOGÍA	50
2.1 Materiales y Equipos	50
2.2 Métodos	56
2.2.1 Nivel o tipo de Investigación	56
2.2.2 Plan de recolección de Datos	60
2.2.3 Plan de Procesamiento y Análisis de Información.....	61
CAPITULO III.....	63
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
3.1 Análisis y discusión de los resultados	63
3.2 Diseño de pavimento flexible método AASHTO 93.....	90
3.3 Verificación de hipótesis (según el proyecto de titulación aprobado)	102

CAPITULO IV.....	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
4.1 Conclusiones.....	103
4.2 Recomendaciones.....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3 Identificación de los Suelos por la SUCS	6
Tabla 4 Clasificación del suelo según la SUCS	7
Tabla 5: Clasificación del suelo según la AASHTO.....	9
Tabla 6: Clasificación del suelo según la AASHTO.....	9
Tabla 7 Clasificación del suelo por el tamaño de partículas según la norma AASHTO	10
Tabla 8 Clasificación del suelo por el tamaño de partículas según la SUCS.....	10
Tabla 9 Clasificación del suelo por el tamaño de partículas según la norma ASTM	10
Tabla 10: Valores Típico de Gravedad Específica.....	18
Tabla 11 : Estados de Consistencia definido por Atterberg.....	21
Tabla 12 Especificaciones de Próctor modificado y estándar.....	23
Tabla 13: Periodo de diseño según el tipo de carretera.....	33
Tabla 14:Factores de daño TF según el tipo de vehículo.....	34
Tabla 15:Factor de distribución carril	35
Tabla 16: Nivel de confiabilidad.....	36
Tabla 17: Nivel de confianza	36
Tabla 18: Índice de Serviciabilidad.....	37
Tabla 19: Capacidad de Drenaje	42
Tabla 20: Valores m_i para modificar los Coeficientes Estructurales, o capa de bases y Sub-bases sin tratamiento, en pavimentos flexibles.....	42
Tabla 1: Tabla de criterios de bondad de ajuste.....	45
Tabla 2: Ecuaciones generales del criterio de mínimos cuadrados.....	47
Tabla 21 Materiales y equipos de los ensayos	50
Tabla 22 Ubicación de calicatas.....	58
Tabla 23 Nomenclatura de las variables de ensayos	63
Tabla 24: Propiedades Índice del suelo.....	64
Tabla 25: Propiedades Mecánicas del suelo.....	65
Tabla 26: Correlaciones entre las propiedades del suelo	67
Tabla 27: Datos para el diseño de pavimentos.....	90
Tabla 28 Módulos de elasticidad y resiliencia de los materiales del pavimento	91
Tabla 29:Factores de daño TF según el tipo de vehículo.....	91

Tabla 30: Cálculo del ESAL	92
Tabla 31: Datos de ingreso al programa AASHTO 93	93
Tabla 32: Diseño del pavimento con CBR de laboratorio	97
Tabla 33: Propuesta espesores del pavimento.....	98
Tabla 35: Diseño del pavimento con CBR obtenido mediante la gráfica	101
Tabla 36: Espesores del pavimento.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Ilustración del aparato cono y arena	17
Fig. 2 Curva granulométrica de un suelo	20
Fig. 3 Instrumento Copa de Casagrande	22
Fig. 4 Determinación del índice CBR	25
Fig. 5 Curva DCP para una serie de valores.	26
Fig. 6 Esquema del Cono Dinámico de Penetración.....	27
Fig. 7 Sección Típica de un pavimento	30
Fig. 8 Ábaco para estimar el número estructural de la carpeta asfáltica “a1”	39
Fig. 9 Ábaco para estimar el número estructural de la capa base granular “a2”	40
Fig. 10 Ábaco para estimar el número estructural de la sub-base granular “a3”	41
Fig. 11 Capas de un pavimento flexible.....	43
Fig. 12 Curva de mejor ajuste a los putos de dispersión.....	47
Fig. 13 Georreferenciación de calicatas	59
Fig. 14 Representación granulométrica de los suelos	66
Fig. 15 Representación de las muestras en la carta de plasticidad.....	66
Fig. 16 Comparación entre ecuaciones que relacionan el CBR y DCP	89
Fig. 17 Interfaz del programa AASHTO.....	93
Fig. 18 Ábaco para estimar el número estructural a2.....	95
Fig. 19 Ábaco para estimar el número estructural a3.....	96
Fig. 20 Espesores del pavimento.....	98
Fig. 21 Relación entre el CBR vs DCP	99
Fig. 22 Cálculo de SN por medio del programa AASHTO, con el CBR mediante la gráfica.....	100

RESUMEN EJECUTIVO

Tema: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN LOS SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS CUNCHIBAMBA Y UNAMUNCHO, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA

Autor: María Mercedes Troya Jurado

Tutor: Ing. Favio Portilla Msc.

Se realizó un recorrido y exploración visual en las vías de las parroquias Cunchibamba y Unamuncho, donde se efectuó la excavación de 12 calicatas para realizar los ensayos de DCP (Penetrómetro Dinámico Estático) y densidad en situ, a continuación, se procedió a la toma de muestras que fueron necesarias para obtener los datos que proporcionan los ensayos de laboratorio que son: contenidos de humedad, granulometría, gravedad específica, límites de Atterberg, CBR, los mismos que fueron realizados en los Laboratorios de Ensayos de Materiales y Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Una vez culminados todos los ensayos, con los resultados obtenidos se procedió a clasificar el suelo, basados en las normas AASHTO, ASTM, y SUCS. Seguido a esto se realizó las correlaciones mediante el método de mínimos cuadrados donde se interpretó y analizó que el coeficiente r^2 sea superior al 50% para que se aceptable.

EXECUTIVE SUMMARY

Topic: CORRELATION BETWEEN THE CBR WHIT INDEX AND MECHANICALS PROPERTIES IN THE GRANULAR SOILS, OF THE CUNCHIBAMBA AND UNAMUNCHO PARISHES, AMBATO CITY. TUNGURAHUA PROVINCE

Author: María Mercedes Troya Jurado

Tutor: Ing. Favio Portilla Msc.

A visual exploration was carried out on the roads of Cunchibamba and Unamuncho, where 12 excavations were done in order to perform the DCP test (Static Dynamic Penetrometer) and field density; then, we proceeded to take the samples necessary to obtain the data provided by laboratory tests, which are: moisture contents, granulometric analysis, specific gravity, Atterberg limits and CBR, the same that were made in the Materials Testing and Soil Mechanics Laboratories of the Faculty of Civil and Mechanical Engineering of the Technical University of Ambato.

Once all the tests were completed, with the obtained results, the soil was classified, based on the AASHTO, ASTM, and SUCS standards. Afterwards, the correlations were made using the least square method; correlations with a r^2 coefficient greater than 50% were considered acceptable and were analyzed and interpreted

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Antecedentes

Varios investigadores en busca de mejorar la caracterización geotécnica y determinación de la resistencia de los suelos de una forma económica y rápida han llegado a efectuar correlaciones entre diferentes ensayos. La mayoría de estas correlaciones que se han establecido son entorno a la obtención del valor de CBR.

A continuación, se presenta una descripción de varias investigaciones donde se han realizado correlaciones que presentan validez entre los índice CBR y DCP.

El Dr. Kumar (2014) presenta un modelo de regresión múltiple lineal que fue desarrollado mediante estadísticas para determinar el valor de CBR utilizando factores como obtenido mediante ensayos de laboratorio como: densidad seca máxima, contenido de humedad optimo, limite líquido, limite plástico, índice de plasticidad, tipo de suelo, permeabilidad etc. [1]

El Instituto de Tecnología Meghand Saha (2011) presenta la finalidad de obtener valores de CBR para uso en el diseño de pavimentos flexibles e indica que dicho valor puede ser obtenido directamente en el laboratorio donde se han desarrollado múltiples intentos para obtener una correlación adecuada entre el valor de CBR y ensayos de los suelos compactados, se obtiene su validez después de un trabajo analítico de las correlaciones disponibles y así predecir el un valor del CBR mucho más cercano a la realidad. [2]

Dania Navarro y Francisco Gómez en Costa Rica (2004), establecieron correlaciones entre los resultados de los métodos alternativos y convencionales para determinar la resistencia y compactación del suelo, con ensayos como: penetración estándar (SPT), ensayo de CBR, densidad in-situ, cono dinámico, penetrómetro con anillo de carga y el compactómetro eléctrico. [3]

Otra investigación que se distingue es la realizada por Talal Al-Refeai y A. Al-Suhaibani en Arabia Saudita (1996), dado que el CBR no se puede determinar con facilidad en el campo, por esta razón buscan correlacionar resultados obtenidos con el ensayo DCP y CBR. En este estudio la profundidad de penetración del cono dinámico se correlaciona con el CBR obtenido en laboratorio donde se encontraron modelos únicos para cada tipo de suelo con un buen coeficiente de determinación R. [4]

1.1.2 Justificación

El estudio del suelo es importante para todo tipo de construcción, se lo puede definir como la capa superficial de la corteza terrestre, formada por la acción de agentes atmosféricos. Durante la construcción de vías, la exploración e investigación del suelo es fundamental tanto para determinar las propiedades índice y mecánicas. Una vez conocidas sus propiedades y comportamiento se puede diseñar estructuras que se ajusten a las condiciones específicas de cada suelo. [5]

El valor de CBR se usa para obtener el Módulo Resiliente del suelo (M_r), que es el parámetro fundamental utilizado en el diseño de cualquier estructura de pavimento convencional, representa la capacidad de soporte de un pavimento bajo la aplicación de cargas repetidas dinámicas como las aplicadas por las ruedas de los vehículos bien sea para vías de altos o bajos volúmenes de tránsito, este parámetro, junto con las características del nivel de tránsito, propiedades de los materiales de las capas, entre otras, determinan los espesores de las diferentes capas que conforman la estructura de pavimento.

La correlación utiliza técnicas estadísticas e instrumentos estructurados para la recolección de información, con el propósito medir el grado de relación entre dos o más variables. [6] Las correlaciones entre CBR y las diferentes propiedades índice son parámetros muy importantes que deben ser evaluados, [2] debido a los altos costos y tiempo se ha visto conveniente la aplicabilidad de correlaciones que deben ser sustentadas para su aceptación, con la finalidad de proponer una fuente confiable que permita adaptarse de manera rápida y segura a suelos de diferentes lugares. [7]

El estudio realizado por Araujo aplica una correlación lineal simple y múltiple, muestra que el contenido de grava y contenido óptimo de y humedad presentan una buena correlación lineal simple con el CBR ($R= 0.84$ y 0.81 respectivamente). Así mismo, la máxima densidad seca y el contenido de grava son directamente proporcionales al CBR, mientras que el contenido de arena, arcillas y limos, los límites de consistencia y el contenido máximo de humedad lo son de modo inverso. Finalmente indica que la correlación múltiple tiene mayor aproximación que la correlación simple por lo que ningún parámetro analizado individualmente es determinante para hallar el CBR. [8]

Los suelos granulares por lo general son producto de una meteorización mecánica, [9]es decir de la desintegración de una roca en partículas menores sin ningún tipo de alteración química, formados por partículas de agregados con poca o sin cohesión. [7]Las características principales de este tipo de suelos es que tienen buena capacidad portante y alta permeabilidad, lo que permite una rápida evacuación del agua en presencia de cargas externas. [10]

Con estos antecedentes el fin de la presente investigación es obtener las correlaciones entre el CBR de laboratorio y las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de las parroquias Cunchibamba y Unamuncho. Con esto se complementa el estudio macro de las propiedades de los suelos de las parroquias rurales del cantón Ambato, y que de esta manera la obtención del CBR sea más rápida y a un costo

moderado, ya que este valor es uno de los principales factores en el diseño de un pavimento flexible.

1.1.3 Fundamentación Teórica

1.1.3.1 Ubicación Geo-referenciada

La localización geográfica es necesaria para ubicar donde se pretende llevar a cabo un proyecto dentro del ámbito de la ingeniería. La ubicación de este proyecto tiene como georreferenciación en coordenadas UTM, con un datum (WGS 84 Zona 17 Sur) ubicada en la provincia de Tungurahua.

1.1.3.2 Definiciones y clasificación de suelos

Origen de los suelos

Proviene de un proceso llamado meteorización referente a la alteración física y química de las rocas más superficiales de la corteza terrestre, los mismos que pueden diferenciarse en función del tamaño de sus partículas que lo componen, de acuerdo con su composición y formación mineralógica tiene diversas características, por esta razón cuenta con distintos comportamientos, propiedades índice y mecánicas que mediante ensayos nos permiten clasificar el mismo. [13]

Definición de Suelo

Constitución de partículas provenientes de la desintegración y alteración física y/o química de las rocas debido a la acción de los agentes atmosféricos, produciendo la formación de nuevos minerales dentro de la masa pétreas situada sobre la corteza terrestre.

Para fines de construcción la palabra suelo se define como todo material terroso, que va desde un relleno de desperdicio hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves, donde el agua es considerada como parte integral del suelo y juega un papel muy importante en el comportamiento mecánico del mismo. [14] [15]

Mecánica de suelos

s un fruto característico de la ingeniería, a principios del año 1913, en los Estados Unidos y Suecia, se intentó por primera vez realizar estudios para el tratamiento de los suelos, poco después Karl Terzaghi publicó en 1925 su Mecánica de suelos en Viena y desde allí nació el termino actualmente usado. [15]

La mecánica de suelos se ha convertido en una rama diferente y separada a la ingeniería mecánica, ya que los suelos tienen una serie de propiedades, es el material más viejo y complejo de construcción. Para distinguir un material de otro la aplicación de la mecánica de suelos es esencial para la ingeniería civil, ya que todas las estructuras requieren de una base sólida para transferir sus cargas.

Clasificación de los suelos

La mecánica de suelos desarrollo diferentes sistemas de clasificación por la infinita variedad que se presentan en la naturaleza, donde el sistema que sobresale es aquel que toma en cuenta todas las características mecánicas de los suelos, ya que estas propiedades son fundamentales para aplicaciones ingenieriles.

El sistema AASTHO es utilizado principalmente para la evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para la construcción de carreteras. Estudios realizados por el Dr. Arturo Casagrande en la Universidad de Harvard en el año 1942,

ayudaron en gran parte para que se pudiera establecer un sistema de clasificación de suelos que satisficiera los distintos campos de aplicación de la Mecánica de Suelos.

Estos estudios dieron origen al llamado Sistema de Clasificación de Aeropuertos durante la segunda guerra mundial. Diez años más tarde, este sistema fue modificado por Bireau of Reclamation, para dar origen al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el mismo que fue adoptado por el cuero de ingenieros del ejército de los Estados Unidos y posteriormente a otras organizaciones como ASTM (American Society of Testing Material). [13]

Tabla 1 Identificación de los Suelos por la SUCS

Tipo de Suelo		Característica del Suelo	
Símbolo	Definición	Letra	Definición
G	Grava	P	Pobremente graduado (partículas uniformes)
S	Arena	W	Bien graduado (tamaño de partículas diversos)
M	Limo	H	Alta plasticidad
C	Arcilla	L	Baja plasticidad
O	Orgánico		

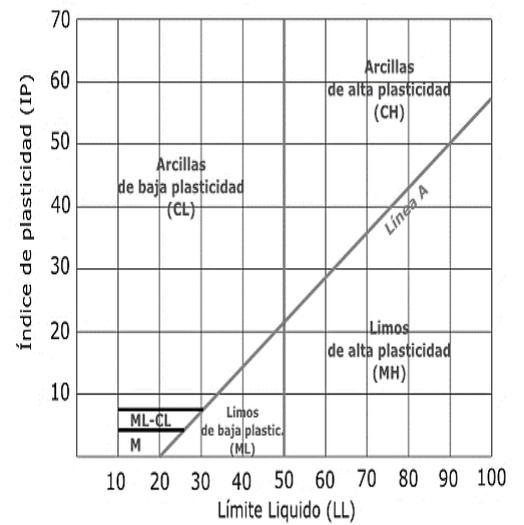
Fuente: SUCS, Sistema Unificado de clasificación de Suelos

Tabla 2 Clasificación del suelo según la SUCS

DIVISIONES PRINCIPALES			Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO			
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% ->GW,GP,SW,SP. >12% ->GM,GC,SM,SC. 5 al 12% ->casos límite que requieren usar doble símbolo.	$C_u = D_{60}/D_{10} > 4$ $C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3		
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.		
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$.	Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.	
			GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.		
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		$C_u = D_{60}/D_{10} > 6$ $C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3		
			SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.		
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$.	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.	
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.		
	SUELOS DE GRANO FINO Más de la mitad del material pasa por el tamiz	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50		ML		Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con		

número 200.			ligera plasticidad.
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
		OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.
	Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.
		CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.
		PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.
Suelos muy orgánicos			

Gráfica de plasticidad del USCS



Fuente: SUCS, Sistema Unificado de clasificación de Suelos

Tabla 3: Clasificación del suelo según la AASHTO

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N.º 200)						
Grupo:	A-1		A-3	A-2-4			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Porcentaje que pasa:							
Nº 10 (2mm)	50 máx	-	-	-			
Nº 40 (0,425mm)	30 máx	50 máx	51 mín	-			
Nº 200 (0,075mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx			
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40							
Límite líquido	-		No	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad	6 máx		plástico	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			
Características como sub-grado	Excelente a bueno						

Fuente: AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials

Tabla 4: Clasificación del suelo según la AASHTO

Clasificación	Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)			
Grupo:	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
% que pasa: Nº 10 (2mm)				
Nº 40 (0,425mm)				
Nº 200 (0,075mm)	36 min	36 min	36 min	36 min
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40				
Límite líquido	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)
Índice de plasticidad	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Constituyentes principales	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como sub-grado	Pobre a malo			

Fuente: AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials

A continuación, se presenta la clasificación de las partículas según el tamaño, mediante las normas AASHTO, SUCS Y ASTM.

Tabla 5 Clasificación del suelo por el tamaño de partículas según la norma AASHTO

Tipo de Suelo	Tamaño mínimo (mm)	Tamaño máximo (mm)
Bloques	75	-
Grava	2.00	75
Arena	0.075	2.00
Limo	0.005	0.075
Arcilla	0.001	0.005

Fuente: AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials

Tabla 6 Clasificación del suelo por el tamaño de partículas según la SUCS

Tipo de Suelo	Tamaño mínimo (mm)	Tamaño máximo (mm)
Bloques	300	-
Bolos	75	300
Grava	4.76	75
Arena	0.075	4.76
Limo	0.002	0.075
Arcilla		0.002

Fuente: SUCS, Sistema Unificado de clasificación de Suelos

Tabla 7 Clasificación del suelo por el tamaño de partículas según la norma ASTM

Tipo de Suelo	Tamaño mínimo (mm)	Tamaño máximo (mm)
Grava	4.76	75
Arena Gruesa	2.00	4.76
Arena Media	0.042	2.00
Arena Fina	0.075	0.42
Limo	0.005	0.075
Arcilla	0.001	0.005
Coloides	-	0.001

Fuente: ASTM, Sociedad Americana de Ensayo de Materiales

Suelos granulares

Este tipo de suelo también es conocido como friccionante, formados por partículas de gran tamaño que no tienden a juntarse ni adherirse y no presentan cohesión. Su origen obedece fundamentalmente a procesos de meteorización física, poseen buena capacidad portante y elevada permeabilidad, permiten un drenaje proporcional al tamaño de las partículas. [13]

Dentro de estos suelos se encuentran las gravas y arenas cuyas características mecánicas son determinadas por su módulo de compresibilidad y ángulo de rozamiento interno entre partículas.

Gravas

Acumulación de material suelto con diámetro superior a 2 mm y menor a 75 mm, Las características de este material dependen del ángulo de rozamiento interno módulo de compresibilidad, suelen encontrarse en ríos, lechos, depresiones de terrenos rellenas por acarreo de los ríos, por tal razón sufren desgaste en sus aristas cuando son arrastradas por el agua. [14]

Arenas

Material de granos finos con diámetro menor a 2mm y mayor a 0.05mm, producido por la denudación de roca o de su trituración artificial, su origen es similar al de las gravas, una de las propiedades de las arenas estando limpias es que se no contraen al secarse, no son plásticas y al momento de aplicar una carga en su superficie esta se comprime de manera inmediata. [14]

Suelos cohesivos

El tamaño de este tipo de suelo es inferior a 0.08 mm, la cohesión es la principal propiedad mecánica de este suelo, se define como la fuerza interparticular producida por el agua de constitución del suelo, siempre y cuando este no esté saturado.

Dentro de estos suelos existe una subdivisión de limos muy finos y arcillas compuestas por partículas microscópicas procedentes de la meteorización química de rocas, la diferencia de limos y arcillas son sus propiedades plásticas. [13]

Limos

Suelos de granos finos con diámetro comprendido entre 0.05 mm y 0.005 mm, con poca o ninguna plasticidad como se explica en el cuadro a continuación.

limos orgánicos. No es adecuado para soportar cargas a través de las zapatas, tiene un color que varía desde gris claro a muy oscuro, su permeabilidad es muy baja y compresibilidad alta. limos inorgánicos. Producido por la trituración de gravas. limos sueltos y saturados. - son completamente inadecuados para transmitir cargas, por esta razón son considerados suelos pobres para cimentar. [14]

Arcillas

Suelo formado por partículas sólidas cuya dimensión es menor a 0.005mm, tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. Su estructura es cristalina y complicada, sus átomos se encuentran dispuestos en forma laminar. Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, en ocasiones tiene silicatos de hierro o de magnesio

hidratados. Otras entidades consideran como arcillas a las partículas menores a 0.002 mm. [14]

Loess

Sedimentos eólicos uniformes poseen cohesión producida por un cementante de tipo calcáreo, son originados por la degradación de partículas, su color es castaño claro amarillento y carece de estratificación. El tamaño de sus partículas varía entre 0.01mm y 0.05mm y son transportados por vientos fuertes. [14]

Rellenos

Todo depósito de escombros procedentes de demoliciones, no pueden ser considerados como terrenos aptos para construcción, posee un comportamiento mecánico malo, al no ser compactado presenta altos índices de compresibilidad y presencia de asentamientos excesivos e impredecibles.

1.1.3.3 Exploración y muestreo

Pozo a cielo abierto

El pozo a cielo abierto conocido también como calicatas permite observar las condiciones del subsuelo para poder evaluar un perfil de suelo completamente natural, para ello es necesario que tenga una dimensión 1.50 m x 1.50 m con la profundidad requerida para que un técnico que tenga los conocimientos necesarios para distinguir la naturaleza del suelo “in situ” pueda directamente bajar y examinar los diferentes estratos. De estos pozos se puede tomar muestras alteradas o inalteradas de los estratos encontrados. [15]

Muestras alteradas

Son porciones del suelo que se protegerán contra pérdidas de humedad, su estructura interna del suelo llega a sufrir una alteración, es decir, puede contener estratos determinados y a la vez la suma de algunos de ellos. Estas muestras pueden ser utilizadas para realizar análisis granulométrico, límites de Attemberg, pruebas mecánicas etc, son tomadas con cualquier herramienta de mano y se deben guardar en bolsas impermeables. [15]

Muestras inalteradas

Las muestras son recortadas de las paredes de los pozos y se deben tomar con precauciones, protegerse contra pérdidas de humedad envolviéndola en varias capas de manta debidamente impermeabilizada con brea y parafina, [15] ya que estas muestras contienen estratos bien definidos que deben extraerse apenas se realice la calicata, en especial los suelos donde cuya estructura se ve afectada por los cambios de humedad.

1.1.3.4 Relaciones fundamentales

Para el cumplimiento de la vida útil de una estructura es necesario conocer el tipo de suelo, características, propiedades entre otros.

Contenido de humedad w%

Propiedad física que expresa el porcentaje de agua que contiene un suelo, es la relación del peso de agua contenida y su fase sólida. El agua contenida en el suelo afecta el

comportamiento y resistencia de este, por esta razón es necesario e importante determinar su porcentaje, para lo cual se presenta la siguiente ecuación. [15]

$$W = \frac{W_{\omega}}{W_s} * 100$$

Donde

ω =Contenido de humedad

W_{ω} =Peso del agua

W_s =Peso de sólidos

Relación de vacíos e

Relación que existe entre el volumen de vacíos y el volumen de los sólidos, determina el porcentaje de suelo que se encuentra compactado. Los valores bajos representan un grado alto de suelo compacto y los valores altos un suelo suelto, se determina de acuerdo con la siguiente ecuación. [15]

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Donde:

e = Relación de vacíos

V_v =Volumen de vacíos

V_s =Volumen de sólidos

Porosidad n

Relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de su masa, un porcentaje alto indica gran cantidad de vacíos, un porcentaje bajo representa que el suelo se encuentra perfectamente consolidado. [15]

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

Donde:

n= Porosidad

V_v =Volumen de vacíos

V_s = Volumen total de la masa de suelo

Grado de saturación de agua G_w%

Es la relación existente entre el volumen de agua y el volumen de los vacíos. Esta relación indica el porcentaje de agua existente en un suelo, es así como un porcentaje bajo como 0% representa un suelo seco y un porcentaje alto cercano a 100% indica que el suelo se encuentra muy saturado de agua. El grado de saturación de agua se determina de acuerdo con la siguiente ecuación: [15]

$$G_w = \frac{V_\omega}{V_s} * 100$$

Donde

G_w=Grado de saturación del agua

V_ω =Volumne de agua

V_v = Volumen de vacíos

Grado de saturación de aire G_a%

Es la relación que existe entre el volumen del aire con respecto al volumen de los vacíos. Los porcentajes indicados en esta relación representan el grado de consolidación de un suelo, es así que un bajo porcentaje demuestra alta consolidación y un alto porcentaje de aire una baja consolidación. El grado de saturación de aire se determina de acuerdo con la siguiente ecuación: [15]

$$G_a = \frac{V_a}{V_v} * 100$$

Donde:

G_w=Grado de saturación del aire

V_ω = Volumen del aire

V_v = Volumen de vacíos

1.1.3.5 Propiedades índice

Nos permiten identificar y clasificar los diferentes tipos de suelos para lo cual es necesario realizar ensayos in Situ y laboratorio con muestras representativas.

Densidad de campo (cono y arena)

Norma: AASHTO T 191

Utilizado por primera vez por el cuerpo de ingeniero de U.S.A. y acogido por las normas ASTM y AASTHO, representa una forma indirecta de obtener el volumen del agujero realizado en campo, es un ensayo destructivo cuyo propósito es obtener el peso unitario in-situ y determinar qué porcentaje de compactación en el terreno sea el óptimo. La aplicación del método está dirigido a materiales que no contenga agregados mayores a 38 mm. El peso unitario húmedo se calcula como:

$$\gamma_{hum} = \frac{\text{Peso del suelo}}{\text{Volumen del hoyo}}$$

El instrumento cono y arena es compuesto por tres partes principales, cono metálico, frasco contenedor de arena, base, como se muestra a continuación. [16]

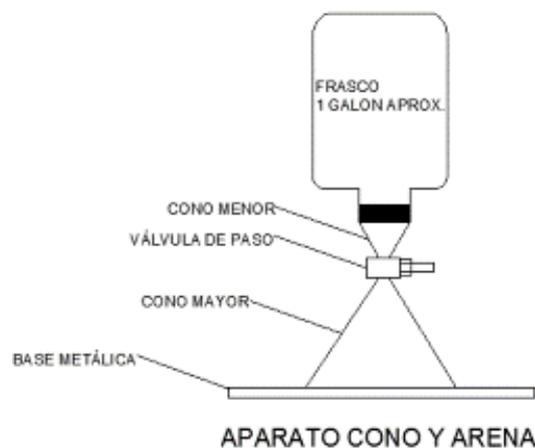


Fig. 1 Ilustración del aparato cono y arena

Fuente: Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo

Gravedad Específica

Norma: AASHTO T 100-70

La gravedad específica G_s de un suelo sin ningún tipo de clasificación, se toma con el valor promedio para los granos del suelo. Es necesario para calcular la relación de vacíos y consiste en obtener el volumen de un peso conocido de granos de suelo y dividirlo por el peso del mismo volumen de agua destilada a 20°C. [17]

Tabla 8: Valores Típico de Gravedad Específica

Tipo de Suelo		Gravedad específica (G)
Inorgánico	Grava	2,65
	Arena gruesa a media	2,65
	Arena fina	2,65
	loess, polvo de piedra y limo arenoso	2,67
	Arena algo arenosa	2,65
	Limo arenoso	2,66
	Limo	2,67 - 2,70
	Arena arcillosa	2,67
	Limo arcilloso arenoso	2,67
	Arcilla arenosa	2,7
	Arcilla limosa	2,5
	Arcilla	2,72 - 2,80
Orgánico	Limos con trazos de materia orgánica	2,3
	Lodos aluviales orgánicos	2,13 - 2,60
	Turba	1,5-2,15

Fuente: Djoenaidi (1985) apud Bardet, 1997)

Contenido de humedad natural

Norma: AASHTO T 87-70

Ensayo que nos permite conocer la cantidad de agua en condiciones naturales existente en una masa de suelo en términos de su peso en seco. Este análisis se realiza en el laboratorio mediante el secado de muestras en un horno, cuyo resultado se expresa en porcentaje. [15]

Las muestras para el ensayo deben ser tomadas rápidamente y trasladarlas en un recipiente sellado para que no pierda su humedad natural hasta llegar al laboratorio.

Granulometría

NORMA: AASHTO T 88 2013

Se utiliza una serie normada de tamices con abertura decreciente, donde se hace pasar una cantidad determinada de suelo para que las partículas de tamaño superior a cada tamiz queden retenidas en cada uno. La finalidad de este ensayo es determinar la cantidad de los distintos tamaños de suelo en un porcentaje para el conocimiento de la composición granulométrica utilizando el tamizado, para así obtener el tamaño de las partículas en las abscisas, en las ordenas y escala logarítmica se ubica porcentaje en peso de la muestra retenida en cada tamiz. [17]

La curva nos provee información acerca del comportamiento del suelo. Una curva que presenta picos y tramos planos en tamices sucesivos, indica una variación de tamaños pobre y se habla de un suelo mal graduado. Donde todos los tamices contienen partículas se presenta una curva continua y se denomina suelo bien graduado. [13]

Allen Hazen propuso el coeficiente de uniformidad, donde su valor numérico decrece cuando la uniformidad aumenta, los suelos que poseen un valor menor a tres se consideran muy uniformes. Para definir la gradación del suelo también es necesario el coeficiente de curvatura que tiene un valor entre 1 y 3 en suelos bien graduados. El tamaño máximo nominal de un agregado es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal puede retener de 5% a 15% del del agregado dependiendo del número de tamaño. [15]

$$\text{Coeficiente de uniformidad} \quad C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$\text{Coeficiente de curvatura} \quad C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

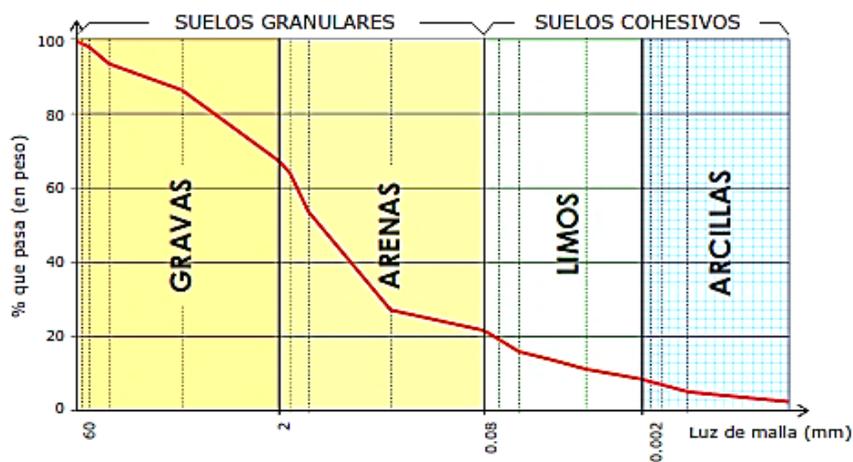


Fig. 2 Curva granulométrica de un suelo

Fuente: Manual de Carreteras Tomo II

Límites de Atterberg

Atterberg fue el primero en relacionar el grado de plasticidad del suelo con su contenido de agua, expresado en función del peso seco de la muestra, proporcionando límites que caracterizan los estados de consistencia, los mismos permiten una identificación rápida del suelo y permiten conocer la calidad de la fracción fina.

Los estados de limite líquido y limite plástico presentan una drástica reducción de su capacidad portante y elevada deformabilidad del suelo, el interés se centra en determinar el intervalo de humedad donde el suelo se comporta de manera plástica

Tabla 9 : Estados de Consistencia definido por Atterberg

Estado del suelo	Característica
Líquido	Propiedades y apariencia de una suspensión
Semilíquido	Propiedades de fluido viscoso
Plástico	Comportamiento plástico
Semisólido	Apariencia de sólido, reducción de volumen, sujeto a secado.
Sólido	No varía el volumen

Fuente: Autoría propia

Índice de plasticidad

Se denomina índice de plasticidad a la diferencia que existe entre el limite líquido y limite plástico, indicando en margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico. El índice plástico depende generalmente de cantidad de arcilla que posee el suelo. [14] A continuación, se presenta la carta de Casagrande para suelos cohesivos donde la línea inclinada A es la frontera entre arcillas y limos. La línea vertical B separa un material de alta plasticidad con uno de baja plasticidad. La línea U representa el límite superior. (Das, 2001)

Límite líquido (Copa de Casagrande)

Norma: AASHTO T 89

Limite líquido (LL) se define como la humedad con la que un surco que separa dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de unos 13 mm, cuando se deja caer la cuchara de Casagrande 25 veces desde una altura de 1 cm. [18]

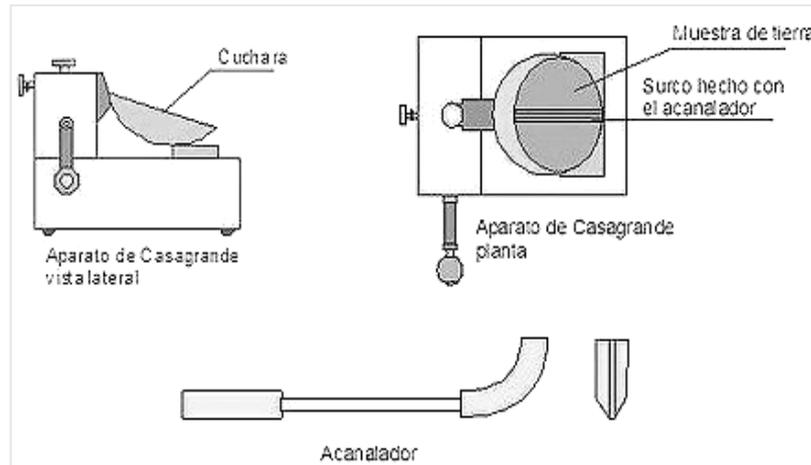


Fig. 3 Instrumento Copa de Casagrande

Fuente: Instituto tecnológico de Lleida

Límite plástico LL

Norma: AASHTO T 90

El Límite plástico (LP) se define como la humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra seca al horno, donde los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico donde su muestra sea totalmente moldeable para formar filamentos cuyo diámetro sea de 3.17 mm para rodillar que se produzca la rotura. Los suelos que no pueden ser rodillados bajo ningún contenido de humedad se consideran como no plásticos. [14]

Proctor Modificado

Norma: AASHTO T 180

Existen dos tipos de Próctor normalizados:

- Ensayo Próctor Standard
- Ensayo Próctor Modificado

El Próctor modificado es una reforma del Próctor Estándar debido al desarrollo e incremento de cargas en las vías. Este ensayo nos permite determinar la máxima densidad seca y el contenido de humedad óptimo que da el peso volumétrico seco más alto. Consiste en compactar una muestra de suelo en un cilindro de volumen conocido, arrojando resultados que relacionan la humedad y la densidad seca máxima. Difiere del primer método por el peso del martillo, altura de caída y número de capas, aumentando así la energía de compactación y peso unitario seco máximo, disminuyendo la humedad óptima. [19]

Energía de compactación:

$$Ec = \frac{N \times n \times w \times h}{V}$$

Donde:

N= Número de Golpes por capa

n= Número de capas

h= altura de caída

V= Volumen del suelo compactado

Tabla 10 Especificaciones de Próctor modificado y estándar

Método de Próctor	AASHTO ESTANDAR T 99				AASHTO MODIFICADO T 180			
	Martillo 5,5 lb		Altura de caída 12"		Martillo 10 lb		Altura de caída 18"	
Material	Pasa tamiz # 4		Pasa tamiz # 3/4		Pasa tamiz # 4		Pasa tamiz # 3/4	
Métodos	A	B	C	D	A	B	C	D
Molde usado	4"	6"	4"	6"	4"	6"	4"	6"
Número de capas	3	3	3	3	5	5	5	5
Número de golpes/capa	25	56	25	56	25	56	25	56
Volumen del molde sin collar (pies³)	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33
Volumen del molde sin collar (centímetros cúbicos)	944	2123	944	2123	944	2123	944	2123
Energía de compactación: lb/pie/pie³	12375	12317	12375	12375	12375	12317	12375	12375

Fuente: Carreteras, calles y aeropuertos Raúl Valle Rodas

De acuerdo con varias investigaciones entre las diferencias de los ensayos Proctor Estándar y Proctor Modificado se puede destacar que los ensayos realizados por el método modificado requieren de menor contenido de humedad para alcanzar la humedad óptima y máxima densidad, mientras que el Proctor estándar requiere de mayor contenido de humedad. [20]

El ensayo de compactación modificado introduce una energía nominal de compactación de 2710 kg/m³.

Los resultados del Proctor se representan en un gráfico donde el contenido de humedad se ubica en las abscisas y la densidad seca en las ordenadas de ahí se obtiene una curva de compactación donde el punto máximo corresponde a la humedad óptima, e indica que el proceso de compactación a cualquier esfuerzo de compactación se vuelve cada vez más eficiente hasta un cierto valor de contenido de humedad, a partir del cual su eficacia decrece. [17]

1.1.3.6 Propiedades mecánicas

Resistencia al corte

Propiedad de un terreno que permite resistir desplazamientos entre partículas sometidas a esfuerzos de corte, se define también como capacidad interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para adaptarse a las cargas que actúan sobre ellos y así resistir falla o deslizamiento, esta depende de la densidad y contenido de humedad y momento de corte.

La seguridad de una estructura depende de la resistencia al esfuerzo cortante ya que, a mayor esfuerzo cortante, más segura se encuentra la estructura.

Relación de soporte California CBR

Norma: AASHTO T 193

Ensayo de penetración normalizado, desarrollado por el Departamento de Transporte de California permite conocer las características mecánicas de un suelo, consiste en aplicar una presión creciente sobre una muestra compactada, cuya humedad es la óptima obtenida mediante el ensayo de Proctor modificado. [13]

El CBR corresponde al valor de una carga unitaria aplicada a 0,1” o 0,2” de penetración expresada en porcentaje. Permite conocer la resistencia de corte en un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, donde se aplica diferentes energías de compactación, para proceder a sumergir en agua durante 72 horas, posterior a esto se realiza el ensayo de CBR con un plotter que presenta una gráfica que registra la carga con respecto a la profundidad a la cual haya ingresado el pistón dentro de la muestra. [13]

El número CBR se obtiene de la relación de la carga unitaria (lb/pulg²) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón.

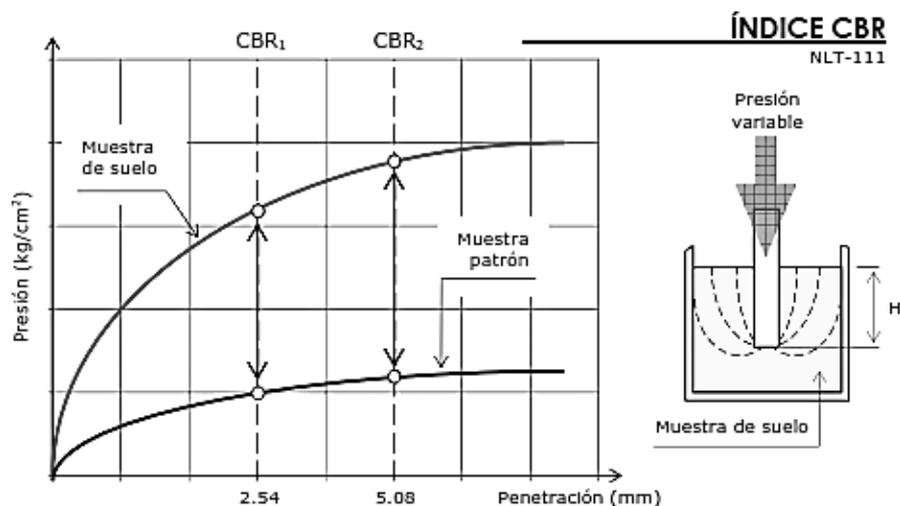


Fig. 4 Determinación del índice CBR

Fuente: Construcción y Mantenimiento Bañón Luis.

Penetración dinámica de cono DCP

Norma: ASTM D 6951-03

El cono dinámico de penetración DCP es un ensayo utilizado para medir la capacidad estructural “in situ” de un pavimento o suelo de fundación, se realiza hace mucho tiempo debido a que es una práctica no destructiva, económico, simple y de fácil movilidad. [21] Se ha demostrado que este procedimiento es el que ha presentado los mejores resultados en la práctica, proporciona información útil e importante del subsuelo ya que permite conocer la compacidad de los mantos respecto a su comportamiento mecánico. [15]

La gráfica que representa la penetración acumulada en función del número de golpes acumulados para los respectivos datos permite visualizar el número de capas existentes, representadas por rectas de diferentes pendientes, de igual forma se puede identificar el espesor de cada una de dichas capas. [22] En las ordenadas se indica la profundidad y en las abscisas el DN.

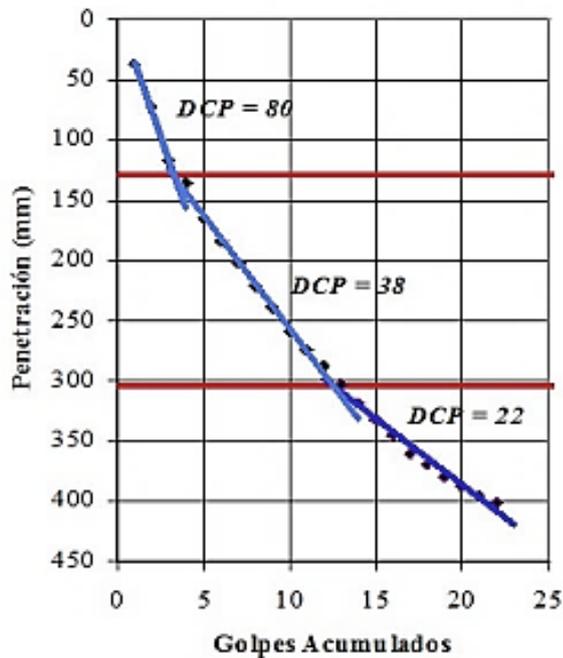


Fig. 5 Curva DCP para una serie de valores.

Fuente: Manual de pavimentos Ing. Milton Torres E.P.N

El Número DCP o índice de penetración DN, representa la penetración obtenida por golpe y se expresa en mm/golpe, es el valor de la pendiente de la curva DCP para la capa en estudio, mientras más vertical se muestre la pendiente, la resistencia del suelo será inferior, cuando este valor es constante indica una uniformidad en las propiedades del suelo, su variación implica un cambio de material o capa. [22]

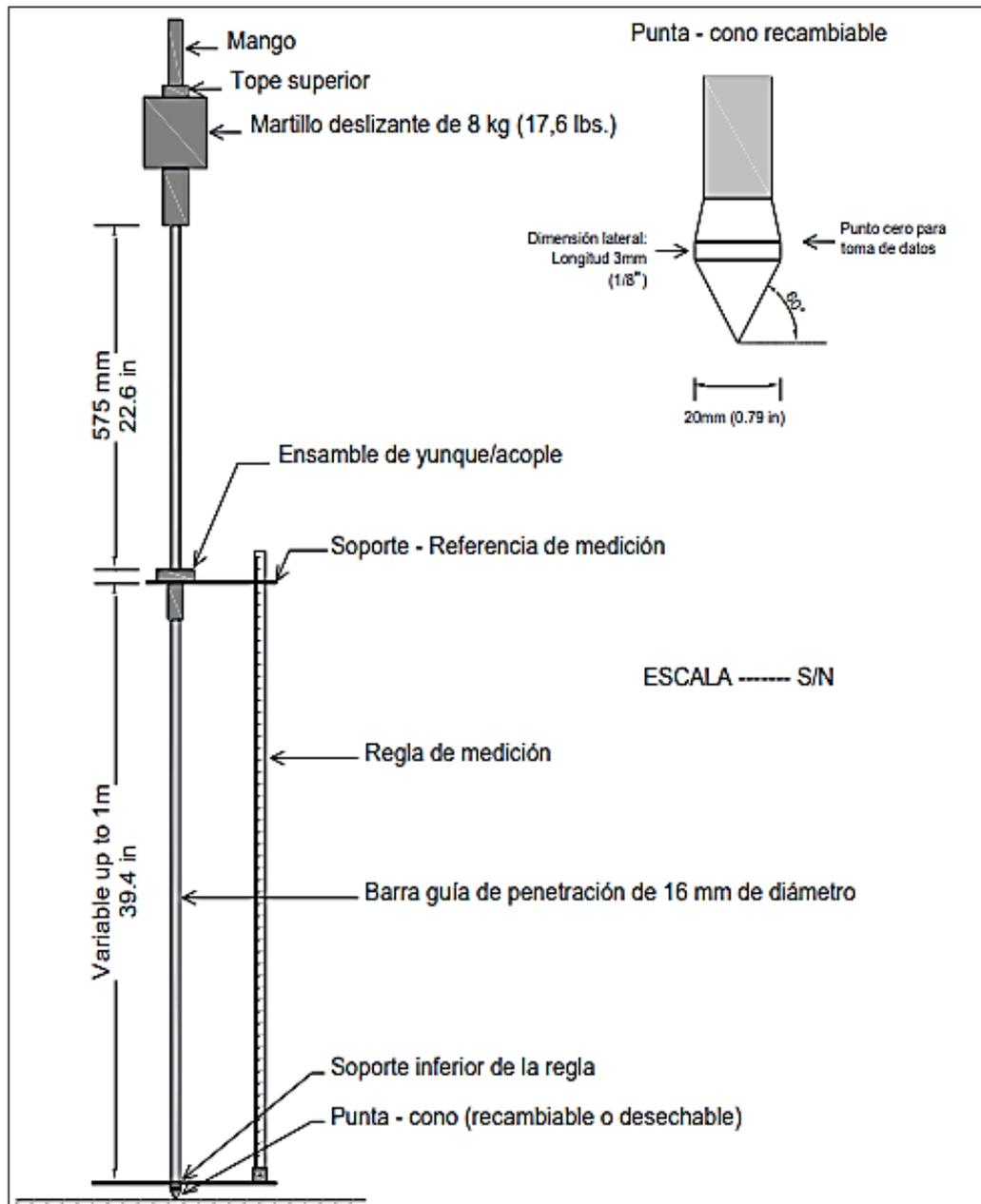


Fig. 6 Esquema del Cono Dinámico de Penetración

Fuente: (ASTM D 6951 – 03)

El Equipo DCP de 8kg consiste en una barra de acero de 15.8 mm (5/8") de diámetro, con una punta – cono recambiable o desechable, una pesa de 8 kg. (17,6 lbs.) la misma que es suelta a una altura de 575 mm (22,6"), un ensamblaje de acople y un mango. La punta-cono tiene un ángulo de 60° y un diámetro en la base de 20 mm (0,79").

1.1.3.7 Pavimentos

Tiene como finalidad proporcionar una superficie de rodamiento segura confortable para el tráfico vehicular que cumpla con los requisitos del sector, compuesto por capas superpuestas, que se diseñan y constituyen técnicamente con materiales apropiados que deben ser adecuadamente compactados para transmitir de forma directa los esfuerzos y/o cargas de tránsito a los estratos inferiores, de tal manera que las cargas impuestas por el tránsito no generen deformaciones permanentes excesivas. [23]

Para cumplir adecuadamente las funciones del pavimento se deben cumplir los siguientes parámetros:

- Resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito
- Resistente ante los agentes de interperismo.
- Resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de llantas vehiculares.
- Textura superficial que se adapte a las velocidades previstas de vehículos en circulación.
- Presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal.
- Durable
- Económico
- Color adecuado para evitar los reflejos y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

Tipos de pavimentos

Pavimentos rígidos

Este tipo de pavimentos se encuentra conformado por: subrasante, subbase, y losa o superficie de rodadura, esta capa superior de la estructura está constituida por concreto hidráulico. el espesor dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante la misma que debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad, la subbase en este tipo de pavimentos se encarga de transmitir y distribuir las cargas uniformemente. [24]

Pavimentos articulados

Se presenta compuesto por una capa de rodadura de elementos uniformes prefabricados que pueden ser adoquines de hormigón, concreto, ladrillo etc, los mismos que deben ser ubicado de forma ordenada.

Es una de las superficies de rodamientos más antigua para el tránsito vehicular, la estructura de esta clase de pavimento es: subrasante, sub-base, base, capa de arena (colchón de arena) y adoquines, cada una de estas capas tiene diferentes especificaciones que proporciona mejor calidad y durabilidad a la estructura. [24]

Pavimentos flexibles

Aquellos que se encuentran formados por una carpeta bituminosa apoyada sobre dos capas que no están totalmente rígidas llamadas base y sub-base. Su capa de rodadura presenta menor rigidez y mayor deformación produciendo tensiones en la subrasante. [25]

El diseño del pavimento flexible se hace usando en primera instancia el método de la AASHTO 1993, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, este método se basa principalmente en identificar el número estructural SN para el

pavimento, el mismo que indica su resistencia estructural, para determinar el número estructural, el método se basa en la siguiente ecuación. [26]

$$\log W_{18} = Z_r * S_o + 9.36 \text{Log} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN + 1)^{3.19}} \right)} + 2.32 \text{Log} Mr - 8.07$$

Donde:

W_{18} : Tráfico

Z_R : Desviación Estándar Normal

S_o : Error Estándar Combinado de la predicción del tráfico

ΔPSI : Diferencia entre la serviciabilidad inicial (P_o) y final (P_f)

Mr : Módulo Resiliente de la subrasante (Psi)

SN : Número estructural indicativo espesor total del pavimento

1.1.3.8 Componentes de un pavimento flexible

Se puede considerar que la estructura de un pavimento está formada por una super estructura sobre una fundación, esta última es el resultado de un estudio adecuado, la super estructura está constituida por la capa de revestimientos y la capa base; la fundación por las capas sub-base y suelo compactado. [27]

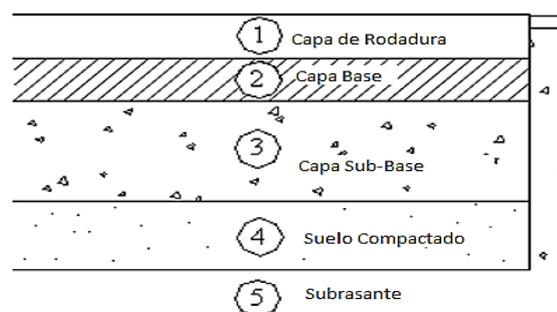


Fig. 7 Sección Típica de un pavimento

Fuente: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Ingeniería de Pavimentos, Brasil. 2000

Capa de rodadura

Conocida también como carpeta asfáltica, es la parte superior del pavimento flexible constituida por material pétreo y asfalto que se coloca sobre la base, este material pétreo debe cumplir con ciertas características dadas por granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto.

Esta capa es capaz de proporcionar una superficie de rodamiento segura, cómoda para el tránsito vehicular, del mismo modo impide la infiltración de agua a las capas inferiores a esta, es capaz de resistir los efectos abrasivos que producidos por los vehículos. [24]

Base

Capa de material granular de mejores características que se extiende sobre la capa de sub-base, su función principal consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a las capas sub-base y subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad adecuada. [24]

Sub-Base

Consiste en una capa compactada de material granular ya sea tratado o no tratado, o capa de suelo tratado con una mezcla adecuada, esta capa se encuentra ubicada entre el suelo de la calzada y la base. [26]

La capa de sub-base se colocará sobre la subrasante previamente preparada y aprobada, la capacidad de soporte deberá ser igual o mayor del 30%.

Subrasante

Superficie de terreno con la finalidad de resistir las cargas de tránsito que se transmite el pavimento y su estructura propia, se encuentra ubicada a una profundidad que no

afecte la carga de diseño correspondiente al tránsito previsto, debe cumplir con los requisitos de resistencia ya que de esta depende el espesor del pavimento. [27]

1.1.3.9 Parámetros de diseño de un pavimento flexible

Módulo de elasticidad de la carpeta asfáltica

Es uno de los parámetros necesarios que se debe conocer para establecer los espesores necesarios para cada capa de un nuevo pavimento flexible o de su rehabilitación mediante métodos analíticos, la AASHTO 2002 recomienda que el módulo de elasticidad de la carpeta asfáltica sea 210 MPA, sin embargo, es necesario calcular este módulo para considerar las características específicas de una mezcla determinada.

Módulo resiliente para la subrasante

Para materiales de subrasante con valores de CBR entre 7,2% y 20,0% la AASHTO 93 propone la siguiente fórmula.

$$\mathbf{Mr = 3000 CBR^{0.65} \rightarrow PSI}$$

Módulo resiliente para la base, sub-base

Mediante los ábacos (Fig. 9 -10) es posible conocer el módulo de cada una de las capas del pavimento, para esto es necesario conocer el CBR de la base y sub-base, para esto en las especificaciones del MTOP se establece que los mínimos valores de CBR son:

$$\text{CBR base} \geq 80\% \rightarrow \text{MTOP}$$

$$\text{CBR sub - base} \geq 30\% \rightarrow \text{MTOP}$$

Periodo de diseño

El periodo seleccionado, en años, se llama Periodo de Diseño, en otras palabras, es el tiempo que se espera que el pavimento haya funcionado correctamente y al final de este requiera alguna acción de rehabilitación mayor para restaurar su condición.

Tabla 11: Periodo de diseño según el tipo de carretera

Tipo de carretera	Periodo de diseño (años)
Urbana de tránsito elevado	30-50
Interurbana de tránsito elevado	20-50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15-25
De baja intensidad de tránsito, pavimentada con grava	10-20

Fuente: Guía AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Número total de ejes equivalentes W18

Para determinar el número de ejes equivalentes o ESAL es necesario determinar los factores de carga equivalentes para este cálculo.

$$W18 \rightarrow \text{por carril} = \sum (TPD * TF * FC * 365)$$

$$W18 \rightarrow \text{por dirección} = \sum (TPD * TF * FC * 365) * Fd * Fc$$

Donde:

TPD = Tránsito promedio diario.

TF = Factor de daño por vehículo

FC = Factor de crecimiento para un período de diseño en años.

Fd = Factor direccional.

Fc = Factor de distribución por carril

Factor de daño

El factor de daño o camión es la suma de los daños producidos por cada eje del vehículo. Este factor depende de del tipo de vehículo, si el eje es simple, doble, tanden o Tridem. [26]

$$TF(\text{eje simple}) = \frac{P^4}{6.6}$$

$$TF(\text{eje doble}) = \frac{P^4}{8.2}$$

$$TF(\text{tanden}) = \frac{P^4}{15}$$

$$TF(\text{tridem}) = \frac{P^4}{15}$$

Tabla 12: Factores de daño TF según el tipo de vehículo

Tipo de vehículo	Distribución de ejes (Peso en Ton)		Simple	Simple Doble	Tándem	Tridem	Factor daño
			$\frac{P^4}{6.6}$	$\frac{P^4}{8.2}$	$\frac{P^4}{15}$	$\frac{P^4}{23}$	
Livianos							
Buses	4	8	0,13	0,91			1,04
2DA - Camión dos ejes pequeños	3	7	1,31	2 ejes simples			1,31
2DB - Camión dos ejes grandes	7	11	1,27	3,24			4,50
V2DB - Volqueta dos ejes 8m ³	7	11	1,27	3,24			4,50
T2 - Tracto camión de 2 ejes	7	11	1,27	3,24			4,50

Fuente: Guía AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Factor de crecimiento para un período de diseño en años.

Para el factor de crecimiento de tráfico se considera el periodo de diseño de la vía y la tasa de crecimiento anual del sector en estudio, para esto la AASHTO recomienda establece mediante la siguiente ecuación.

$$FC = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

r = Tasa de crecimiento anual en decimales

n = Periodo de diseño en años

Factor de distribución direccional (Fd)

Se considera una distribución del 50% del tránsito para cada dirección. En algunos por consideraciones especiales puede variar de 0,3 a 0,7 dependiendo de la dirección que acumula mayor porcentaje de vehículos cargados.

Factor de distribución por carril (Fc)

El carril de diseño en una carretera de varios carriles es uno de ellos, por esta razón el factor de distribución por carril es 100%. Para autopistas multicarriles el carril de diseño es el carril exterior y el factor de distribución depende del número de carriles en cada dirección que tenga la autopista como se muestra a continuación.

Tabla 13:Factor de distribución carril

Número de carriles 1 dirección	% de ESAL en el carril de diseño (Fc)
1	10
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Fuente: Guía AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Confiabilidad (R)

A medida que el nivel de confiabilidad sea mayor, los espesores del pavimento serán más grandes, hace referencia al grado de seguridad o veracidad de una determinada alternativa de diseño.

Tabla 14: Nivel de confiabilidad

Clasificación funcional	Nivel de Confiabilidad, R, recomendado	
	Urbana	Rural
Autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Carreteras de primer orden	80 - 99	75 - 95
Carreteras secundarias	80 - 95	75 - 95
Caminos vecinales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Guía AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Desviación estándar global (So)

Para obtener la desviación estándar global, la AASHTO sugiere que se tome valores ente el siguiente rango. $0.40 \leq S_o \leq 0.50$ y recomienda, $S_o = 0.45$. para pavimentos flexibles.

Desviación estándar normal (Zr)

Esta desviación depende del factor de confianza seleccionada.

Tabla 15: Nivel de confianza

NIVEL DE CONFIANZA R	Zr
50	0
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

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Índice de servicio

Se define el Índice de Serviciabilidad como la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento.

Tabla 16: Índice de Serviciabilidad

Índice de servicio (PSI)	Clasificación
0 – 1	Muy mala
1 – 2	Mala
2 – 3	Regular
3 – 4	Buena
4 - 5	Muy buena

Fuente: Guía AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Para realizar el diseño del pavimento es necesario elegir los índices de servicio inicial y final, los cuales nos permiten determinar la disminución del índice de servicio, que representa una pérdida de calidad de servicio de la carretera.

índice de servicio inicial P_o

Depende del diseño y de la calidad de la construcción. En los pavimentos flexibles estudiados por la AASHTO, el pavimento nuevo alcanzó un valor medio de $P_o = 4,2$.

Para el índice de servicio final P_t

Para el índice de servicio final se sugiere para carreteras de mayor tránsito un valor de $P_t = 2,5$ y para carreteras de menor tránsito $P_t = 2,0$.

Pérdida o disminución del índice de serviciabilidad

Pérdida gradual de la calidad de servicio de carretera, donde intervienen los índices de servicio inicial y final.

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Donde:

PSI = Índice de Servicio Presente

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado

P_o = Índice de servicio inicial

P_t = Índice de servicio final

Concreto asfáltico convencional (a1)

Cuando se conoce el módulo de elasticidad se puede obtener el coeficiente a_1 mediante el siguiente ábaco de la AASHTO- 93.

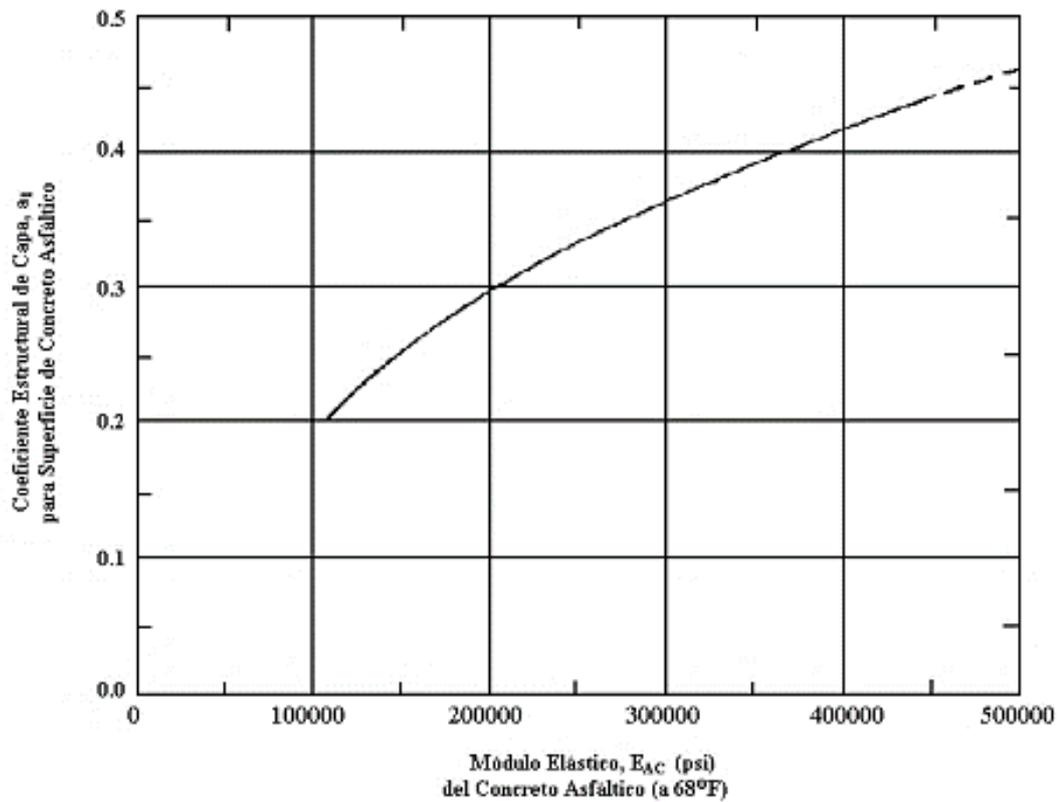


Fig. 8 Ábaco para estimar el número estructural de la carpeta asfáltica “a1”

Fuente: Guía AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

En el caso de que no se disponga el módulo de elasticidad de la mezcla asfáltica puede emplearse el ábaco de la figura N 9 para estimar el coeficiente estructural a partir de la estabilidad Marshall de la mezcla. Este gráfico se emplea en el método AASHTO 72 para determinar el coeficiente del concreto asfáltico.

Base granular (a2)

Para obtener el valor del coeficiente a2 se utilizará el siguiente ábaco, donde es importante establecer un valor de CBR para la base. Según las especificaciones del MTOP indica el porcentaje mínimo de CBR para las bases es mayor o igual al 80%. [28]

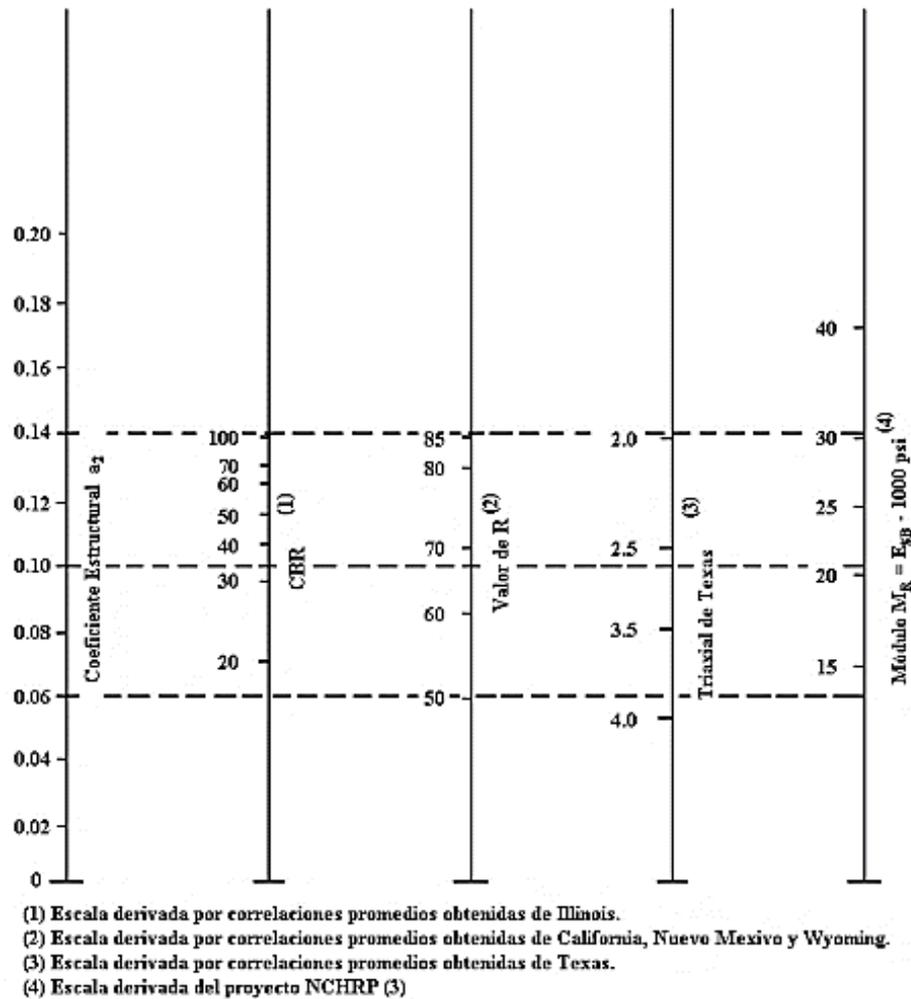
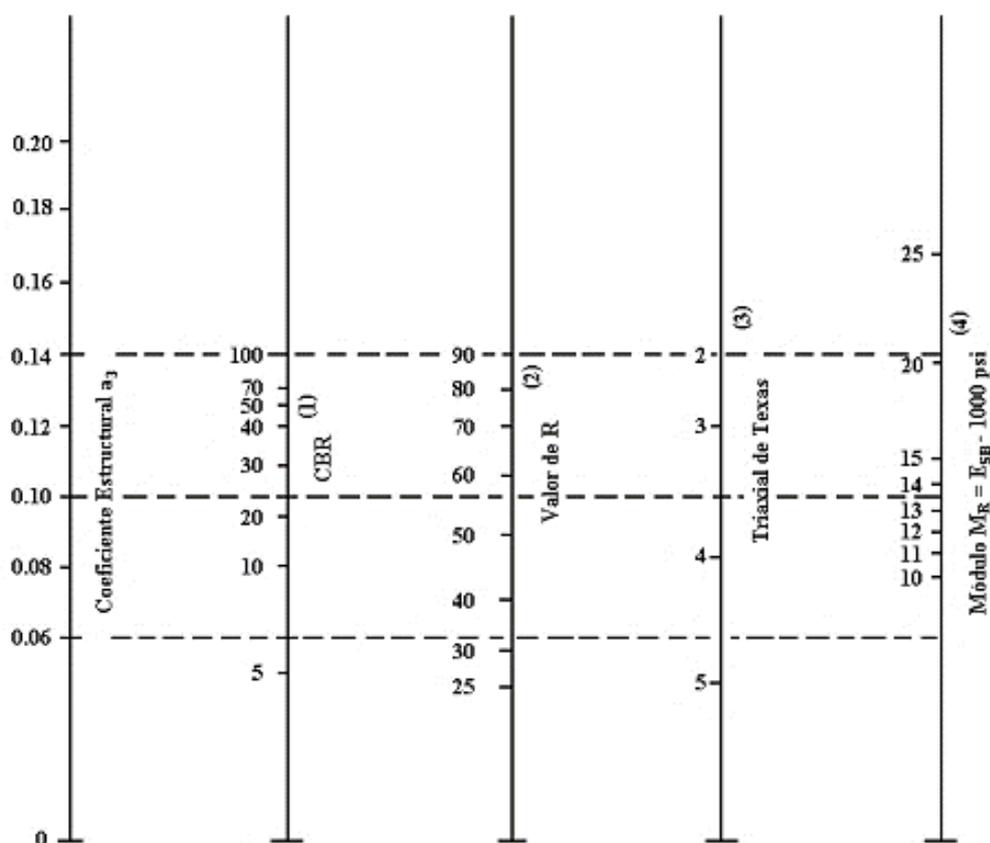


Fig. 9 Ábaco para estimar el número estructural de la capa base granular “a2”

Fuente: Guía AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Sub-base (a3)

Del mismo modo el coeficiente a_3 se encuentra una vez conocido el valor de CBR, el mismo que las según las especificaciones del MTOP indica que el porcentaje mínimo de CBR para la sub-base es mayor o igual a 30%. [28]



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexico y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

Fig. 10 Ábaco para estimar el número estructural de la sub-base granular "a3"

Fuente: Guía AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Coeficiente de drenaje de capa

la AASHTO presenta cinco capacidades de drenaje, que depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo con el tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, en el transcurso del año. Este porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje. [26]

Tabla 17: Capacidad de Drenaje

Calidad de drenaje	Agua removida en:
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	Agua no drenada

Fuente: Guía AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

De acuerdo a las capacidades de drenaje la AASHTO establece los factores de corrección m_2 (bases) y m_3 (sub-bases granulares sin estabilizar), los cuales están dados en la Tabla 20, en función del porcentaje de tiempo a lo largo de un año, en el cual la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación. [26]

Tabla 18: Valores m_i para modificar los Coeficientes Estructurales, o capa de bases y Sub-bases sin tratamiento, en pavimentos flexibles

Calidad de drenaje	Porcentaje de tiempo al cual está expuesta la estructura del a niveles de humedad próxima a la saturación			
	Menor del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Mayor del 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Malo	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: Guía AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Número estructural (SN)

Para el cálculo del número estructural, el método AASHTO 93 propone una ecuación que relaciona los coeficientes con sus respectivos números estructurales los cuales se calculan mediante los siguientes criterios. [26]

$$D1 \geq \frac{SN1}{a1}$$

$$SN1 = a1D1 \geq SN1$$

$$D2 \geq \frac{SN2 - SN1}{a2 \cdot m2}$$

$$SN1 + SN2 \geq SN2$$

$$D3 \cdot a3 \cdot m3 + SN1 + SN2 \geq SN3$$

$$SN = a1D1 + a2D2m2 + a3D3m3$$

Donde:

a1, a2 y a3: Coeficientes estructurales de la carpeta, base y sub-base

D1, D2 y D3: Espesores de la carpeta, base y sub-base

m2 y m3: Coeficiente de drenaje para base y sub-base

Esta ecuación permite obtener los espesores de cada capa involucrando los coeficientes de drenaje particulares para la base y sub-base.

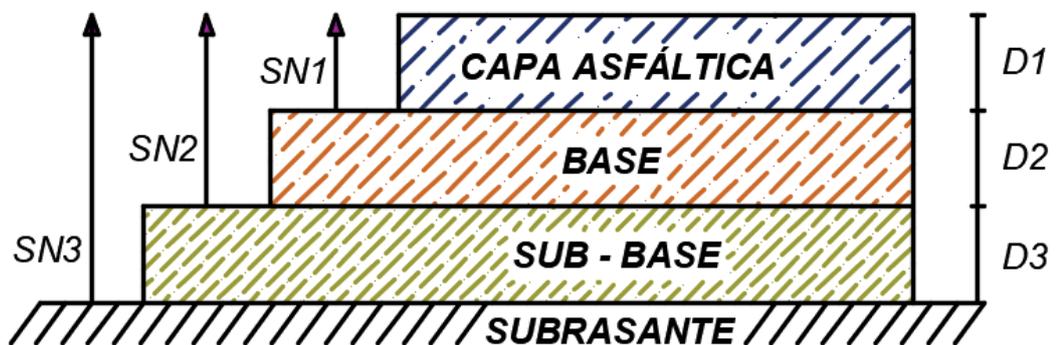


Fig. 11 Capas de un pavimento flexible

Fuente: Guía AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

La suma de los números estructurales de las capas que constituyen el pavimento debe ser: [26]

$$SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN$$

1.1.3.10 Teoría de correlación

Es el grado de relación entre las variables, donde se busca determinar que una ecuación lineal o de otro tipo describe o manifiesta la relación entre las ellas. Si los valores de las variables satisfacen con exactitud una ecuación, se dice que tienen una correlación perfecta entre variables. [11]

Para determinar las diferentes correlaciones en el presente proyecto de investigación es necesario partir de un supuesto de ciertas propiedades con función de una o varias de las demás propiedades índice y mecánicas de los suelos, para esto se analizará algunas leyes de regresión que permitirá estimar una de las propiedades partiendo de otras.

Coefficiente de Correlación (r)

El coeficiente de correlación varía entre -1 y +1; el signo proporciona información acerca de la dirección de la relación. Si el valor r es cercano a cero significa que no existe correlación lineal entre las variables, sin embargo, no quiere decir que no haya correlación, pues puede haber una fuerte correlación no lineal. [11]

Coefficiente de determinación (r²)

El coeficiente de determinación indica el grado de ajuste que se ha seguido de acuerdo con el modelo de la ecuación, este valor toma valores entre 0 y 1 mientras más se acerque el coeficiente a 0 los datos estudiados no presentan relación entre variables, cuando r² toma el valor de 1 se dice que el ajuste es perfecto y si este coeficiente se aproxima mas a 1 y se considera que tienen relación entre variables. [12]

Tabla 19: Tabla de criterios de bondad de ajuste.

Criterio	R2
Excelente	≥ 0.90
Buena	0.70 – 0.89
Aceptable	0.40 – 0.69
Pobre	0.20 – 0.39
Muy Pobre	≥ 0.19

Fuente: Investigation of the use of dynamic modulus as an indicator of hot-mix asphalt performance.

Correlación simple

En una correlación simple intervienen solo dos variables donde se habla de regresión simple. Para ecuaciones con dos variables el coeficiente de correlación se puede escribir como:

$$r = \sqrt{1 - \frac{S^2_{Y.X}}{S^2_Y}}$$

donde: $S_{Y.X}$ = error típico de estimación de Y sobre X

S_Y = desviación típica de Y

En una correlación lineal, la cantidad r es la misma tanto si es X como Y la variable independiente.

Correlación donde intervienen más de dos variables

También conocida como correlación múltiple donde se estima una variable a partir de dos o más variables. Puede haber relación entre tres variables X, Y y Z descrita mediante la ecuación lineal en las variables X, Y y Z. [11]

$$Z = a_0 + a_1X + a_2Y$$

Por extensión del método de mínimos cuadrados, se puede hablar de plano de mínimos cuadrados de aproximación de los datos. Si se está estimando Z de valores dados de X e Y, éste sería el plano de regresión de Z sobre X e Y. Las ecuaciones normales correspondientes al plano de mínimos cuadrados son dadas por: [11]

$$\sum Z = a_0 N + a_1 \sum X + a_2 \sum Y$$

$$\sum XZ = a_0 \sum X + a_1 \sum X^2 + a_2 \sum XY$$

$$\sum YZ = a_0 \sum Y + a_1 \sum XY + a_2 \sum Y^2$$

Para ecuaciones con tres variables, el coeficiente de correlación múltiple (R) viene dado por:

$$R_{ZXY} = \sqrt{1 - \frac{s^2_{zxy}}{s^2_z}}$$

donde:

s_{zxy} = error típico de estimación de Z sobre X e Y

s_z = desviación típica de Z

Método de mínimos cuadrados

Este método considera un diagrama de dispersión donde los puntos están dados por $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_N, Y_N)$. Para un valor dado de X, por ejemplo, X_1 , habrá una diferencia entre el valor Y_1 y el correspondiente valor deducido de la curva; considerando a Y la variable dependiente. Esta diferencia se denota por D_1 , que se llama desviación, error o residual, este puede ser positiva, negativa o nula, asociadas a los datos X_2, \dots, X_N se obtienen desviaciones D_2, \dots, D_N . [11]

A partir de un diagrama de dispersión la probabilidad de realizar curvas son varias, pero solamente una será la que mejor se ajuste al conjunto de puntos y será determinada por el método de Mínimos Cuadrados. Una medida del ajuste de la curva a los datos

de dispersión viene dada por la cantidad $D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_N^2$, Si es pequeña el ajuste es bueno, si es grande el ajuste es malo. Entonces la curva que tiene la propiedad de que $D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_N^2$ es pequeño y/o mínimo se llama curva de mínimos cuadrados o de ajuste óptimo. [11]

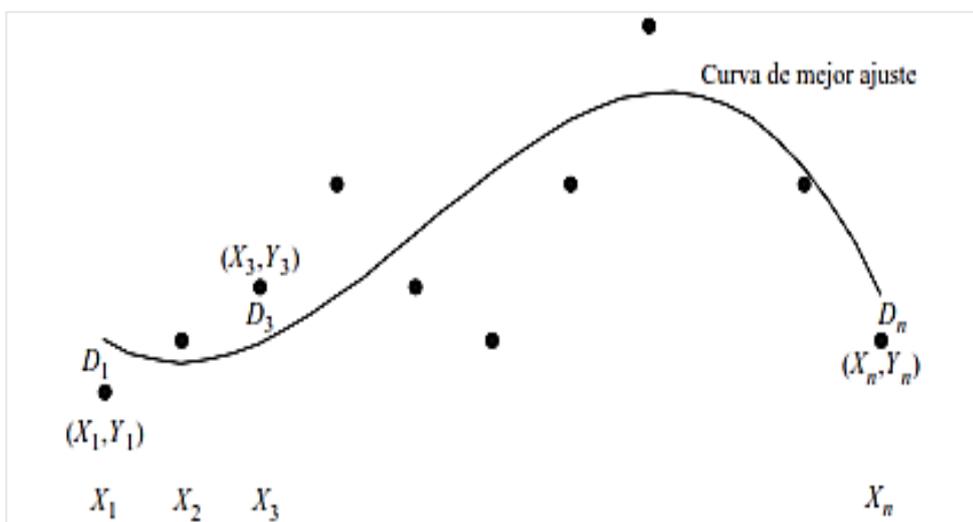


Fig. 12 Curva de mejor ajuste a los puntos de dispersión

Fuente: Estadística de Shawn

El criterio de mínimos cuadrados trata minimizar la suma de cuadrados, las funciones que se ajustan con más frecuencia y sus ecuaciones generales son.

Tabla 20: Ecuaciones generales del criterio de mínimos cuadrados

Recta	$y = ax + b$
Parábola	$y = a + bx + cx^2$
Polinomio de grado n	$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots + zx^n$
Hipérbola equilátera	$y = a + b/x$
Función Potencial	$y = ab^b$
Función exponencial	$y = a/(1 + be^{cx})$
Curva logística	$y = a + be^{cx}$

Fuente: Estadística de Shawn

Recta de Mínimos Cuadrados

El método de mínimos cuadrados corresponde a una recta óptima que pertenece a una muestra de datos que se pueden representar como puntos en un plano, la misma que tiene mejor aproximación al conjunto de variables X y Y. La recta de mínimos cuadrados que mejor aproxima el conjunto de puntos (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) , ..., (X_N, Y_N) tiene por ecuación:

$$Y = a_0 + a_1 X$$

Donde las constantes a_0 y a_1 se determinan mediante el sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned}\sum Y &= a_0 N + a_1 \sum X \\ \sum XY &= a_0 \sum X + a_1 \sum X^2\end{aligned}$$

A veces, se desea estimar el valor de una variable Y correspondiente a un valor dado de una variable X. Esto se consigue estimando el valor de Y de la curva de mínimos cuadrados que ajusta los datos muestrales. La curva resultante se llama curva de regresión de Y sobre X, puesto que Y se estima a partir de X. Análogamente la recta de regresión de X sobre Y está dada por:

$$X = b_0 + b_1 Y$$

1.1.3 Hipótesis

Hipótesis nula

No existe correlación entre las propiedades entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares, de las parroquias Cunchibamba y Unamuncho, cantón Ambato. provincia de Tungurahua.

Hipótesis alternativa

Existe correlación entre correlación entre las propiedades entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares, de las parroquias Cunchibamba y Unamuncho, cantón Ambato. provincia de Tungurahua.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Determinar la correlación entre el CBR de laboratorio y las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de las parroquias Cunchibamba y Unamuncho del Cantón Ambato. Provincia de Tungurahua.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de las parroquias Cunchibamba y Unamuncho del cantón Ambato.
- Obtener las correlaciones experimentales entre las propiedades índice y mecánicas y el CBR de laboratorio para los suelos estudiados.
- Obtener la correlación experimental entre el factor DCP y el CBR de laboratorio para los suelos estudiados.
- Aplicar los valores de las correlaciones obtenidas en el diseño de un pavimento flexible.
- Realizar una zonificación general de los diferentes tipos de suelo parroquias Cunchibamba y Unamuncho.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales y Equipos

Tabla 21 Materiales y equipos de los ensayos

ENSAYOS	MATERIALES	EQUIPOS	NORMA
Pozo a Cielo Abierto	Muestras in situ	Pala Pico Barra Flexómetro	AASHTO T 87-70
Densidad de Campo (Método del Cono y Arena de Ottawa)	Muestras in situ	Cono Cinzel Cuchareta Placa metálica Balanza Clavos Martillo	AASHTO T 191 2014
Dinamic Cone Penetrometer (DCP)	Muestras in situ	Equipo DCP Libreta de anotación	ASTMD 6951-03
Gravedad específica de sólidos	50 gr de suelo que pasa tamiz # 40	Tamiz #4 Mortero de porcelana Pistillo de caucho Picnómetro Embudo Termómetro Recipiente metálico Pipeta Baño María	AASHTO T 100 2015
Granulometría	Muestra cuarteada	Tamizadora Juego de Tamices Brocha Recipiente	AASHTO T 88 2013

Límite Líquido (Copa Casagrande)	150 gr de suelo que pasa tamiz # 40	Copa Casagrande Espátula Acanalador Recipientes de aluminio	AASHTO T 89 2013
Límite Plástico	150 gr de suelo que pasa tamiz # 40	Placa de vidrio Fuente de mezclado Calibrador pie de rey	AASHTO T 90 2016
Proctor Modificado tipo B	24 kg de suelo que pasa el tamiz # 4	Bandeja metálica cuadrada Martillo de compactación Molde Ø 6" con extensión y base Probeta graduada Palustre Regleta Metálica	AASHTO T 180 2018
California Bearing Ratio (CBR)	18 kg de suelo que pasa el tamiz # 4	MULTISPEED 34-V1172	AASHTO T 193 2013

Fuente: Estudiantes del macroproyecto

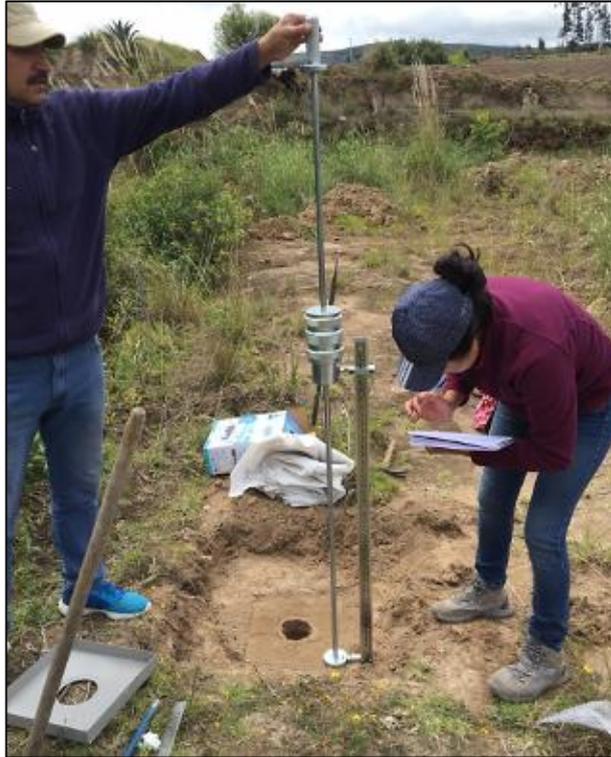
Nota: Los ensayos de campo y laboratorio fueron realizados siguiendo las normas indicadas.



Pozo a Cielo Abierto



Densidad de Campo (Método del Cono y Arena de Ottawa)



Penetrometro dinámico estático (DCP)



Gravedad específica de sólidos



Granulometría



Límite Líquido (Copa Casagrande)



Límite Plástico



Proctor Modificado tipo B



California Bearing Ratio (CBR)

2.2 Métodos

2.2.1 Nivel o tipo de Investigación

El presente trabajo experimental se realizará bajo los siguientes niveles de investigación:

- **Nivel Exploratorio**

La presente investigación es de carácter exploratorio empezando por el reconocimiento de cada una de las vías en los sectores de Cunchibamba y Unamuncho, donde se obtuvo lo necesario para el desarrollo del tema propuesto. Una vez identificado el sector se procede a realizar los ensayos en campo y toma de muestras para continuar con los ensayos de laboratorio.

Es importante acudir a fuentes bibliográficas como libros, normas, artículos, trabajos de titulación etc. para el correcto desarrollo de la investigación y así obtener buenos resultados.

- **Nivel Descriptivo**

Mediante la información obtenida en campo y laboratorio se procederá a interpretar y describir los resultados recopilados de los diferentes tipos de suelo y así poder clasificarlos mediante las tablas de SUCS y AASHTO.

- **Nivel relacional**

Este proyecto pretende relacionar las propiedades índice y mecánicas del suelo con el ensayo de CBR para hallar una relación adecuada y confiable y así obtener el valor de CBR correcto.

- **Población**

La población es el universo de suelos granulares de la zona Andina de las parroquias rurales del cantón Ambato provincia de Tungurahua.

- **Muestra**

El proyecto es de carácter experimental, por tal motivo la muestra es el suelo extraído de las dos calicatas realizadas en seis vías rurales pertenecientes a las parroquias de Cunchibamba y Unamuncho del cantón Ambato, dando como resultado un total de 12 muestras de las cuales serán analizadas sus propiedades índice y mecánicas.

La presente investigación es parte de un macroproyecto de la facultad, por esta razón a nivel macro la muestra es de ciento ocho diferentes tipos de suelo extraído en

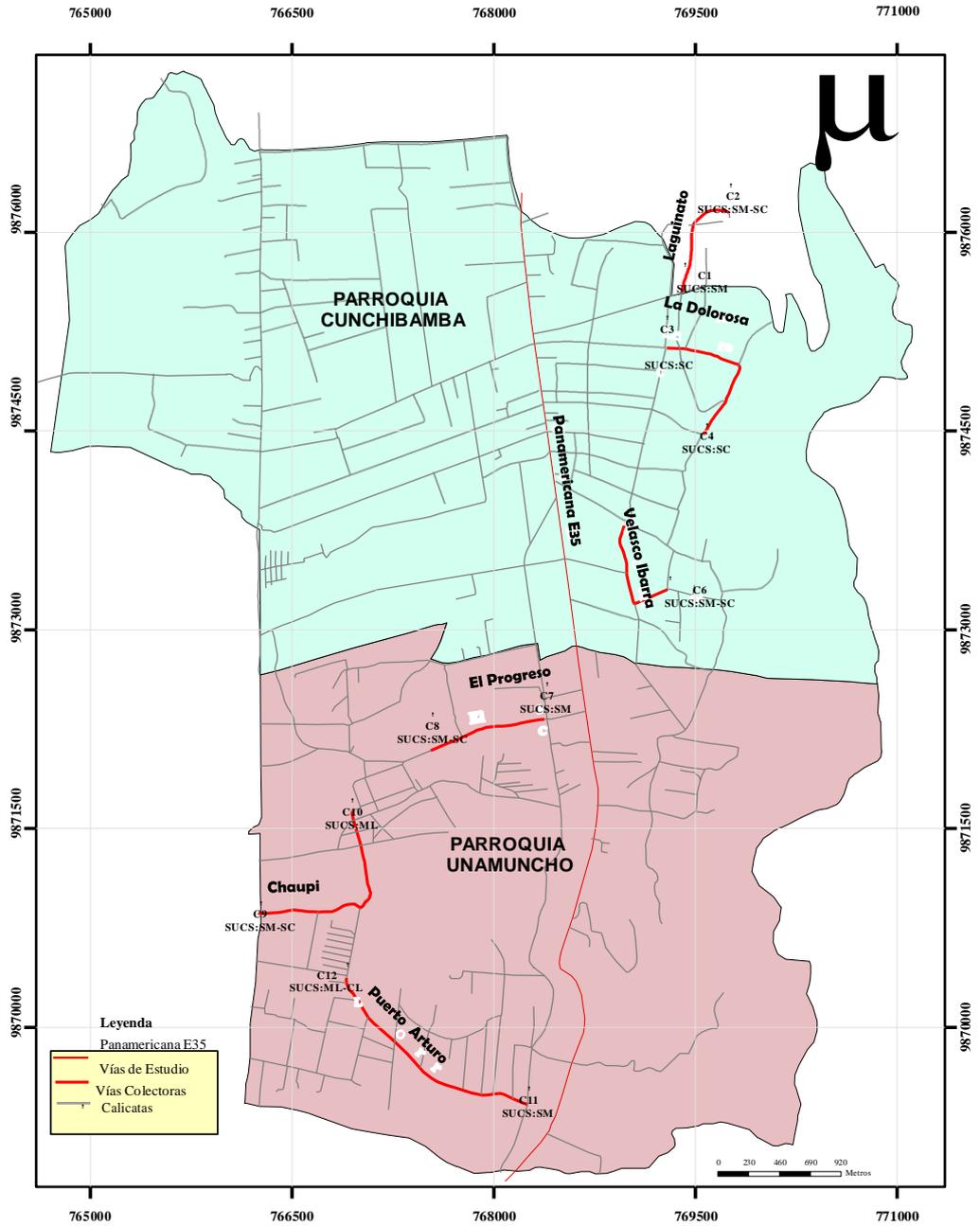
dieciocho parroquias rurales pertenecientes al cantón Ambato provincia de Tungurahua.

Tabla 22 Ubicación de calicatas

Ubicación Vía - Parroquia - Cantón	Km	N° Calicata	Coordenada	
			Norte	Este
Laginato - Cunchibamba - Ambato	0,85	1	9875543,59 m S	769404,81 m E
		2	9875155,55 m S	769746,28 m E
La Dolorosa - Cunchibamba - Ambato	1,2	3	9875126,13 m S	769286,68 m E
		4	9874475,22 m S	769567,27 m E
Velasco Ibarra - Cunchibamba - Ambato	1,5	5	9873816,90 m S	768982,45 m E
		6	9873303,39 m S	769293,56 m E
El Progreso - Unamuncho - Ambato	1,5	7	9873469.86 m S	768224.65 m E
		8	9873298.33 m S	767123.66 m E
Chaupi - Unamuncho - Ambato	1,6	9	9870847.44 m S	766256.86 m E
		10	9871631.26 m S	766947.79 m E
Puerto Arturo - Unamuncho - Ambato	2	11	9869420.85 m S	768253.53 m E
		12	9870374.48 m S	766905.76 m E

Fuente: Autoría propia

Se presenta la ubicación geográfica de calicatas dentro de las parroquias de estudio y longitud de las vías seleccionadas.



N° Calicata	Coordenadas		SUCS
	Este	Norte	
1	769404,81 m E	9875543,59 m S	SM-SC
2	769746,28 m E	9875155,55 m S	SM
3	769286,68 m E	9875126,13 m S	SC
4	769567,27 m E	9874475,22 m S	SC
5	768982,45 m E	9873816,90 m S	SM-SC
6	769293,56 m E	9873303,39 m S	SM-SC
7	768224,65 m E	9873469,86 m S	SM
8	767123,66 m E	9873298,33 m S	SM-SC
9	766256,86 m E	9870847,44 m S	ML
10	766947,79 m E	9871631,26 m S	SM-SC
11	768253,53 m E	9869420,85 m S	ML-CL
12	766905,76 m E	9870374,48 m S	SM

División Política Administrativa		
Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil		
Tema de Tesis: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN LOS SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS CUNCHIBAMBA Y UNAMUNCHO, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
Contiene: Mapa de las calicatas y Vías del Proyecto de Tesis		
Realizado por:	Revisado por:	
Egda. Maria Troya	Ing. MSc. Favio Partilla	
Fecha:	Escala:	Ubicación:
12/11/2019	1:50.000	Cunchibamba Unamuncho Tungurahua
Proyección Cartográfica UTM		
Datum WGS-84 Zona 17 S		

Fig. 13 Georreferenciación de calicatas

Fuente: Autoría propia

2.2.2 Plan de recolección de Datos

Para la elaboración de la presente investigación en primera instancia se realiza un recorrido por las parroquias de Cunchibamba y Unamuncho del cantón Ambato para la identificación de las vías de estudio.

Se seleccionó tres vías por parroquia, donde se realizará dos calicatas por vía, retirando primero la capa vegetal para realizar el ensayo de densidad de campo por el método de cono y arena, bajo la norma AASHTO T 191 y posterior a esto el ensayo DCP, bajo la norma ASTM 6951-03, estos ensayos son realizados en situ. es necesario tomar una muestra inalterada para obtener el contenido de humedad natural basado en la norma AASHTO T 87-70, para esto es necesario colocar la muestra en fundas ermiticas donde no pierda la humedad del suelo.

Posterior a ello se tomará una muestra de suelo aproximadamente 50 kg por cada calicata, estas muestras serán empleadas para los ensayos de laboratorio, deberán ser pasadas a través del tamiz rectangular # 4 para ser colocada en una bandeja para su secado.

Para el análisis granulométrico la muestra de suelo deberá estar totalmente seca, se tomará 250gr que se colocará en el juego de tamices en forma descendente como lo establece la norma AASHTO T 88 2013, para que este pase por la tamizadora eléctrica.

Los límites de Atterberg serán realizados bajo las normas AASHTO T 89 2013 y AASHTO T 90 2016, la gravedad especifica bajo la norma AASHTO T 100 2015, los ensayos mencionados anteriormente requieren una muestra de suelo que pase el tamiz #40, en la determinación del contenido óptimo de humedad es necesario mínimo cuatro puntos, tres de ellos deberán generar un pico y el otro menor al máximo, esto mediante

la norma AASHTO T 180 2018 del ensayo del Proctor Modificado, este contenido de humedad será utilizado para realizar el ensayo de relación de soporte de California (CBR) este último se realizará bajo la norma AASHTO T 193 2013.

Cabe mencionar que todos los ensayos de laboratorio serán realizados del 08 de julio al 05 de septiembre en el Laboratorio de Ensayos de Materiales y Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

2.2.3 Plan de Procesamiento y Análisis de Información

Plan de procesamiento

- Estudio de suelos en las parroquias de Cunchibamba y Unamuncho del Cantón Ambato, mediante la realización de ensayos en campo y laboratorio.
- Procesado y tabulación de datos obtenidos de acuerdo con los diferentes ensayos realizados in situ y laboratorio, mediante programas de computación.
- Tabulación de datos para la realización de tablas, gráficas, afines a la investigación donde se presente las variables a correlacionar.

Plan de análisis de información

- Analizar e interpretar las correlaciones mediante el coeficiente de determinación r^2 , el mismo que indicará el grado ajuste que se ha conseguido en los diferentes modelos de ecuaciones, mientras su valor sea mayor se considerará que la variable dependiente es la adecuada para su relación.

- Realizar las diferentes correlaciones entre las propiedades índice y mecánicas con la finalidad de mostrar la influencia de cada uno de los parámetros en busca de un coeficiente de determinación mayor 50%, las mismas que serán tomadas en cuenta para su discusión.
- Evaluar la diferencia entre el valor del CBR en laboratorio y el predicho en ecuación para el diseño de un pavimento flexible.
- Establecer conclusiones y recomendaciones de acuerdo con los resultados obtenidos durante la determinación de las diferentes correlaciones.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante la realización de los diferentes ensayos de campo y laboratorio.

Tabla 23 Nomenclatura de las variables de ensayos

Siglas	Descripción	Unidad
IP	= Índice Plástico	(%)
LL	= Límite Líquido	(%)
LP	= Límite Plástico	(%)
Gc	= Grado de Compactación	(%)
Gw	= Grado de Saturación de agua	(%)
Ga	= Grado de Saturación de aire	(%)
Gs	= Gravedad específica de sólidos	(%)
n	= Porosidad	(%)
Wnat	= Contenido de Humedad Natural	(%)
Wópt	= Contenido de Humedad Óptima	(%)
CBR 0.1"	= CBR para 0.1 pulg. de penetración	(%)
CBR 0.2"	= CBR para 0.2 pulg. de penetración	(%)
CBR mayor	= CBR mayor entre 0.1 y 0.2"	(%)
DN	= Índice de Penetración	(mm/golpe)
γ_d in-situ	= Densidad Seca in-situ	(kg/m ³)
γ_h in-situ	= Densidad humedad in-situ	(kg/m ³)
γ_d máx	= Densidad Seca Máxima	(kg/m ³)

Fuente: Autoría Propia

Tabla 24: Propiedades Índice del suelo

Ubicación	N° Muestra	Límite Líquido (%)	Índice Plástico (%)	Límite plástico (%)	Humedad natural (%)	Gravedad específica (Gs)	Relación de vacíos e	Porosidad n(%)	Grado de saturación del agua Gw (%)	Grado de saturación del aire Ga (%)	Clasificación		Granulometría		
											SUCS	AASHTO	GRAVA G%	ARENA S%	LIMO F%
Laginato - Cunchibamba - Ambato	1	34,50	4,12	30,38	25,11	2,553	0,99	49,77	66,64	33,36	SM-SC	A-2-4	0,10	97,56	2,44
	2	28,24	2,36	25,88	15,70	2,597	0,71	41,37	58,14	41,86	SM	A-2-4	0,00	97,52	2,48
La Dolorosa - Cunchibamba - Ambato	3	31,70	7,09	24,61	7,80	2,641	0,59	36,93	35,35	64,65	SC	A-2-4	0,00	92,96	7,04
	4	28,90	7,66	21,24	17,68	2,612	0,63	38,60	58,13	41,87	SC	A-2-4	0,00	93,12	6,88
Velasco Ibarra - Cunchibamba - Ambato	5	28,20	6,91	21,29	10,91	2,644	0,90	47,27	37,47	62,53	SM-SC	A-2-4	0,00	70,36	29,64
	6	30,90	7,14	23,76	17,68	2,579	0,89	47,01	41,20	58,80	SM-SC	A-2-4	0,00	63,16	98,36
El Progreso - Unamuncho - Ambato	7	27,60	3,43	24,17	12,49	2,652	0,80	44,38	42,09	57,91	SM	A-2-4	0,00	98,56	1,44
	8	24,80	5,77	19,03	15,20	2,611	0,58	36,72	70,59	29,41	SM-SC	A-2-4	0,00	98,80	1,20
Chaupi - Unamuncho - Ambato	9	27,90	2,46	25,44	6,43	2,650	0,71	41,59	23,99	76,01	ML	A-2-4	0,00	65,00	35,00
	10	23,60	5,30	18,30	4,48	2,659	0,84	45,73	13,98	86,02	SM-SC	A-2-4	0,00	77,76	22,24
Puerto Arturo - Unamuncho - Ambato	11	20,20	2,96	17,24	10,87	2,648	0,51	33,74	53,50	46,50	ML-CL	A-4	0,00	52,68	47,32
	12	23,50	2,20	21,30	11,08	2,642	0,71	41,61	40,08	59,92	SM	A-2-4	0,00	77,24	22,76

Fuente: Autoría propia

Tabla 25: Propiedades Mecánicas del suelo

Ubicación	N° Muestra	Densidad de campo (γ_d)	Compactación			CBR (%)					DCP
			γ_d máx (Kg/m ³)	W ópt (%)	Gc %	90% γ_d máx		90% γ_d máx			DN
						0,1 "	0,2"	0,1"	0,2"	Mayor	(mm/golpe)
Laginato - Unamuncho	1	1,329	1,391	22,05	95,54	18,60%	16,50%	25,60%	22,40%	25,60%	14,75
	2	1,551	1,390	25,32	111,56	11,40%	18,10%	14,70%	22,01%	22,01%	16,18
La Dolorosa - Unamuncho	3	1,671	1,318	25,90	126,82	16,50%	14,40%	19,20%	16,60%	19,20%	18,91
	4	1,573	1,280	26,30	122,91	16,10%	15,40%	17,90%	16,90%	17,90%	25,51
Velasco Ibarra - Unamuncho	5	1,420	1,411	21,20	100,61	17,30%	15,70%	18,80%	16,70%	18,80%	18,77
	6	1,358	1,329	26,50	102,16	12,80%	13,80%	13,50%	14,50%	14,50%	27,50
El Progreso - Cunchibamba	7	1,476	1,280	20,90	115,33	21,20%	23,00%	22,08%	23,50%	23,50%	19,14
	8	1,681	1,310	22,10	128,29	14,30%	13,80%	15,70%	15,00%	15,70%	18,04
Chaupi - Cunchibamba	9	1,548	1,400	16,50	110,58	15,40%	15,00%	16,90%	16,50%	16,90%	22,59
	10	1,438	1,669	15,70	86,14	8,60%	9,30%	10,20%	11,80%	11,80%	28,09
Puerto Arturo - Cunchibamba	11	1,746	1,628	13,10	107,28	14,50%	13,80%	17,80%	16,10%	17,80%	19,60
	12	1,543	1,641	13,30	94,04	21,20%	20,20%	22,80%	22,10%	22,80%	17,05

Fuente: Autoría propia

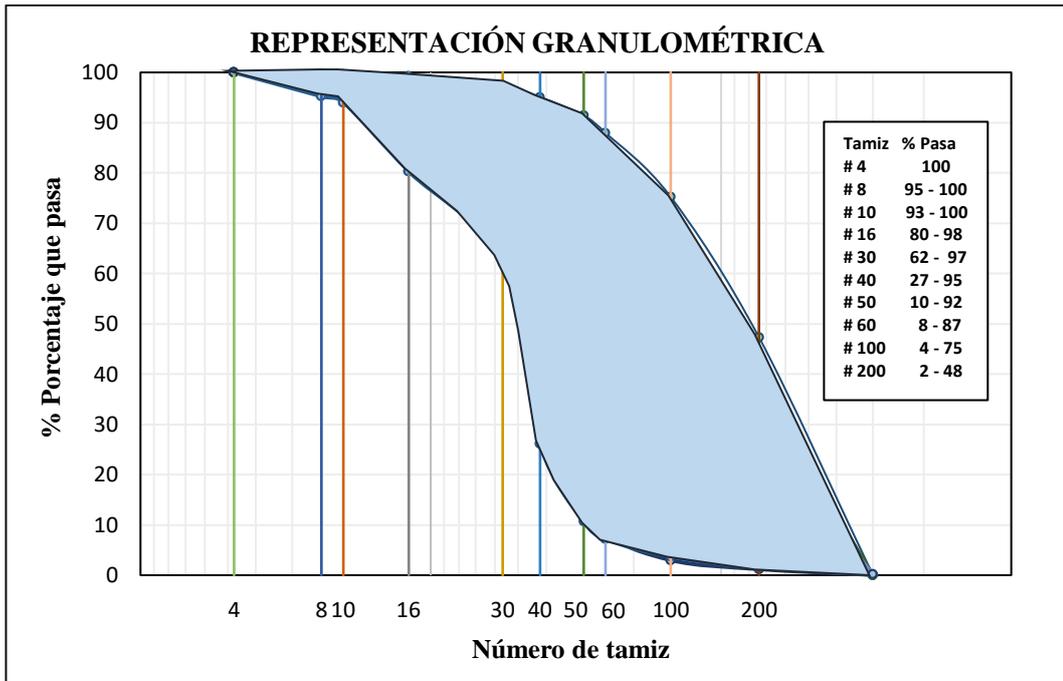


Fig. 14 Representación granulométrica de los suelos

Fuente: Autoría propia

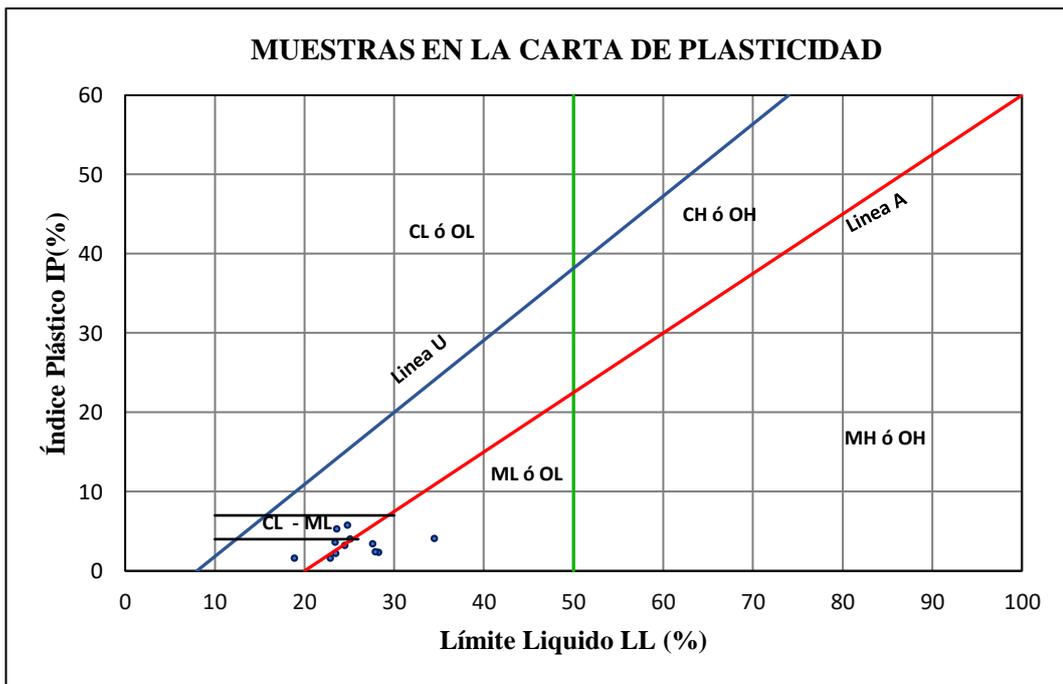


Fig. 15 Representación de las muestras en la carta de plasticidad

Fuente: Autoría propia

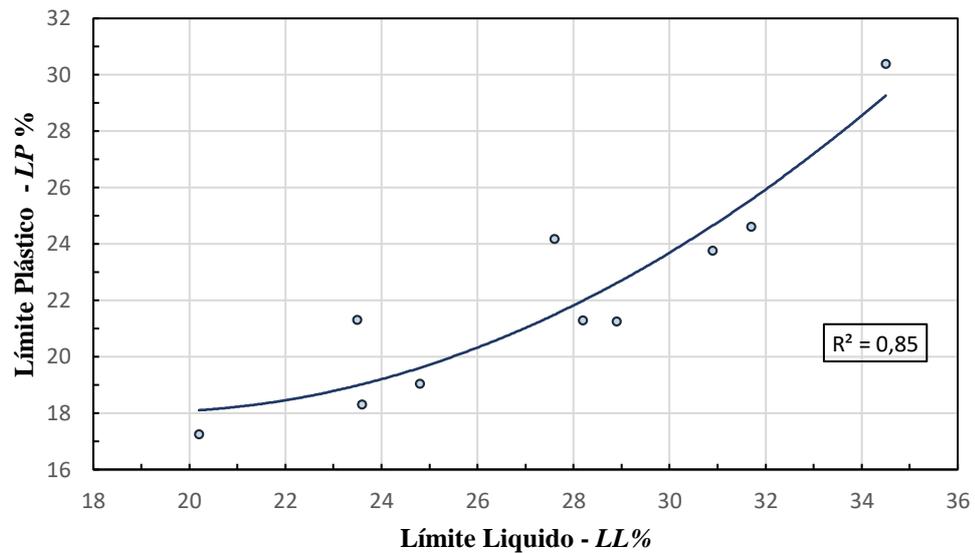
Tabla 26: Correlaciones entre las propiedades del suelo

Nº	Ecuación	Coefficiente correlación r ² (%)	Nº Muestras
CORRELACIONES ENTRE LAS PROPIEDADES ÍNDICE			
1	$LP = 0.0468 LL^2 - 1.7774 LL + 34.928$	85	10
2	$G_w = 30.381 \ln(W_{nat}) - 29.755$	75	12
3	$G_a = -2.345 W_{nat} + 88.64$	83	10
4	$W_{nat} = -156.07 G_s + 422.49$	84	12
5	$W_{opt} = -108,356 + 104,8546 \text{ Log} LL - 0,94111 LP$	73	12
6	$W_{opt} = 0.0002 \times LL^{1.6464} \times \gamma_{d \text{ in situ}}^{0.8645}$	61	12
7	$W_{opt} = 0.0784 LL^2 + 5.2128 LL - 62.201$	64	12
8	$\gamma_{d \text{ máx}} = 5184.57 - 2110.58 \text{ Log} LL - 0.4811 \gamma_{d \text{ in situ}}$	64	12
9	$\gamma_{d \text{ máx}} = 1991.78 - 4.6256(LL) - 21.4075(W_{nat})$	71	12
10	$\gamma_{d \text{ máx}} = 4454,49 - 2371,92 \text{ Log} LL + 16,29 LP$	55	12
11	$\gamma_{d \text{ in situ}} = 528.61 e^2 - 1653.7 e + 2449.3$	97	12
CORRELACIONES DN vs PROPIEDADES ÍNDICE			
12	$DN = 0.578 IP^2 - 4.5253 IP + 25.312$	54	10
13	$DN = 42.654 W_{nat}^{0.339}$	85	10
14	$DN = 0.0053 G_w^2 - 0.6285 G_w + 35.17$	86	10
15	$DN = 22,2433 + 0,9771 IP - 0,1421 G_a$	51	12
16	$\gamma_{d \text{ in situ}} = -45,5618 + 1,6604 DN + 1,0045 \gamma_{d \text{ máx}}$	99	12
17	$\gamma_{d \text{ máx}} = 0.1231 \times LL^{1.402} \times DN^{1.555}$	58	12
CORRELACIONES CBR vs PROPIEDADES ÍNDICE			
18	$CBR\% = 49,4647 - 42,4110 \text{ log} LL + 1,3351 LP$	54	12
19	$CBR\% = 0.2225 \ln(LP) - 0.5125$	61	10
20	$CBR\% = 0.0819 W_{opt}^{0.3574}$	64	10
21	$CBR\% = 269.27DN^{0.892}$	68	12

Fuente: Autoría propia

Correlación N° 1

LÍMITE PLÁSTICO vs LÍMITE LÍQUIDO



Ecuación: $LP = 0.0468 LL^2 - 1.7774 LL + 34.928$

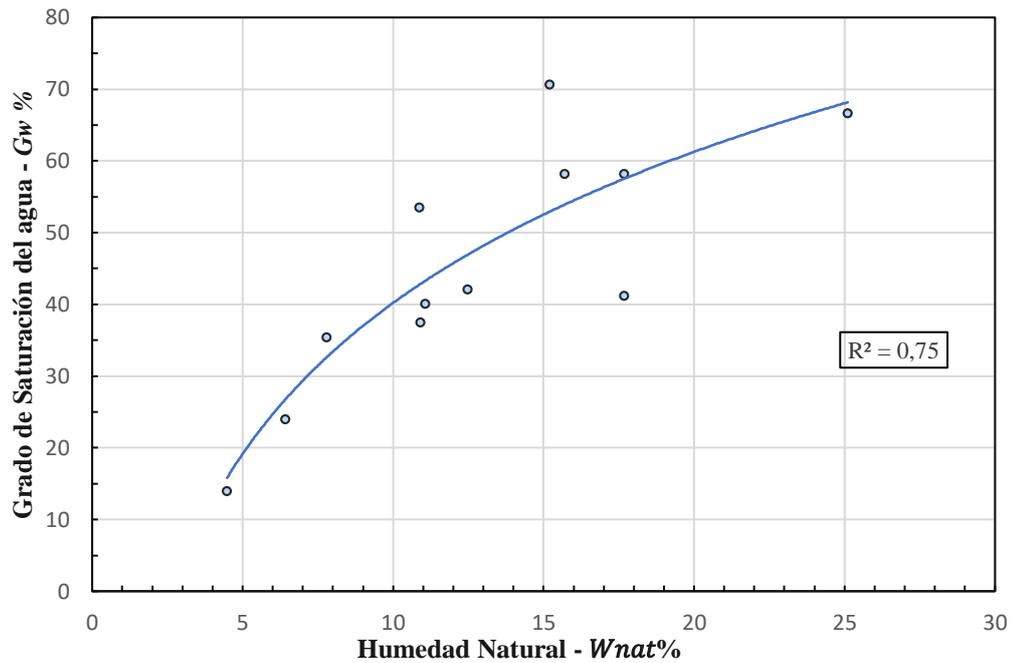
Coefficiente r^2 : 85 %

Discusión: Se elaboró un diagrama de dispersión con los datos de LL (límite líquido) y LP (límite plástico) donde se presenta una correlación buena se obtuvo un coeficiente de determinación $r^2 = 85\%$, el mismo que se consiguió mediante el análisis de los 12 tipos de suelo extraídos, es decir el 100% de las muestras. Se esperaba una correlación superior con una tendencia más proporcional en la gráfica, sin embargo, la ecuación de una línea de tendencia lineal es la que presentó mejor relación y ajuste para estos parámetros. El rango del LL% varía entre el (20% - 35%), mientras que el LP% entre (15%-30%).

Finalmente se puede apreciar que existe una correspondencia directamente proporcional, debido a que a medida que el LL% aumenta, este es congruente al LP%. Para el uso de la gráfica se debe tomar en cuenta los rangos que esta presenta y el criterio de resultados adquiridos.

Correlación N° 2

GRADO DE SATURACIÓN DEL AGUA vs HUMEDAD NATURAL



Ecuación: $G_w = 30.381 \ln(W_{nat}) - 29.755$

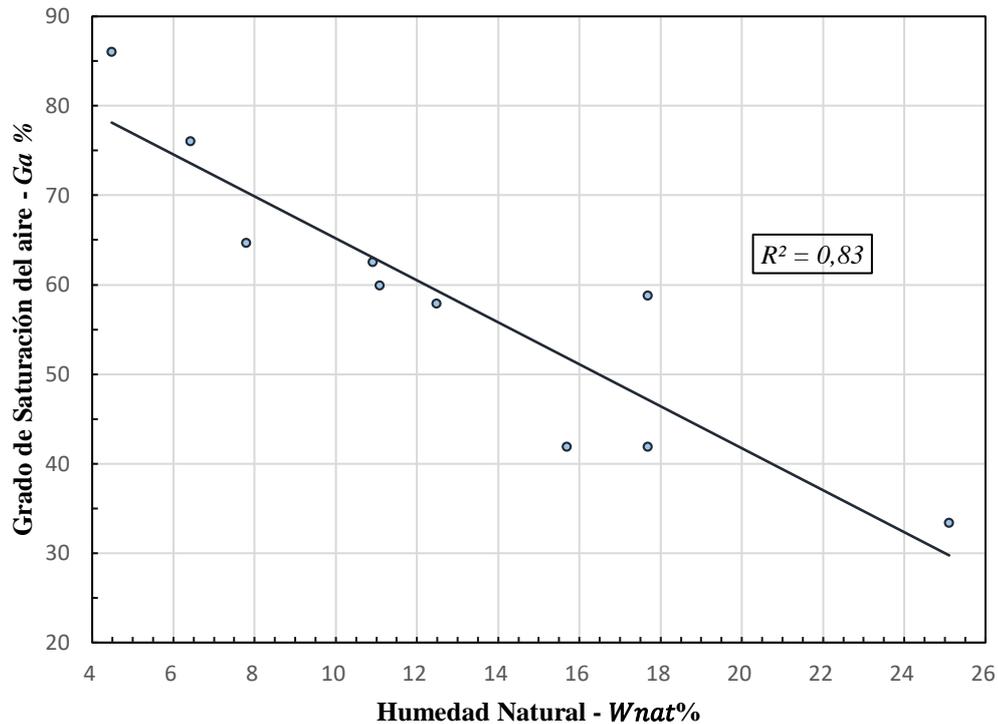
Coefficiente r^2 : 75 %

Discusión: En el diagrama de dispersión entre el Gw% (grado de saturación del agua) y la Wnat% (humedad natural) se puede apreciar que una línea de tendencia logarítmica consiguió mejor ajuste a estos 12 datos que representan el 100% de las muestras, y se indica una correlación buena donde se obtuvo un coeficiente de determinación $r^2 = 75\%$.

El gráfico indica que el rango de grado de saturación del agua varía entre el (10% - 75%) y la humedad natural entre el (4% - 26%). La relación de estos parámetros muestra que los vacíos de aire en el suelo se llenan de agua afectando la masa total y alterando la humedad natural, por este motivo existe correspondencia entre estas propiedades.

Correlación N° 3

GRADO DE SATURACIÓN DEL AIRE vs HUMEDAD NATURAL



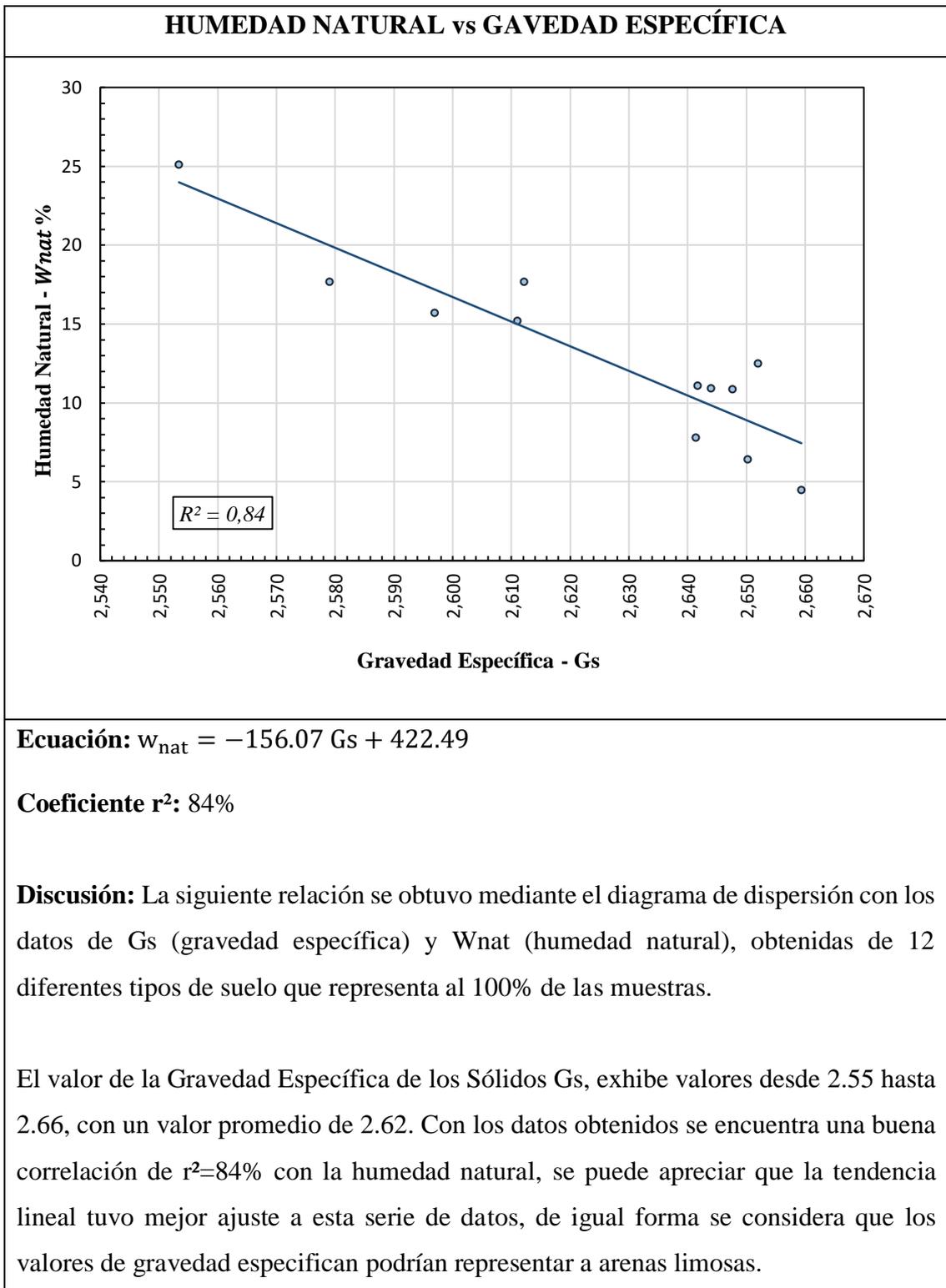
Ecuación: $G_a = -2.345 W_{nat} + 88.64$

Coefficiente r^2 : 83%

Discusión: Para dicho ajuste se procedió a correlacionar el $G_a\%$ (grado de saturación del aire) y la $W_{nat}\%$ (humedad natural) utilizando un diagrama de dispersión con el 83.3% de las muestras que corresponde a 10 datos de suelo. Se presenta un coeficiente de correlación $r^2 = 83\%$, según los parámetros estadísticos se puede apreciar que una línea de tendencia lineal tuvo un ajuste moderado, lo cual puede ser por una dispersión considerable entre los valores de esta serie de datos.

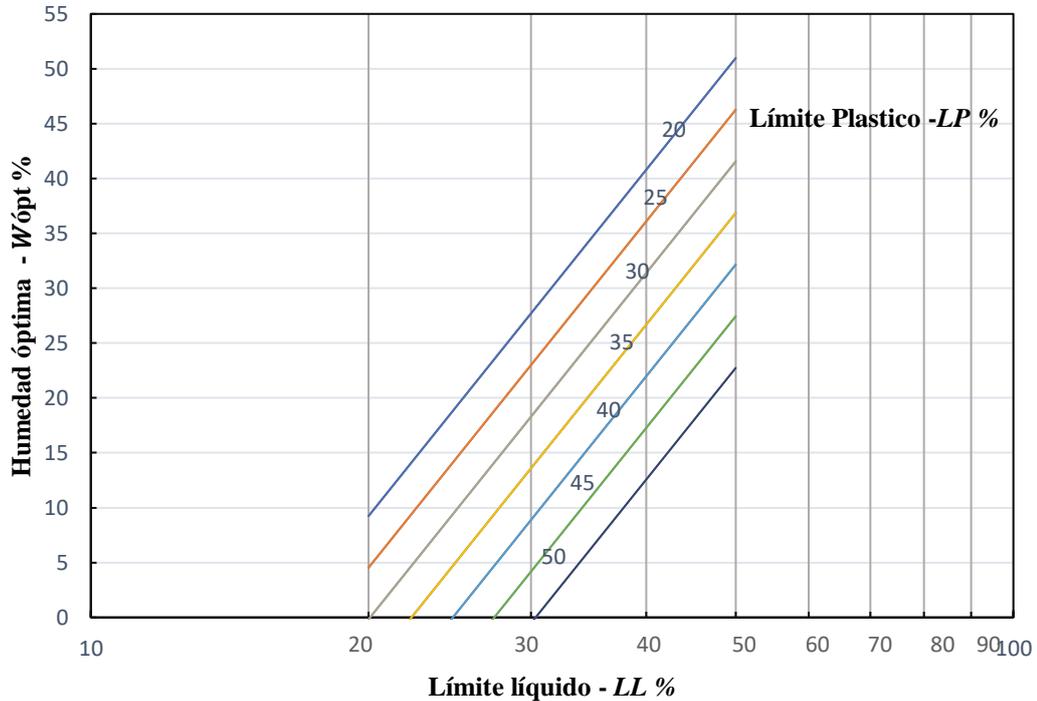
El gráfico indica que el rango de grado de saturación del aire varía entre el (25% -90%) y la humedad natural entre el (4% - 26%). La relación de estos parámetros muestra que mientras el suelo sea más suelto o con mayor cantidad de vacíos, este tiende a reducir su contenido de humedad, lo que quiere decir que es una relación inversa, a mayor presencia de aire menor será el porcentaje de humedad natural.

Correlación N° 4



Correlación N° 5

HUMEDAD ÓPTIMA vs. LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO



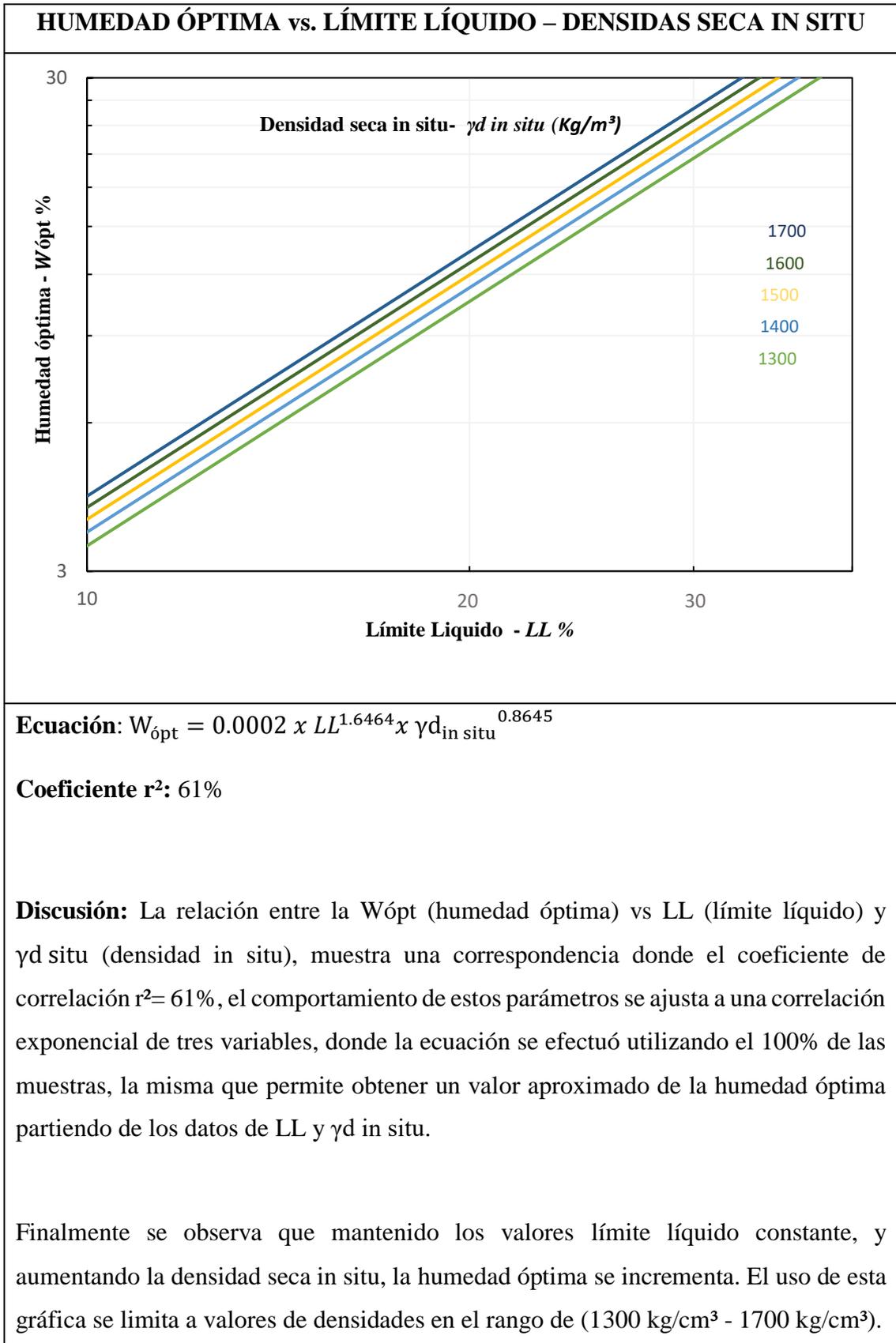
Ecuación: $W_{\text{ópt}} = -108,356 + 104,8546 \text{ Log(LL)} - 0,94111(\text{LP})$

Coefficiente r^2 : 73 %

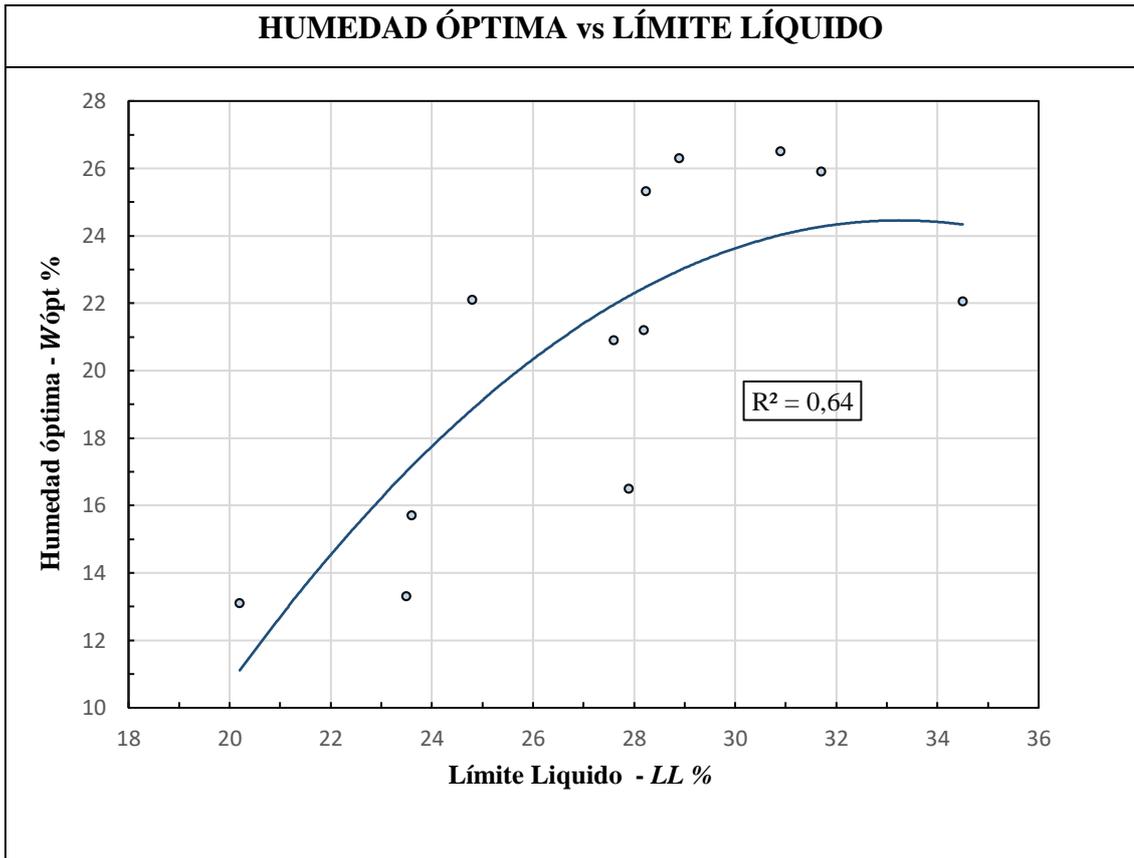
Discusión: La relación entre la W_{nat} (humedad natural) vs LL (límite líquido) y LP (Límite plástico) presenta una tendencia logarítmica múltiple con tres variables buena donde el coeficiente de correlación $r^2 = 73\%$. El extenso uso de los límites de Atterberg, principalmente en la clasificación de los suelos finos, nos ayudará a correlacionar el comportamiento ingenieril del mismo, En este caso nos permite obtener un valor aproximado de la humedad óptima para el tipo de suelo en estudio.

Para emplear esta gráfica se debe tomar en cuenta sus limitaciones puesto a que el rango del LL% y LP se encuentra entre el (10% - 35%). Para elaborar esta gráfica se utilizó el 100% de las muestras.

Correlación N° 6



Correlación N° 7



Ecuación: $W_{\text{ópt}} = 0.0784 LL^2 + 5.2128LL - 62.201$

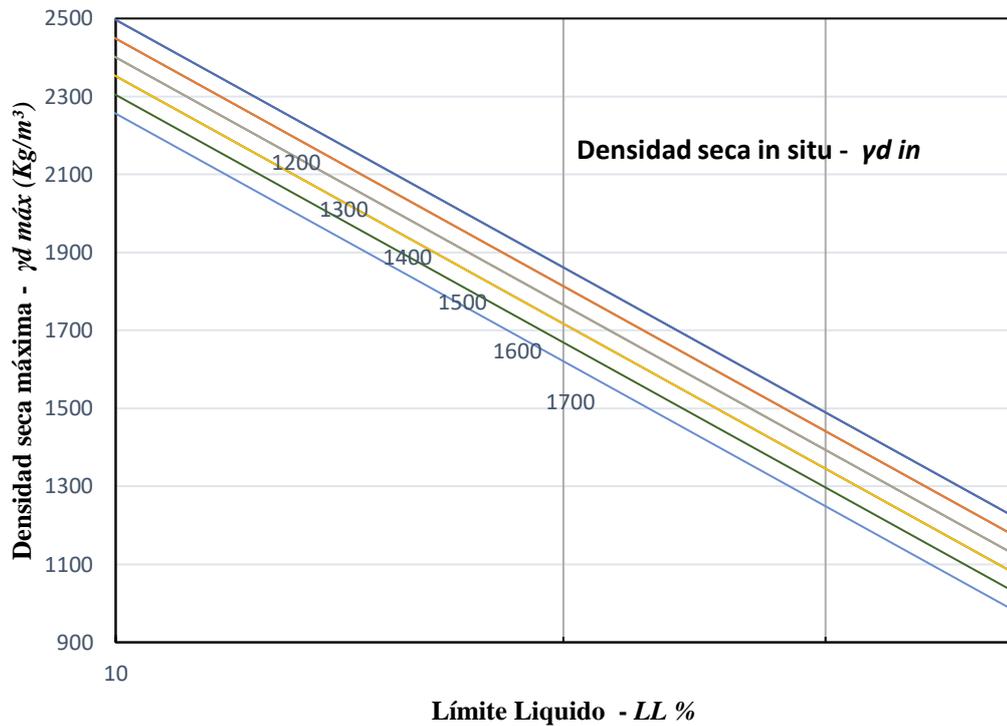
Coefficiente r²: 64%

Discusión: La correlación que presenta la W_{ópt} (humedad óptima) vs LL (Limite Líquido) no es muy favorable, muestra un coeficiente de determinación r²= 64%, sin embargo, supera el 50% que es el mínimo valor aceptable, debido a que no existe una buena dispersión de los datos analizados ya que estos pertenecen a diferentes grupos de suelo que muestran distinto comportamiento ante la absorción de agua.

Para esta correlación se consideró el 100% de la muestra donde la línea de tendencia polinómica de segundo grado presento un mejor ajuste. Para emplear esta gráfica se debe tomar en cuenta sus limitaciones puesto a que el rango del LL% se encuentra entre el (20% - 35%) y la humedad óptima entre (15% - 30%).

Correlación N° 8

DENSIDAD SECA MÁXIMA vs. LÍMITE LÍQUIDO-DENSIDAD SECA IN SITU



Ecuación: $\gamma_{d_{m\acute{a}x}} = 5184.57 - 2110.58 \text{ Log LL} - 0.4811 \gamma_{d_{in situ}}$

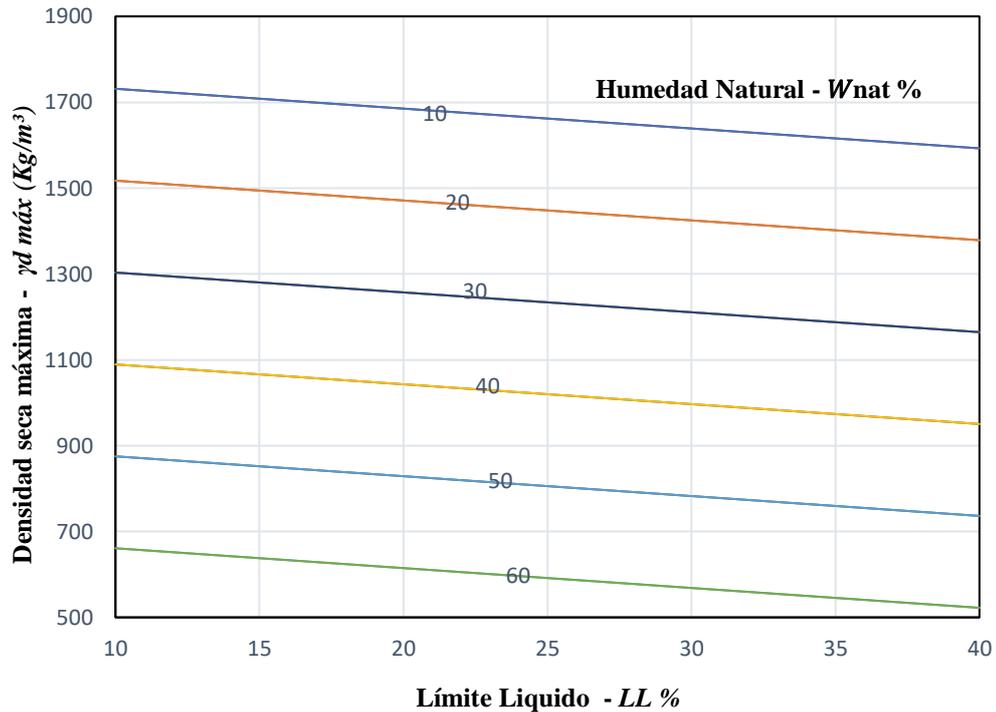
Coefficiente r²: 64%

Discusión: Existe una relación aceptable entre $\gamma_{d \text{ máx}}$. (Densidad seca máxima) vs LL (límite líquido) y $\gamma_{d \text{ in situ}}$. (Densidad seca in situ), el comportamiento de estas propiedades presenta una correlación logarítmica múltiple cuyo coeficiente de determinación $r^2= 64\%$, por esta razón se evidencia que conocido el valor del límite líquido y Densidad seca in situ es posible obtener valores aproximados de la densidad seca máxima.

En la gráfica se aprecia que el valor del LL% es constante, y mientras la $\gamma_{d \text{ in situ}}$ aumenta la $\gamma_{d \text{ máx}}$. también se incrementa, es decir es una relación directamente proporcional que fue obtenida con el 100% de las muestras.

.Correlación N° 9

DENSIDAD SECA MÁXIMA vs LÍMITE LÍQUIDO – HUMEDAD NATURAL



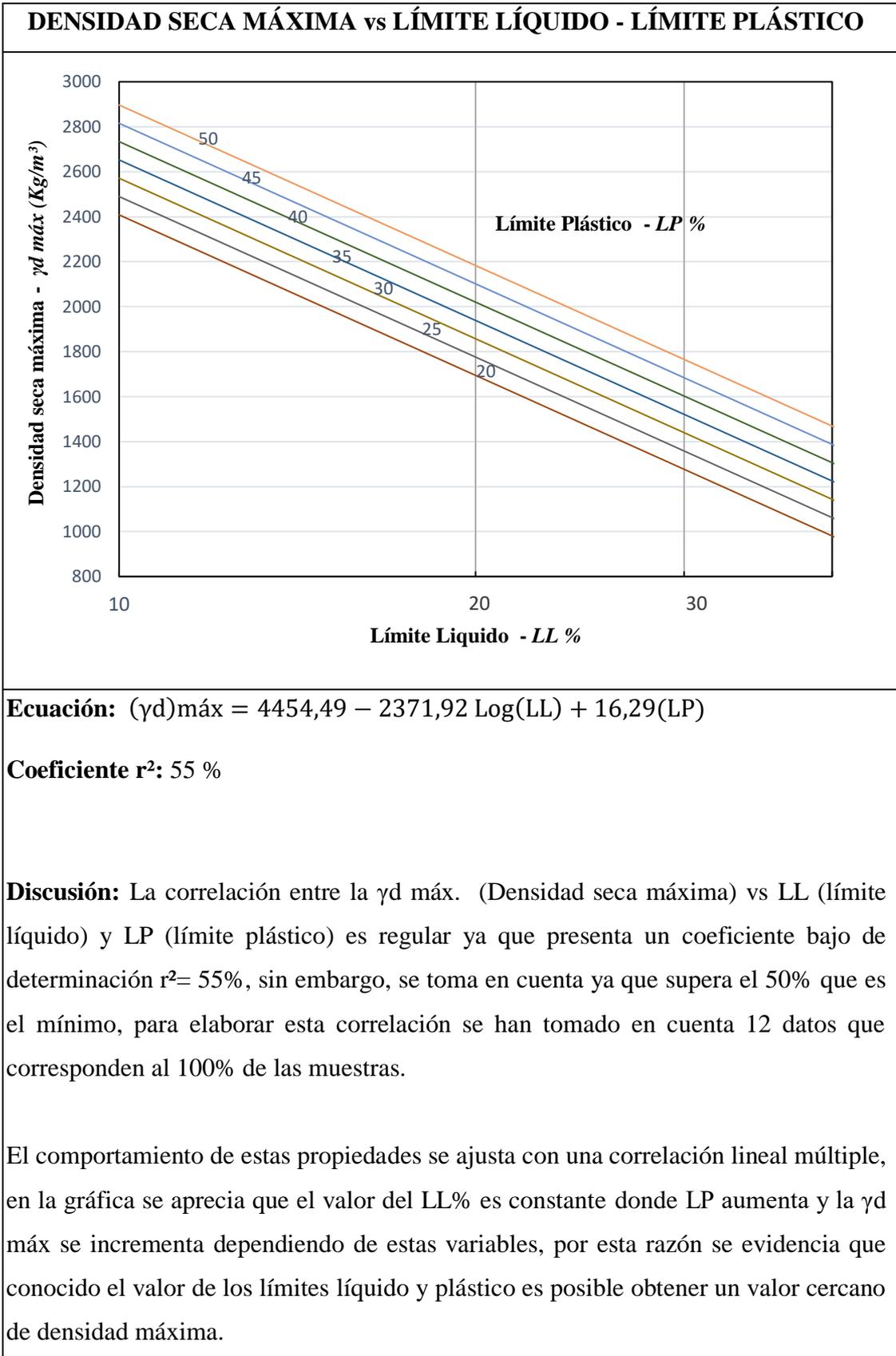
Ecuación: $\gamma_{d\text{máx}} = 1991.78 - 4.6256(LL) - 21.4075(W_{\text{nat}})$

Coefficiente r²: 71%

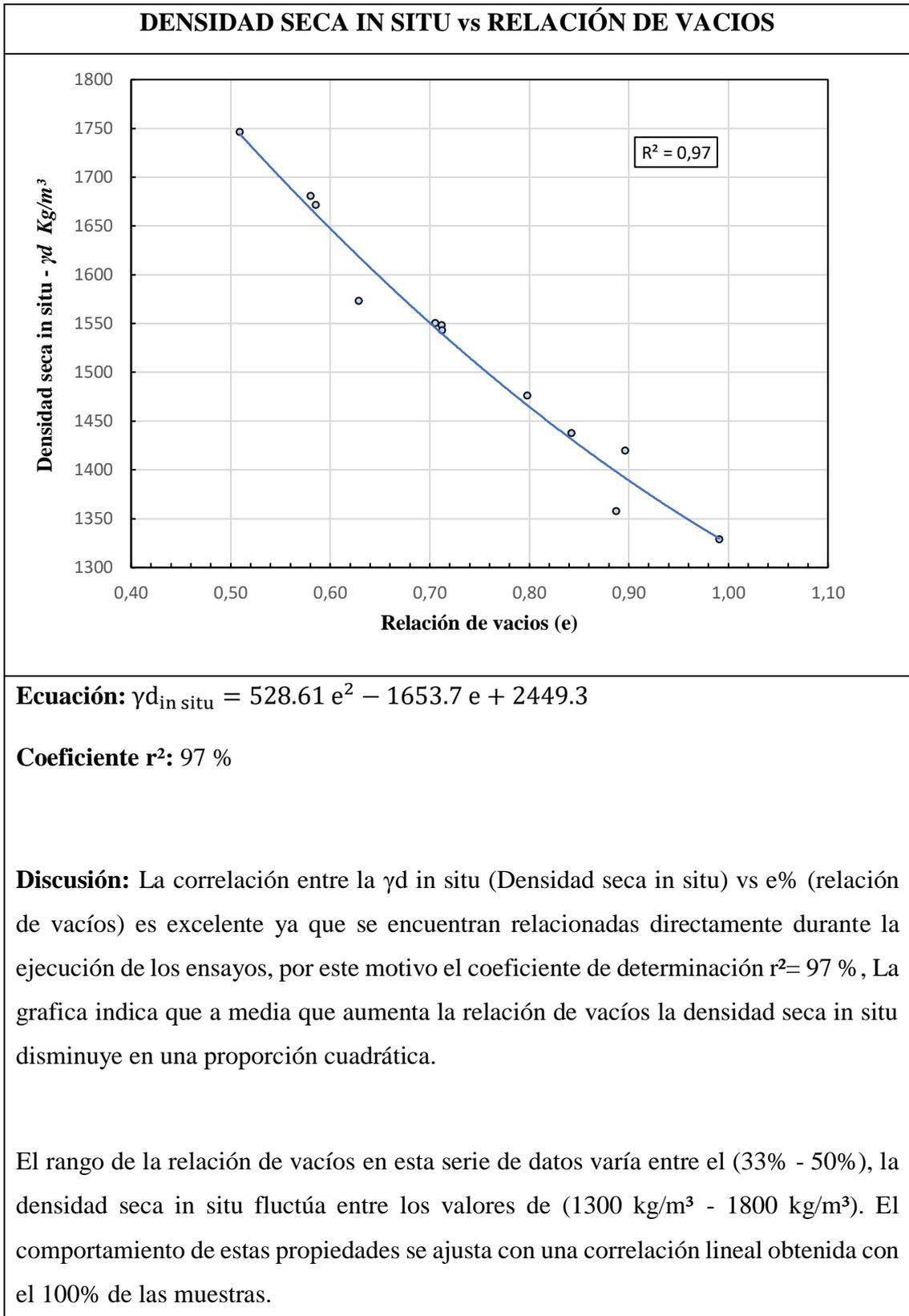
Discusión: Existe una buena relación entre $\gamma_{d\text{máx}}$. (Densidad seca máxima) vs LL (límite líquido) y Wnat (Humedad natural), el comportamiento de estas propiedades presenta una correlación lineal múltiple cuyo coeficiente de determinación $r^2= 71\%$, los ensayos de laboratorio y de campo están en condiciones de humedad diferente ya que la humedad en el LL es controlada a diferencia de la humedad en campo.

Para usar esta ecuación y obtener valores aproximados de densidad seca máxima es necesario conocer los valores límite líquido y humedad natural. Se utilizó 12 datos que corresponden al 100% de las muestras, en la gráfica se aprecia que cuando el valor del LL% es constante, la Wnat aumenta al igual que la $\gamma_{d\text{máx}}$.

Correlación N° 10

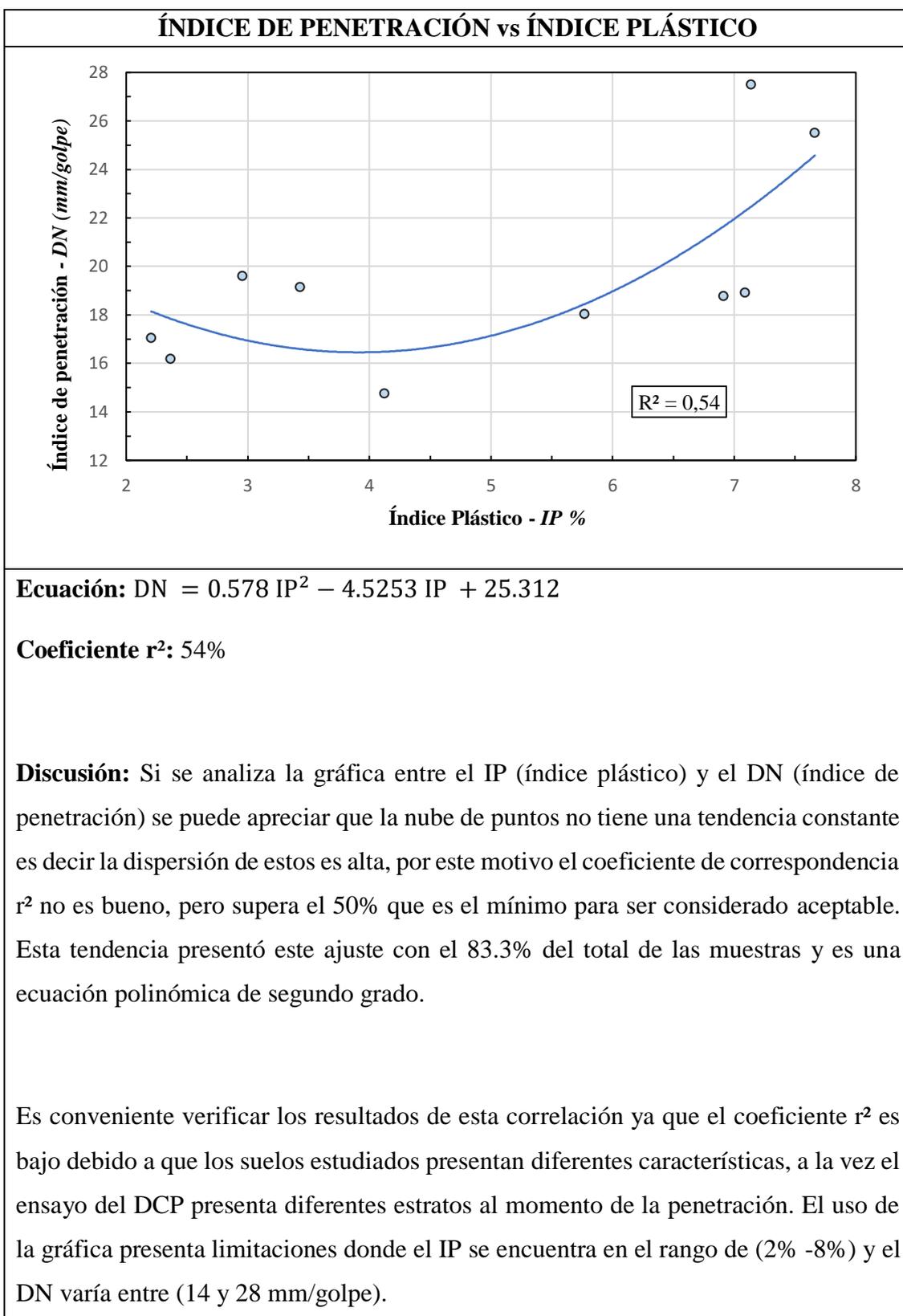


Correlación N° 11

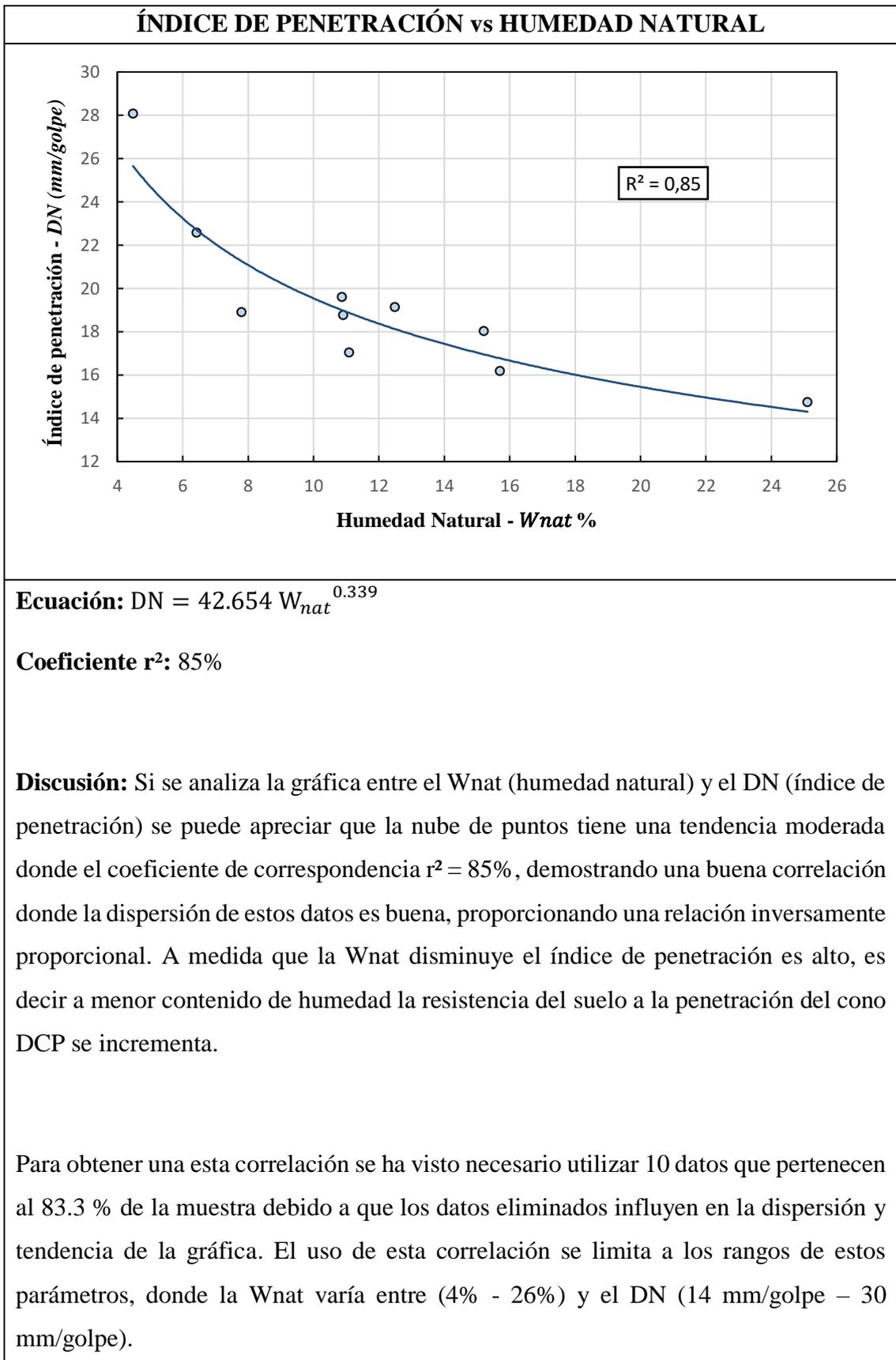


CORRELACIONES DN vs PROPIEDADES ÍNDICE

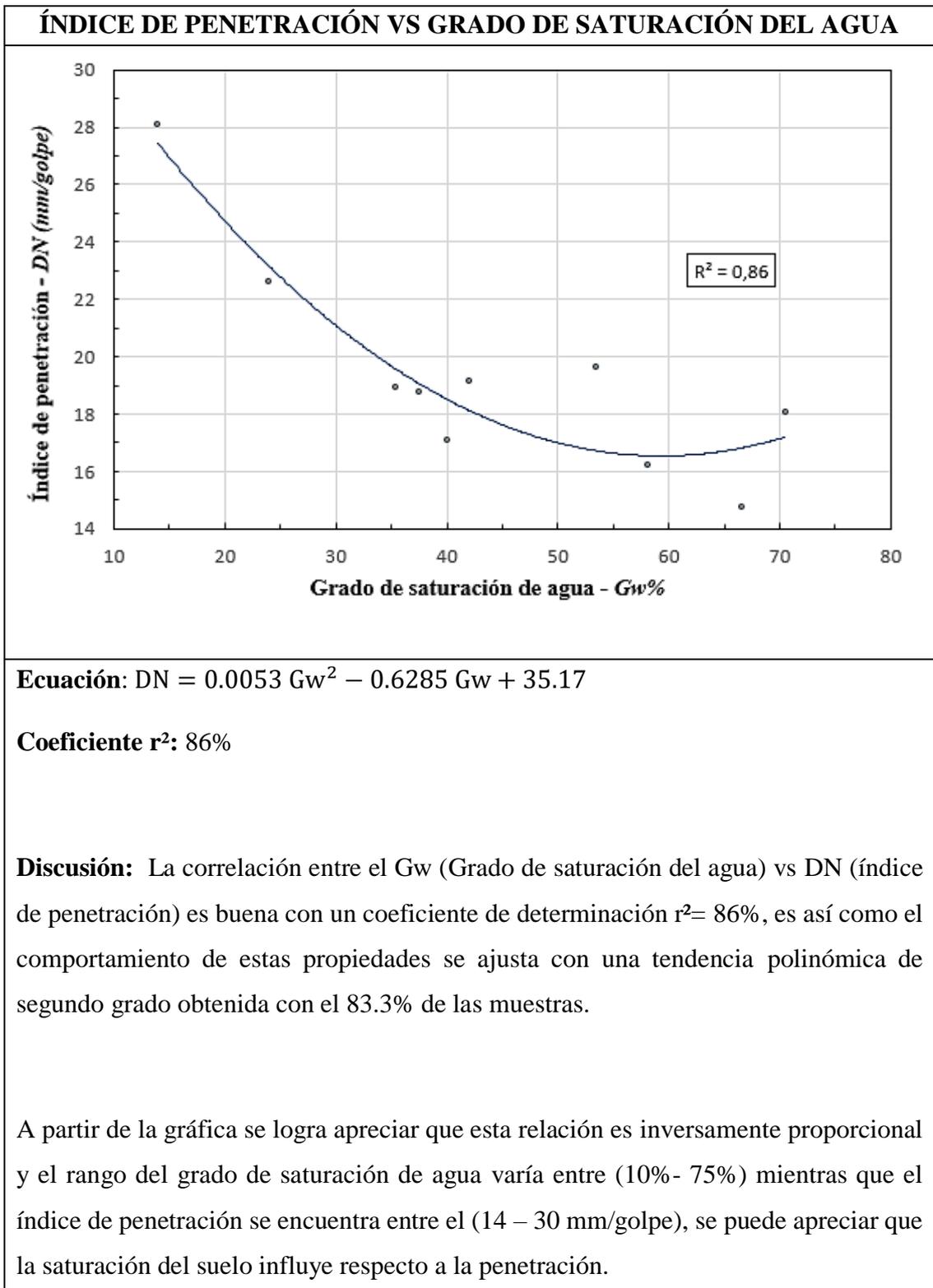
Correlación N° 12



Correlación N° 13

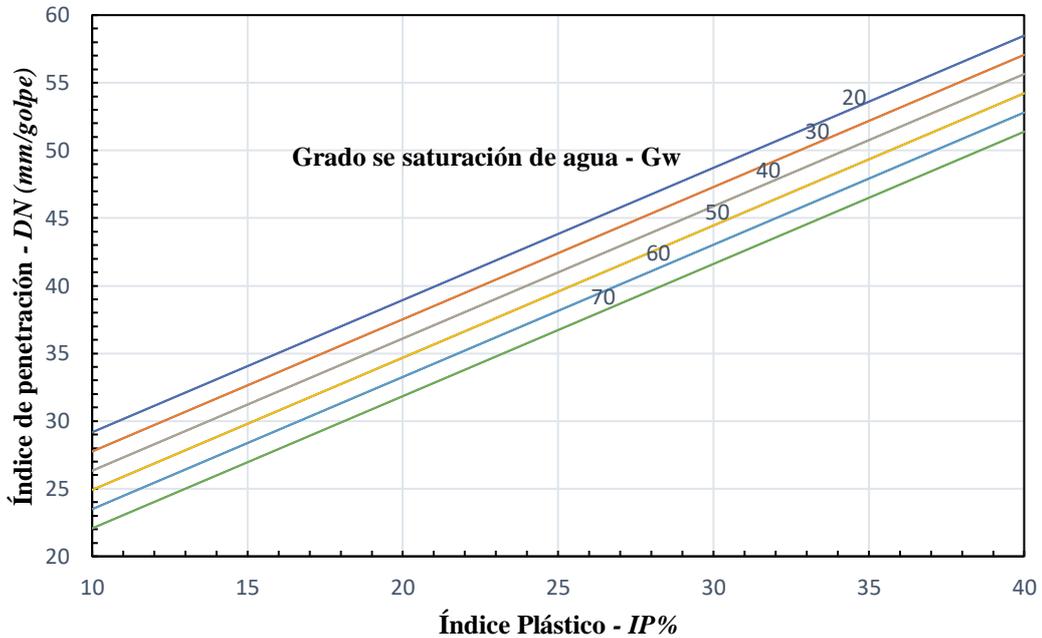


Correlación N° 14



Correlación N° 15

ÍNDICE DE PENETRACIÓN vs ÍNDICE PLÁSTICO - GRADO DE SATURACIÓN DEL AGUA



Ecuación: $DN = 22,2433 + 0,9771(IP) - 0,1421(Ga)$

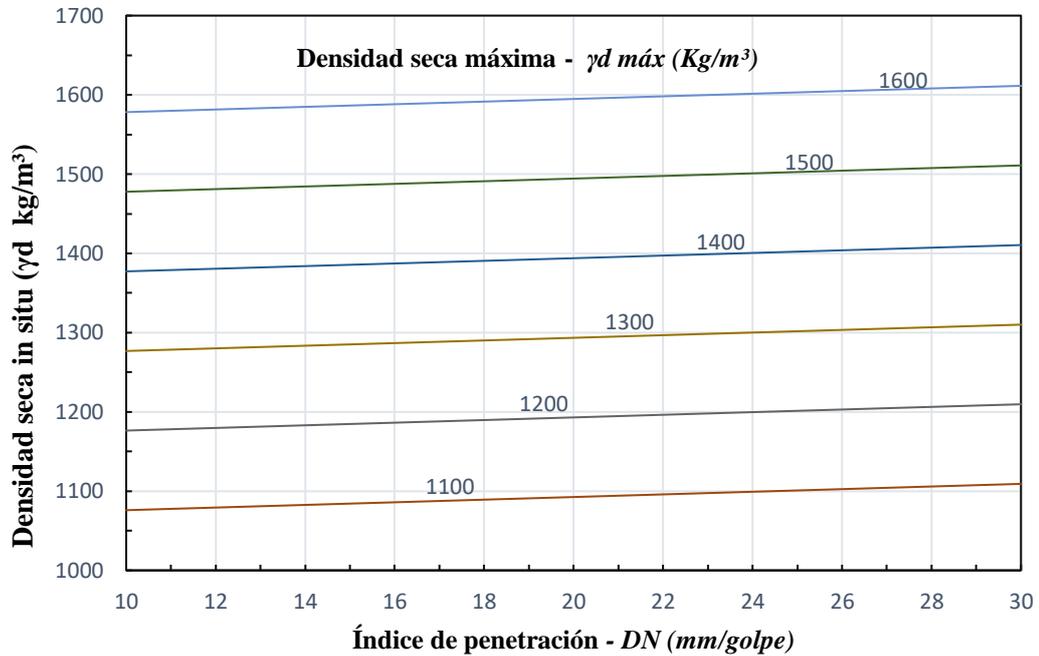
Coefficiente r^2 : 51%

Discusión: La correlación entre DN (índice de penetración) vs el IP (índice plástico) y Gw (Grado de saturación del agua) no presento una relación aceptable, el comportamiento de estas propiedades se ajusta con una tendencia lineal múltiple utilizando el 100% de la muestra, logrando superar el 50% del coeficiente de correspondencia r^2 .

A medida que el IP aumenta, el DN se incrementa, mientras más plástico es el suelo existe mayor presencia de partículas finas y mejora la cohesión de este.

Correlación N° 16

DENSIDAD SECA IN SITU vs ÍNDICE DE PENETRACIÓN - DENSIDAD SECA MÁXIMA



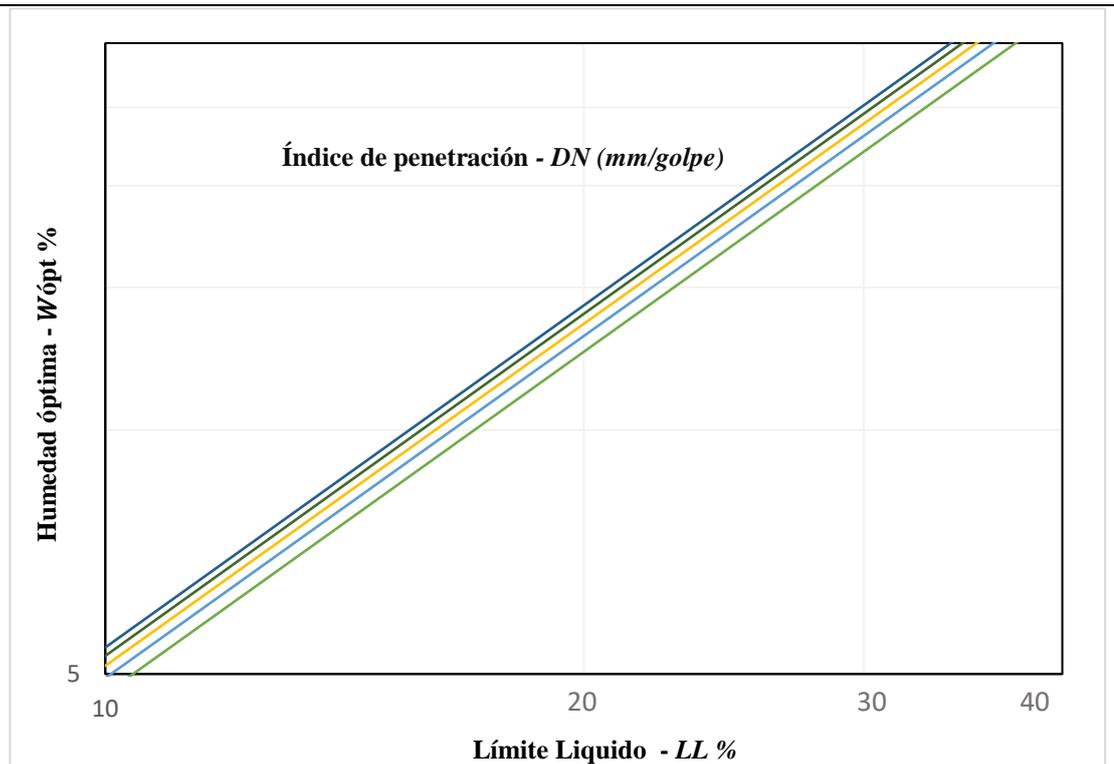
Ecuación: $\gamma_{d_{in\ situ}} = -45,5618 + 1,6604 (DN) + 1,0045(\gamma_{d_{máx}})$

Coefficiente r²: 99%

Discusión: La relación entre la γ_d seca in situ (densidad seca in situ) vs DN (índice de penetración) y γ_d máx (densidad máxima) muestra una excelente tendencia donde el coeficiente de correlación $r^2= 99\%$, el comportamiento de estos parámetros se ajusta a una correlación lineal múltiple de tres variables, donde la ecuación se efectuó utilizando el 100% de las muestras, la misma que permite obtener un valor aproximado de la densidad en campo a partir de los valores del índice de penetración y densidad máxima.

Correlación N° 17

HUMEDAD ÓPTIMA vs LÍMITE LÍQUIDO - ÍNDICE DE PENETRACIÓN



Ecuación: $W_{ópt} = 0.1231 \times LL^{1.402} \times DN^{1.555}$

Coefficiente r²: 58%

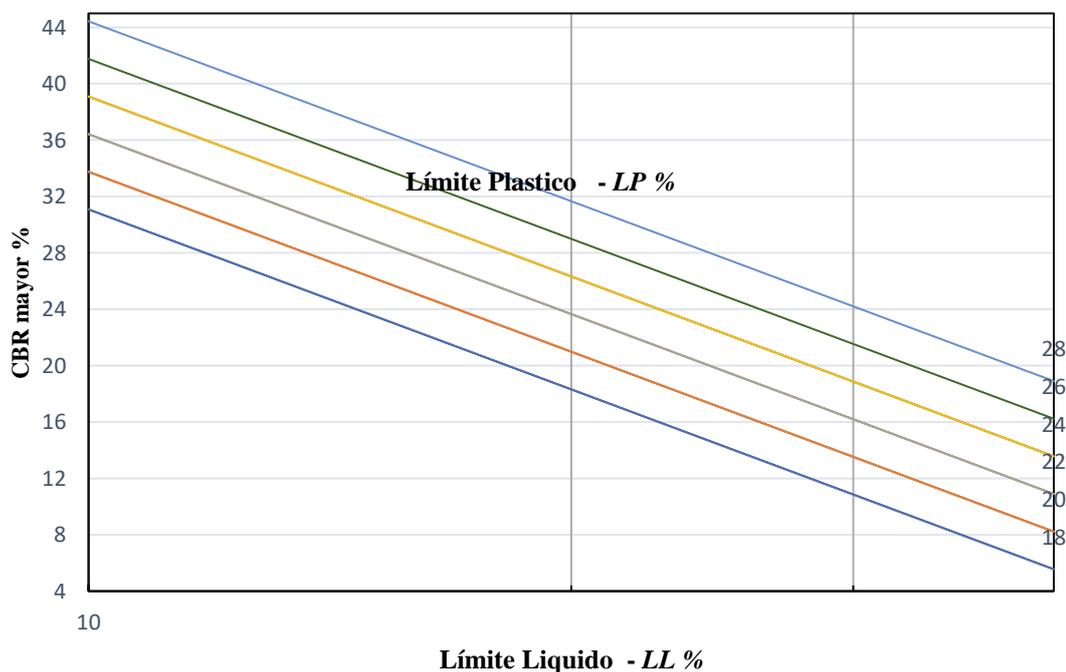
Discusión: La correlación entre la Wópt (Humedad óptima) vs DN (índice de penetración) y LL (Límite líquido) es aceptable ya que presenta un coeficiente de determinación r²= 58%. Se puede apreciar que a mayor γ_d máx. el DN aumenta, es decir existe mayor resistencia del suelo a la penetración de cono cuando este se encuentra más compactado. El comportamiento de estas propiedades se ajusta con una correlación lineal múltiple de tres variables, por esta razón se evidencia que conocido el valor del índice de penetración y el límite líquido es posible determinar la humedad óptima de un suelo granular.

Para efectuar esta relación se ha utilizado el 100% de las muestras.

CORRELACIONES CBR vs PROPIEDADES ÍNDICE

Correlación N° 18

RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA vs LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO



Ecuación: $CBR = 49.4647 - 42.4110 \log(LL) + 1.3351(LP)$

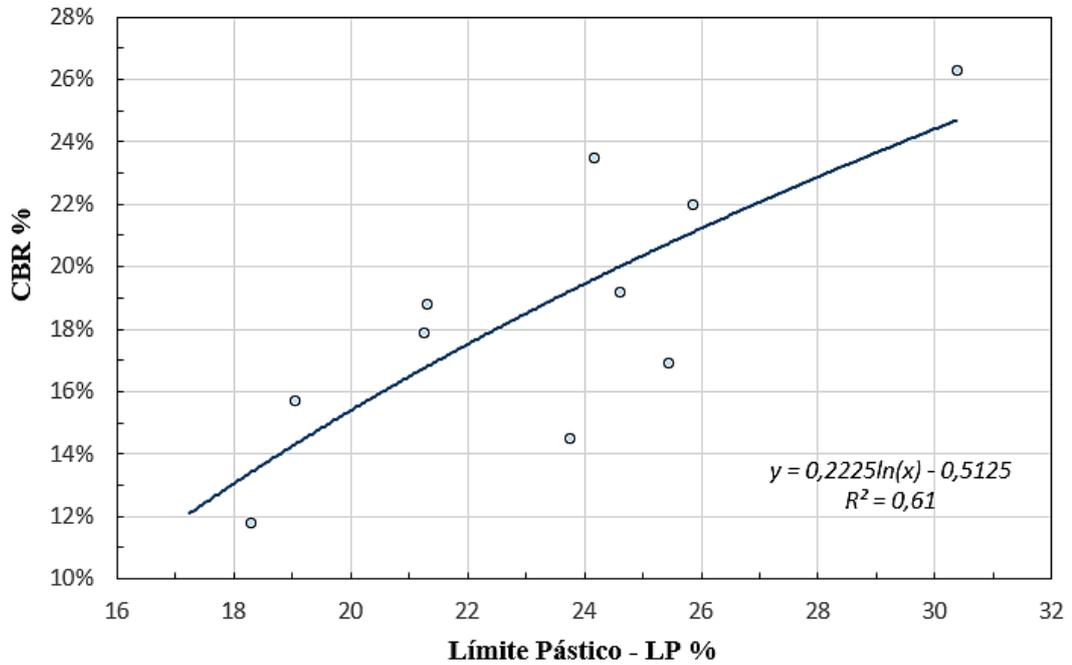
Coefficiente r^2 : 54 %

Discusión: El coeficiente de determinación entre CBR (Relación soporte California) vs LL (Límite Líquido) y LP (Límite Plástico) presenta una correlación aceptable donde $r^2= 54\%$, el comportamiento de estos parámetros se ajusta a una tendencia lineal múltiple de tres variables, donde la ecuación se efectuó utilizando el 100% de las muestras, la misma que permite obtener un valor aproximado de CBR a partir de los

Cuando el suelo absorbe más agua la tendencia de la resistencia de CBR es decreciente.

Correlación N° 19

RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA vs. LÍMITE PLÁSTICO



Ecuación: $CBR_{\text{mayor}} = 0,2225 \ln(LP) - 0,5125$

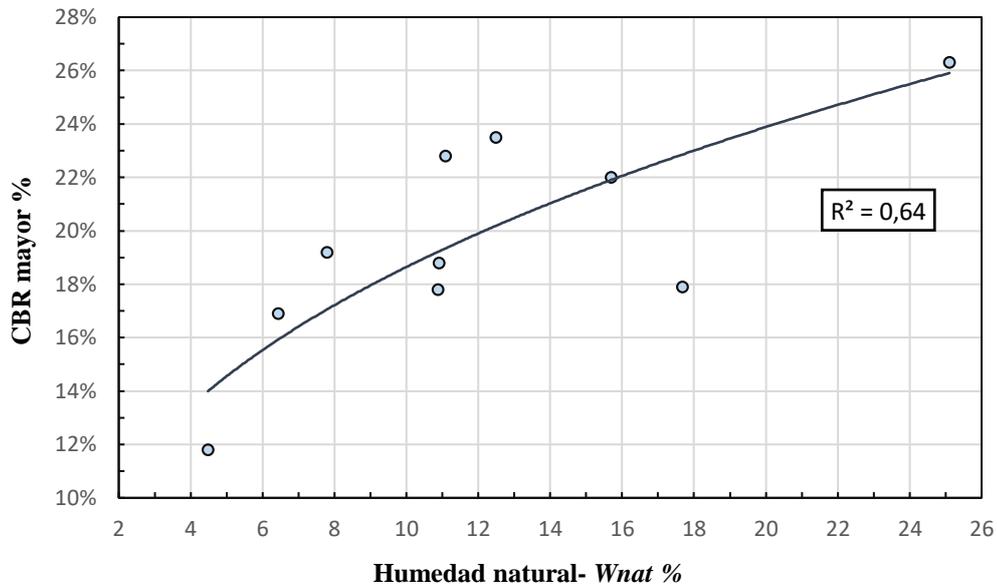
Coefficiente r^2 : 61 %

Discusión: Al comparar el CBR (relación de soporte californiana) con el LP (límite plástico), se puede observar una tendencia logarítmica creciente, donde el coeficiente de determinación es aceptable, debido a que el CBR no depende de un único parámetro y los ensayos de consistencia tienen diferentes condiciones de humedad controladas.

Para realizar esta correlación se consideró el 83,3% de las muestras. Al utilizar la gráfica se debe considerar el rango del CBR% que varía entre (10% - 28%) y el LP entre (16% - 32%).

Correlación N° 20

RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA vs. HUMEDAD NATURAL



Ecuación: $CBR = 0.0819 W_{nat}^{0.3574}$

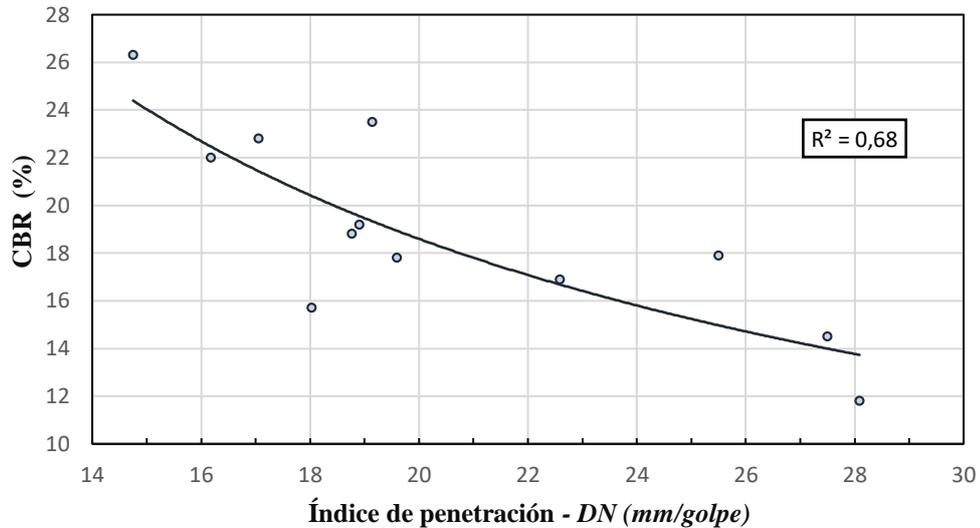
Coefficiente r^2 : 64%

Discusión: La correlación entre el Wnat (Humedad Natural) vs CBR (Relación de soporte California) es regular con un coeficiente de determinación $r^2= 64\%$, el mejor ajuste que se pudo comprobar es el de una tendencia potencial conseguido con el 83.3% del total de las muestras. El CBR se realiza mediante condiciones controladas de humedad y con muestras alteradas, mientras la humedad natural se obtiene mediante muestras inalteradas, es por esta razón este coeficiente r^2 revela valores bajos.

A partir de la gráfica se logra apreciar que esta relación es directamente proporcional, el rango de la Wnat varía entre (4%- 26%) mientras que los valores de CBR se encuentran entre (15% – 30%), por medio de esta ecuación es posible lograr valores aproximado de CBR.

Correlación N° 21

RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA vs ÍNDICE DE PENETRACIÓN



Ecuación: $CBR \% = 269.27 DN^{0.892}$

Coefficiente r^2 : 68%

Discusión: La correlación entre el CBR (relación de soporte californiana) y el DN (índice de penetración) es aceptable con un coeficiente de determinación $r^2 = 68\%$, conseguido a través de una dispersión de 12 datos correspondientes al 100% de las muestras de suelo. A partir de la gráfica se logra apreciar que esta relación es inversamente proporcional, el rango del DN varía entre (14%- 30%) mientras que los valores de CBR se encuentran entre (10% – 28%).

Los resultados obtenidos en esta investigación ayudarán a tener una mejor caracterización de la subrasante para el diseño del pavimento, A partir del ensayo de DCP se puede estimar un valor aproximado de CBR in situ mediante la ecuación que mejor tendencia presenta con las variables de CBR y DCP de las muestras en estudio.

Comparación entre la ecuación establecida por la norma de ASTM y la ecuación realizada mediante los suelos de estudio.

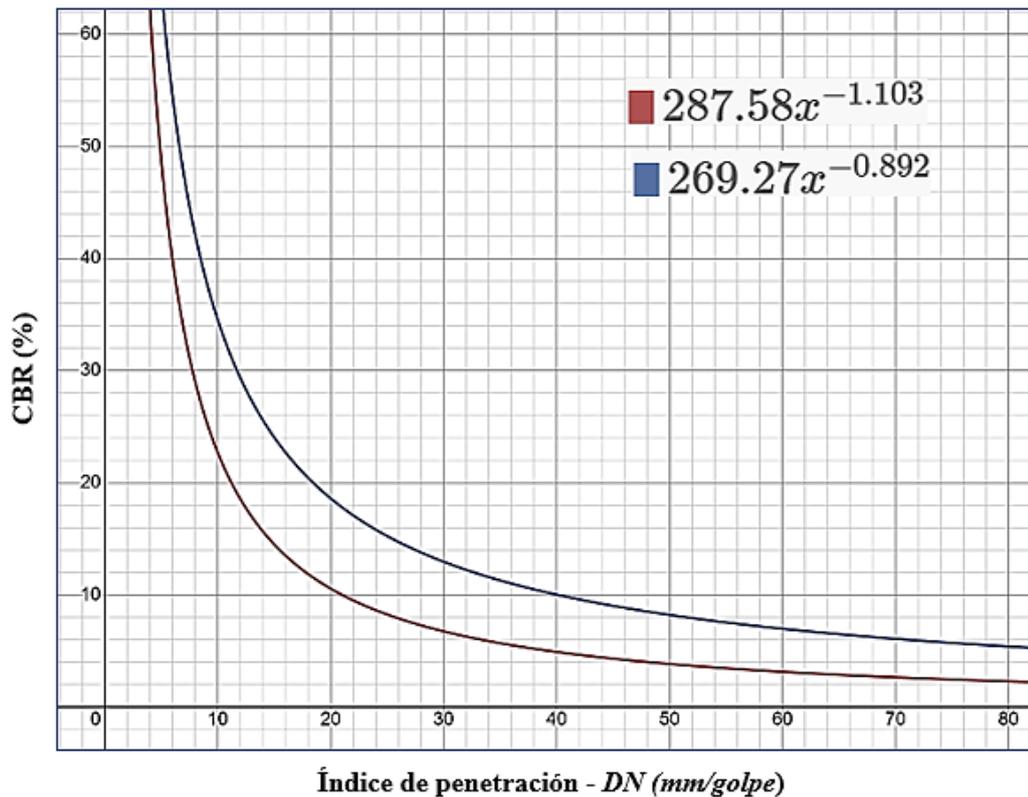


Fig. 16 Comparación entre ecuaciones que relacionan el CBR y DCP

Fuente: Autoría propia

Por medio del ensayo del DCP in situ y CBR de laboratorio de las 12 muestras, se mostró la ecuación $CBR \% = 269.27 DN^{-0.892}$ la misma que presentó un ajuste que se considera bueno, $r^2 = 68\%$.

Al momento de evaluar el tipo de tendencia se comprueba que la regresión potencial resulto ser una función que se comporta de la misma forma con la ecuación de la norma ASTM - $CBR \% = 287.58 DN^{-1.103}$.

3.2 Diseño de pavimento flexible método AASHTO 93

Para obtener una comparación entre el CBR de laboratorio y el obtenido mediante la gráfica de la correlación N.º 21, se ha desarrollado el diseño con los dos valores.

CBR = 14.5% → de laboratorio

CBR = 14% → Gráfica de la correlación N° 21

Diseño del pavimento con el CBR de laboratorio

Tabla 27: Datos para el diseño de pavimentos

CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES	
Módulo de elasticidad de la mezcla asfáltica (ksi)	450,00
Módulo de resiliencia de la base granular (ksi)	42,21
Módulo de resiliencia de la Sub-base (ksi)	27,08
DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE	
Numero de ejes equivalentes total (w18)	114.000
Factor de confiabilidad (r)	80%
Desviación estándar normal (zr)	-0,841
Desviación estándar global (so)	0,45
Módulo de resiliencia de la subrasante (Mr, ksi)	17,06
Serviciabilidad inicial (pi)	4,2
Serviciabilidad final (pt)	2
Periodo de diseño (años)	20
DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO	
COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA	
Concreto Asfáltico Convencional (a1)	0,44
Base granular (a2)	0,132
Subbase (a3)	0,12
COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA	
Base granular (m2)	1,15
Subbase (m3)	1,15

Fuente: Autoría propia

Para el cálculo del Módulo de resiliencia de la subrasante se realizó mediante la siguiente formula:

$$Mr = 3000 CBR^{0.65} \rightarrow PSI \rightarrow \text{Formula para la subrasante}$$

El módulo de elasticidad de la carpeta asfáltica se propone de 430 ksi

El módulo de resiliencia de la base y sub-base se obtiene mediante los ábacos de las figuras 10 y 11 que nos proporciona la AASHTO – 93.

Tabla 28 Módulos de elasticidad y resiliencia de los materiales del pavimento

Descripción	CBR	Mr (Ksi)	Mr (Psi)
A. Módulo de elasticidad de la carpeta asfáltica		430	Norma
B. Módulo de resiliencia de la base granular	80	28.7	Ábaco
C. Módulo de resiliencia de la sub-base	40	16.5	Ábaco
D. Módulo de Resiliencia de la Subrasante	14,5	17,1	Fórmula

Fuente: Autoría propia

Para el cálculo de ejes equivalentes es necesario obtener el factor de daño, para ello se ha empleado la solución de la AASHTO, la misma que depende de la configuración del vehículo por medio de sus ejes.

Tabla 29: Factores de daño TF según el tipo de vehículo

Tipo de vehículo	Distribución de ejes (Peso en Ton)		Simple	Simple Doble	Tándem	Tridem	Factor daño
			$\frac{P^4}{6.6}$	$\frac{P^4}{8.2}$	$\frac{P^4}{15}$	$\frac{P^4}{23}$	
Livianos							
Buses	4	8	0,13	0,91			1,04
2DA - Camión dos ejes pequeños	3	7	1,31	2 ejes simples			1,31
2DB - Camión dos ejes grandes	7	11	1,27	3,24			4,50
V2DB - Volqueta dos ejes 8m³	7	11	1,27	3,24			4,50
T2 - Tracto camión de 2 ejes	7	11	1,27	3,24			4,50

Fuente: Guía AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Tabla 30: Cálculo del ESAL

Año	% crecimiento			TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL							W18 diseño por año	W18 diseño acumulado	W18 por carril de diseño	
	Livianos	Buses	Pesados	Livianos	Buses	Pesados				TPD TOTAL			Por carril	Por dirección
						2DA	2DB	V2DB	T2					
2019	3,97	1,97	1,94	35	11	6	4	8	2	66	1,50E+04	1,50E+04	1,50E+04	7,51E+03
2020	3,97	1,97	1,94	36	11	6	4	8	2	68	1,53E+04	3,03E+04	3,03E+04	1,52E+04
2021	3,57	1,78	1,74	38	11	6	4	8	2	70	1,56E+04	4,60E+04	4,60E+04	2,30E+04
2022	3,57	1,78	1,74	39	12	6	4	8	2	72	1,59E+04	6,19E+04	6,19E+04	3,09E+04
2023	3,57	1,78	1,74	40	12	6	4	9	2	74	1,62E+04	7,81E+04	7,81E+04	3,90E+04
2024	3,57	1,78	1,74	42	12	7	4	9	2	76	1,65E+04	9,46E+04	9,46E+04	4,73E+04
2025	3,57	1,78	1,74	43	12	7	4	9	2	78	1,68E+04	1,11E+05	1,11E+05	5,57E+04
2026	3,25	1,62	1,58	45	12	7	5	9	2	80	1,72E+04	1,29E+05	1,29E+05	6,43E+04
2027	3,25	1,62	1,58	46	13	7	5	9	2	82	1,75E+04	1,46E+05	1,46E+05	7,31E+04
2028	3,25	1,62	1,58	48	13	7	5	10	2	84	1,78E+04	1,64E+05	1,64E+05	8,20E+04
2029	3,25	1,62	1,58	49	13	7	5	10	2	87	1,82E+04	1,82E+05	1,82E+05	9,11E+04
2030	3,25	1,62	1,58	51	13	7	5	10	2	89	1,85E+04	2,01E+05	2,01E+05	1,00E+05
2031	3,25	1,62	1,58	53	13	8	5	10	3	91	1,89E+04	2,19E+05	2,19E+05	1,10E+05
2032	3,25	1,62	1,58	54	14	8	5	10	3	94	1,92E+04	2,39E+05	2,39E+05	1,19E+05
2033	3,25	1,62	1,58	56	14	8	5	10	3	96	1,96E+04	2,58E+05	2,58E+05	1,29E+05
2034	3,25	1,62	1,58	58	14	8	5	11	3	99	2,00E+04	2,78E+05	2,78E+05	1,39E+05
2035	3,25	1,62	1,58	60	14	8	5	11	3	101	2,03E+04	2,99E+05	2,99E+05	1,49E+05
2036	3,25	1,62	1,58	62	15	8	6	11	3	104	2,07E+04	3,19E+05	3,19E+05	1,60E+05
2037	3,25	1,62	1,58	64	15	8	6	11	3	107	2,11E+04	3,40E+05	3,40E+05	1,70E+05
2038	3,25	1,62	1,58	66	15	9	6	12	3	110	2,15E+04	3,62E+05	3,62E+05	1,81E+05
2039	3,25	1,62	1,58	68	15	9	6	12	3	113	2,19E+04	3,84E+05	3,84E+05	1,92E+05

Fuente: Autoría propia

En el programa de la AASHTO 93 es posible conocer el valor del número estructural (SN) de la subrasante a partir de los parámetros que se indica a continuación, los mismos que depende de la configuración de la vía en estudio.

Tabla 31: Datos de ingreso al programa AASHTO 93

DATOS DE INGRESO AL PROGRAMA	
Numero de ejes equivalentes total (w18)	114.000
Factor de confiabilidad (R)	80%
Desviación estándar normal (Zr)	-0,841
Desviación estándar global (so)	0,45
Módulo de resiliencia de la subrasante (Mr, Psi)	17100
Serviciabilidad inicial (pi)	4,2
Serviciabilidad final (pt)	2

Fuente: Autoría propia

Programa AASHTO 93

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It contains several input fields and a calculation button. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '80 % Zr=-0.841' and 'So 0.45'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial 4.2' and 'PSI final 2'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section shows 'Mr 17100 psi'. The 'Información adicional para pavimentos rígidos' section has empty fields for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 192000' displayed. The 'Número Estructural' section shows 'SN = 1.76'. At the bottom, there are 'Calcular' and 'Salir' buttons.

Fig. 17 Interfaz del programa AASHTO

Fuente: Guía AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

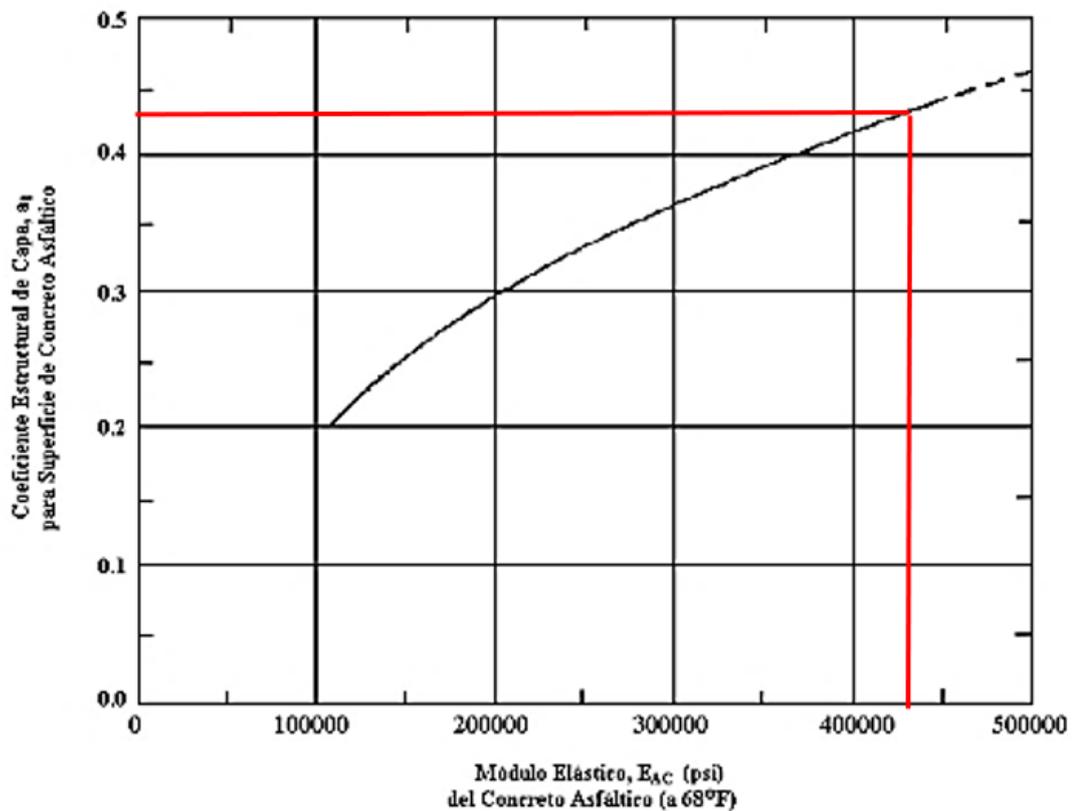
Coefficientes estructurales

Para obtener el valor de los coeficientes estructurales es necesario conocer el valor del CBR de la base y sub-base del pavimento y el módulo elástico de la capa asfáltica.

Para este caso se ha tomado en cuenta las especificaciones del MTOP, donde establece que el CBR mínimo para bases es 80% y para sub-base es 30%.

Coefficiente estructural de la carpeta asfáltica (a1)

Fig. 12 Ábaco para estimar el número estructural a1



Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

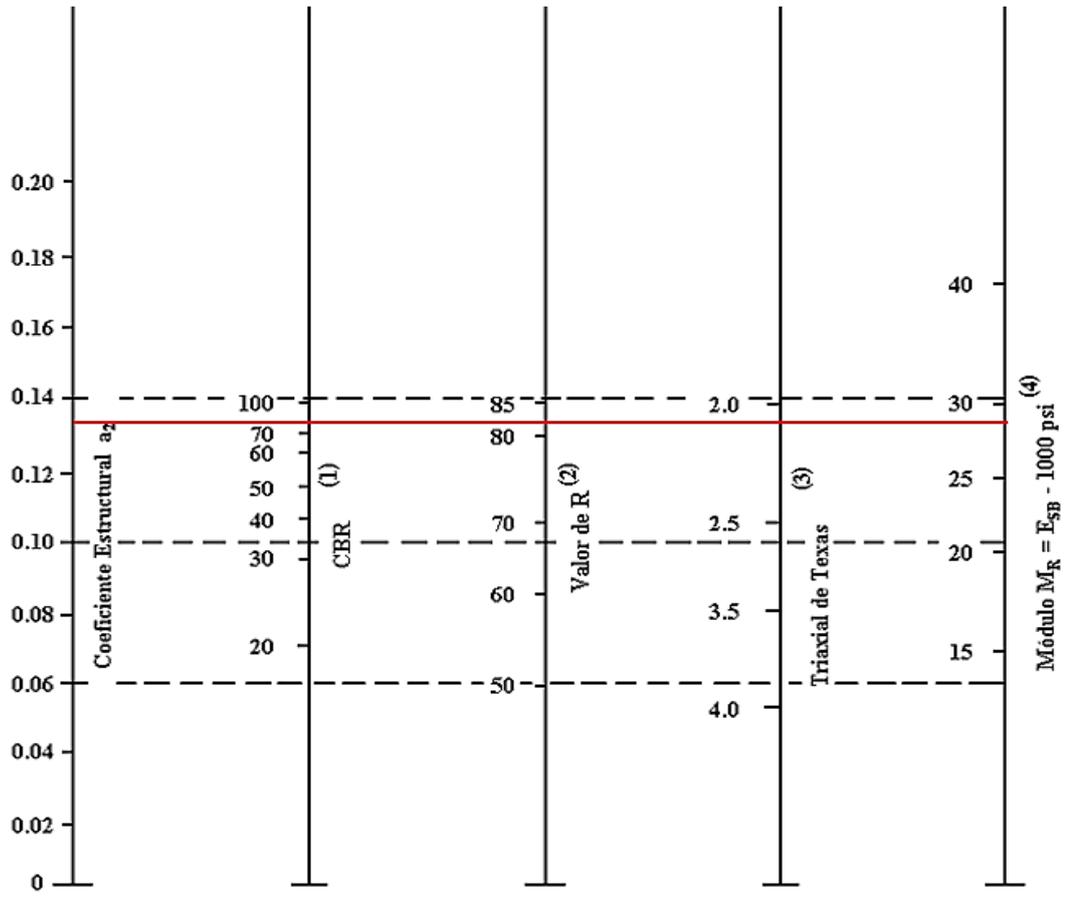


Fig. 18 Ábaco para estimar el número estructural a_2

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Se asume que el CBR de la base es de 80%, en este caso el coeficiente estructural $a_2=0.132$, y el módulo de resiliencia es de 28.7 ksi.

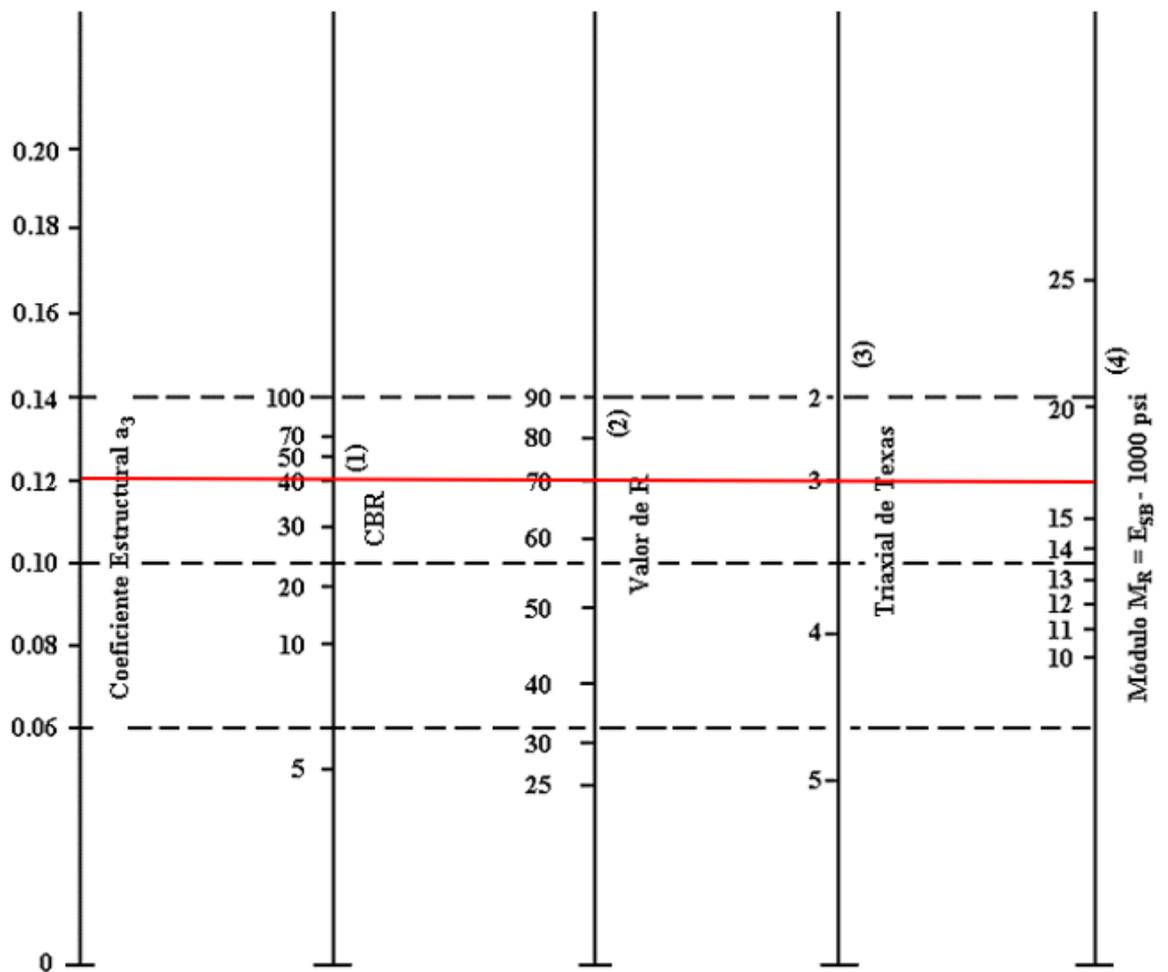


Fig. 19 Ábaco para estimar el número estructural a_3

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Se asume que el CBR de la sub-base es de 40%, en este caso el coeficiente estructural $a_3=0.12$, y el módulo de resiliencia de la subrasante es de 16.5 ksi.

Tabla 32: Diseño del pavimento con CBR de laboratorio

DATOS DE ENTRADA :			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			430,00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28,70
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			16,50
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			192.000
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			80%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0,841
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			17,10
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2,0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)			0,430
Base granular (a ₂)			0,132
Subbase (a ₃)			0,120
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)			1,150
Subbase (m ₃)			1,150
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})		1,76	
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})		1,42	
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})		0,36	
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})		-0,02	
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	8,4 cm	5,0 cm	0,85
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	6,0 cm	10,0 cm	0,60
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	-0,4 cm	15,0 cm	0,81
ESPESOR TOTAL (cm)		30,0 cm	2,26

Fuente: Guía AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Tabla 33: Propuesta espesores del pavimento

PROPUESTA		
TEORICO	ESPESOR	SN*
8,4 cm	5,0 cm	0,85
6.0 cm	10,0 cm	0,60
-0.4 cm	15,0 cm	0,81
	30,0 cm	2,22

Fuente: Autoría propia

$$SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN$$

$$2.22 \geq 1.76 \rightarrow \text{Cumple}$$

La sumatoria de los coeficientes estructurales de las capas del pavimento es mayor al coeficiente estructural de la subrasante.

Propuesta de espesores para un pavimento cuya subrasante posee un CBR de 14.5 % según ensayo de laboratorio que correspondiente a la muestra N° 6.

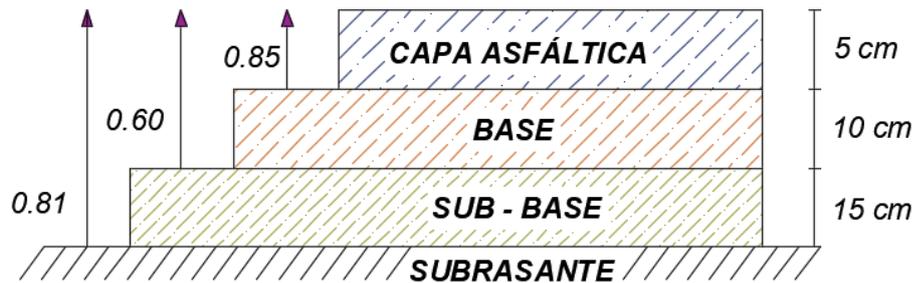


Fig. 20 Espesores del pavimento

Fuente: Autoría Propia

Diseño del pavimento mediante el CBR obtenido por la gráfica

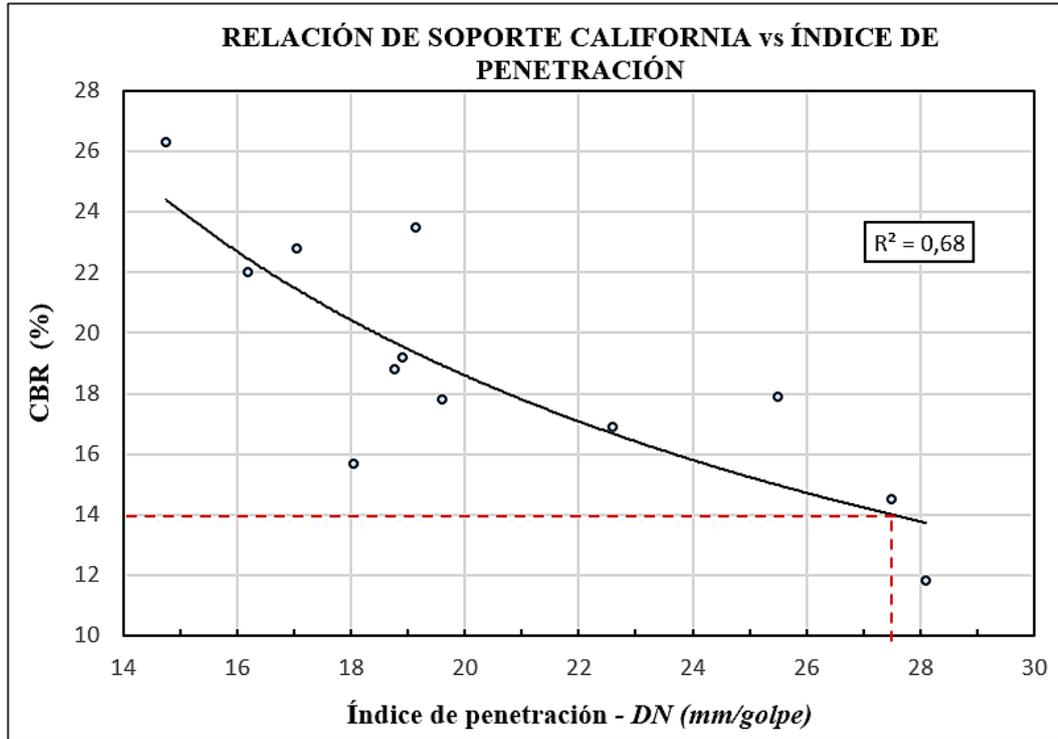


Fig. 21 Relación entre el CBR vs DCP

Fuente: Autoría propia

El valor de CBR obtenido por medio de la correlación donde interviene el índice de penetración 27.5 mm/golpe que pertenece a la muestra N° 6, corresponde a un CBR de 14%.

El único valor que afecta en la solución anterior es el módulo de resiliencia de la subrasante, el mismo que no afecta considerablemente el espesor y número estructural de las capas del pavimento en el diseño previo.

Para el diseño definitivo del pavimento se deberá utilizar los espesores mínimos cuando los calculados sean inferiores a estos.

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 80 % Zr=-0.841 So = 0.45

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial = 4.2 PSI final = 2

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr = 16700 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (C_d)

Tipo de Análisis
 Calcular SN **W18 = 192000**
 Calcular W18

Número Estructural
SN = 1.78

Calcular Salir

Fig. 22 Cálculo de SN por medio del programa AASHTO, con el CBR mediante la gráfica

Fuente: Guía AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Tabla 34: Diseño del pavimento con CBR obtenido mediante la gráfica

DATOS DE ENTRADA :			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			430,00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28,70
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			16,50
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			192.000
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			80%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0,841
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			16,70
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2,0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)			0,430
Base granular (a ₂)			0,132
Subbase (a ₃)			0,120
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)			1,150
Subbase (m ₃)			1,150
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})		1,78	
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})		1,42	
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})		0,36	
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})		-0,01	
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	8,4 cm	5,0 cm	0,85
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	6,0 cm	10,0 cm	0,60
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	-0,1 cm	15,0 cm	0,81
ESPESOR TOTAL (cm)		30,0 cm	2,26

Fuente: Autoría propia

Tabla 35:Espesores del pavimento

PROPUESTA		
TEORICO	ESPESOR	SN*
8.4 cm	5,0 cm	0,85
6.0 cm	10,0 cm	0,60
-0.1 cm	15,0 cm	0,81
	30,0 cm	2,26

Fuente: Autoria propia

$$SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN$$

$$2.26 \geq 1.78$$

3.3 Verificación de hipótesis (según el proyecto de titulación aprobado)

Basados en la tabla N° 1, el límite líquido y límite plástico de la tabla N° 26 tiene una correlación del 54% con el CBR, y que se considera aceptable.

Basados en la tabla N° 1, el límite líquido de la tabla N° 26 tiene una correlación del 61% con el CBR, y que se considera aceptable.

Basados en la tabla N° 1, la humedad óptima de la tabla N° 26 tiene una correlación del 64% con el CBR, y que se considera aceptable.

Basados en la tabla N° 1, el índice de penetración de la tabla N° 26 tiene una correlación del 68% que se considera aceptable.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se determinó las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de las parroquias Cunchibamba y Unamuncho, lo que permitió obtener la clasificación SM SC ML CL según la clasificación SUCS y del tipo A-2-4, A-4 según la AASHTO.
- Las correlaciones que se presentan entre las propiedades índice y mecánicas con el valor de CBR son aquellas cuyo coeficiente de correspondencia es superior al 50%, que se consideraron aceptables para su aplicación, las mismas que se indican la tabla N.º 26.
- La correlación directa entre el CBR de laboratorio y DCP in situ se considera aceptable, con un coeficiente de correspondencia del 68%, por esta razón a partir de su gráfica con el valor del índice de penetración es posible determinar un valor de CBR preliminar, tomando en cuenta que es un método que no sustituye al ensayo del CBR.
- El uso de las correlaciones establecidas en este trabajo brindará una herramienta práctica que podría reducir el tiempo y costo para un diseño preliminar de pavimentos.
- Se estableció la ubicación georreferenciada de las calicatas realizadas en las vías de las parroquias Cunchibamba y Unamuncho con la clasificación del

suelo, indicando evidentemente que los suelos estudiados son granulares verificando la hipótesis inicial planteada.

- El índice de penetración es uno de los parámetros que permiten conocer de manera aceptable la resistencia indirecta in situ al corte de los suelos. Se obtuvieron relaciones con grado de correspondencia confiables a pesar de que se trata de diferentes tipos de suelo.
- La correlación entre el límite líquido y plástico se esperaba que sea excelente, pero considerando que el límite líquido es una propiedad del material que depende del tipo de suelo, tamaño, capacidad de absorción y características de las partículas esta relación presenta una correspondencia del 85%, lo cual es muy buena.
- La ecuación que presenta la Norma de ASTM respecto al CBR con el índice de penetración presentan similitud con la obtenida mediante el ensayo de CBR de laboratorio y DCP in situ de las muestras analizadas (gráfica N° 16).
- La correlación anterior podría ser aplicable para suelos granulares que estén dentro de los rangos de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos estudiados.
- Al diseñar pavimentos tanto con el CBR de laboratorio y el obtenido mediante correlaciones se pudo verificar que los espesores de un pavimento flexible no presentan mayores diferencias en sus capas.

4.2 Recomendaciones

- Para utilizar las correlaciones establecidas en el presente trabajo de investigación se debe tomar en cuenta el sitio en estudio, tipo de suelo, características y clasificación por lo que su uso en la práctica debería ser limitado, delimitando así la aplicación de las correlaciones para ciertos tipos de suelos.
- Es recomendable ampliar la zona y la base de datos para el desarrollo de correlaciones, entre las propiedades del suelo y el CBR para que dichas correlaciones presenten resultados más confiables.
- Para un diseño preliminar de un pavimento, se recomienda utilizar las correlaciones establecidas en la investigación, ya que los valores de los espesores obtenidos con respecto al CBR de laboratorio y el CBR de la gráfica N.º 16 no presentan mayor diferencia.
- Se recomienda ampliar el estudio de correlaciones entre las propiedades índice y mecánicas para suelos cohesivos en el país y así poder conocer su comportamiento respecto al índice de penetración (DN) y Relación de soporte California (CBR), y así conocer los valores del DN y CBR necesarios para un diseño de pavimentos.
- Para obtener mejores correlaciones podría ser necesario descartar las muestras que estén más alejadas de la curva de tendencia.
- Finalmente, es fundamental la recopilación de todos los datos de las 108 muestras de estudio obtenidas en las 18 parroquias rurales del cantón Ambato, mediante la cual se obtendrá una mejor caracterización de los suelos y correlaciones mucho más confiables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. D. K. Talikdar, «A Study of correlation between california bearing ratio (CBR) value with other properties of soil.,» International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering , vol. 4, n° 1, pp. 559-562, 2014.
- [2] C. S. I. o. T. Assistant Prof., «"Correlation between CBR and index properties of soil",» Indian Geotechnical Society, vol. 131, n° 7, pp. 131-133, 2011.
- [3] N. D.-. G. Francisco, «Correlaciones entre métodos convencionales alternativos para estimar la resistencia y compactación de suelos,» 01 02 2004. [En línea]. Available: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/256/Trabajo%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 17 07 2019].
- [4] T. Al-Refeai y A. Al-Suhaibani, «Prediction of CBR using Dynamic Cone Penetrometer,» J. king Saud University, vol. 9, n° 2, pp. 191-204, 1996.
- [5] A. A. S. Alvaro, Determinación del CBR de laboratorio y natural en suelos finos y su correlación con el DCP para la determinación de la capacidad portante de la sub-rasante, en el diseño de pavimentos flexibles de portante de la sub-rasante, en el diseño de P., Quito: UCE- UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, 2013.
- [6] G. A. Martinez, Metodología de la Investigación Científica, Pontifica Universidad Javeriana.
- [7] C. P. W. A. D. M. Wood, «"The correlation of index properties with some basic engineering properties of soils",» THE NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA, vol. 15, n° 2, pp. 137-144, 1998.
- [8] W. S. A. Navarro, «Ecuaciones de correlación del CBR con propiedades índice de suelos para la ciudad de Piura,» Universidad de Piura, Piura, 2014.

- [9] A. E. Álvarez Lugo, L. V. Espinoza Ruiz, P. A. Ortiz Rivera, M. D. Huratado Robayo, L. E. Cotez de la Hoz y Y. M. López Esalas, «"Evaluación de la degradación por compactación de materiales granulares tipo subbase",» EIA, ISSN 1794-1237, vol. 16, n° 31, pp. 13-25, 2019.
- [10] H. Rodon y F. Reyes, «Comportamiento resistente de materiales granulares en pavimentos flexibles,» Revista de ingenierías, vol. 6, n° 11, pp. 65-90, 2007.
- [11] S. Murray R y S. Larry J. , Estadística, México: McGraw-Hill/ Interamericana S.A., 2009.
- [12] T. K. Pellinen, Investigation of the use of dynamic modulus as an indicator of hot-mix asphalt performance., Arizona State University, 2001.
- [13] L. Bañón y J. F. Beviá , Construcción y Mantenimiento, Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A., 2000.
- [14] C. Villalaz, Mecánica de suelos y cimentaciones, México: Limusa Noriega editores, 2004.
- [15] E. Juárez Badillo y R. Rodriguez, Mecánica de suelo, México: Limusa, 2005.
- [16] W. A. B. Diaz, «Repositorio UCE,» 05 2015. [En línea]. Available: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6239/MANUAL%20DE%20PROCEDIMIENTOS%20DE%20ENSAYOS%20DE%20SUELOS.pdf;jsessionid=5396E10143DF0359702F8BB793E327C3?sequence=1>. [Último acceso: 22 07 2019].
- [17] J. E. Bowles, Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil, México: McGraw-Hill , 1981.
- [18] J. Montero, C. Fernández , F. Fernández y R. El Hamdouni , «Mecánica de suelos y rocas-prácticas y ensayos,» ResearchGate, p. 241, 2004.

- [19] W. Lambe y R. Whitman, *Mecánica de suelos*, Massachusetts: Limusa, 2004.
- [20] J. Chacón , I. Clemente , L. Francisco y E. H. Rachid, «Mecánica de suelos y rocas - prácticas y ensayos,» Researchgate, 2014.
- [21] F. Portilla , «Repositorio UTA,» 2001. [En línea]. Available: file:///C:/Users/usuario/Documents/DOC%20TESIS/PAPER%20Y%20TESIS/Tesis-Favio-Portilla.pdf. [Último acceso: 28 07 2019].
- [22] F. V. Agreda, «EL CONO DINÁMICO DE PENETRACIÓN Y SU APLICACIÓN EN LA EVALUACIÓN DE SUELOS,» FV Agreda, vol. 1, n° 2, p. 16, 2006.
- [23] H. A. Rondón Quintana y F. A. Reyes Lizcano, «METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES,» TENDENCIAS, ALCANCES Y LIMITACIONES, vol. 17, n° 2, pp. 41-65, 2007.
- [24] A. Montejo Fonseca, *Ingeniería de Pavimentos Fundamentos Estudios Básicos y Diseño*, Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2010.
- [25] A. M. Fonseca, *Ingeniería de Pavimentos*, Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2010.
- [26] AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structures*, Washinton, D.C.: Capitol Street, N.W., 249, 1993.
- [27] A. Rico, *Pavimentos*, Ibagué: Universidad Mayor de San Simón, 2013.
- [28] T. K. Pellinen, *Investigation of the use of dynamic modulus as an indicator of hot-mix asphalt performance*. Pellinen. (2001), Arizona State University, 2001, 2001.

ANEXOS

ANEXO A

FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1



Descripción: Peso del suelo retenido en los tamices. Ensayo de granulometría

Fotografía 2



Descripción: Toma de muestras para obtener el contenido de humedad del Próctor.

Fotografía 3



Descripción: Realización del ensayo DCP.

Fotografía 4



Descripción: Rajadura a la muestra de suelo para el ensayo de límite líquido.

ANEXO B

TABLAS DE RESULTADOS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE TITULACIÓN



Proyecto: Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares, de las parroquias Cunchibamba y Unamuncho de Ambato

Provincia: Tungurahua **Número de Muestra:** 1

Cantón: Ambato **Coordenadas:** 17 S, 769404,81 ; 9875543,59

Parroquia: Cunchibamba **Ensayado por:** Egda. María Mercedes Troya Jurado

Sector: Laginato **Revisado por:** Ing. Favio Portilla

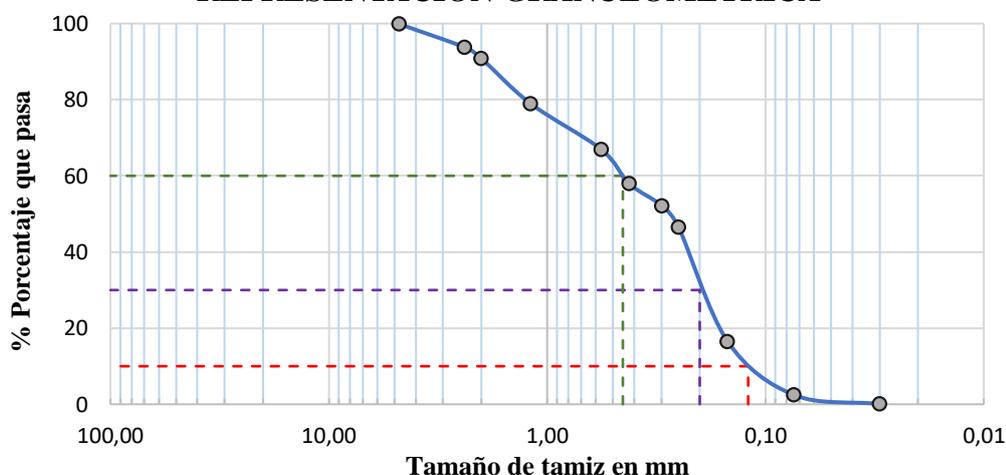
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
25,50	57,70	51,20	25,29	25,11
26,40	65,50	57,70	24,92	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

W muestra seca (gr)				250	
# Tamiz	mm	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
# 4	4,760	0,0	0,3	0,1	99,9
# 8	2,380	15,70	15,70	6,28	93,72
# 10	2,000	7,30	23,00	9,20	90,80
# 16	1,190	29,60	52,60	21,04	78,96
# 30	0,565	30,10	82,70	33,08	66,92
# 40	0,420	22,50	105,20	42,08	57,92
# 50	0,297	14,50	119,70	47,88	52,12
# 60	0,250	14,00	133,70	53,48	46,52
# 100	0,149	75,10	208,80	83,52	16,48
# 200	0,074	35,10	243,90	97,56	2,44
fuelle	0,030	5,90	249,80	99,92	0,08

REPRESENTACIÓN GRANULOMÉTRICA



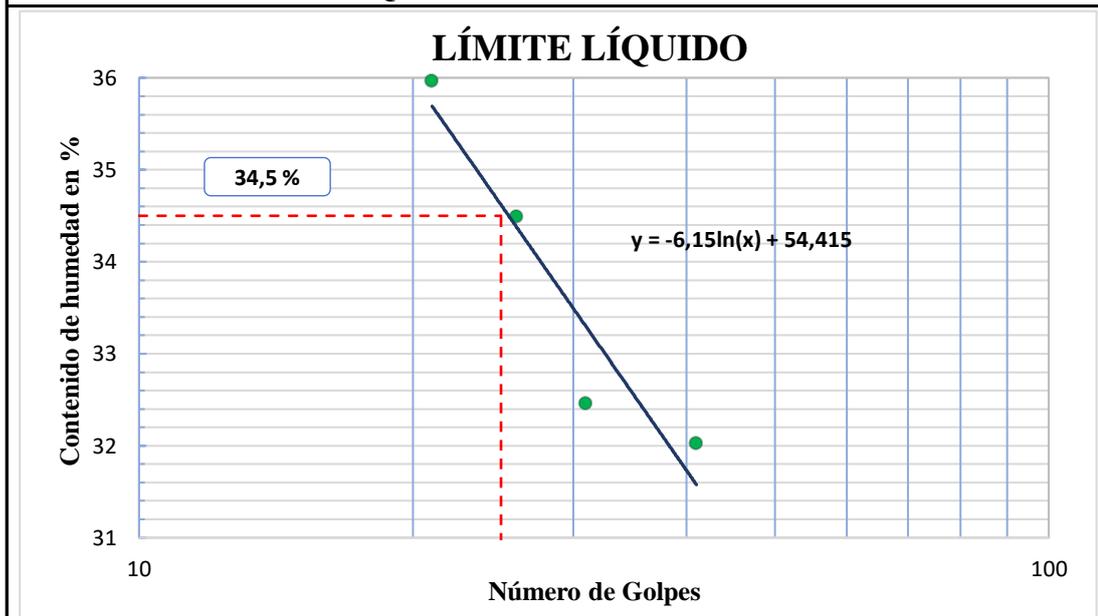
COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,12	Cu = D60/D10	3,75
D30 en mm	0,20	Cc = D30 ² /(D60*D10)	0,74
D60 en mm	0,45	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	2,00mm

LÍMITE LÍQUIDO - Copa Casagrande - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
21	10,6	22,7	19,7	32,97	35,96
	11,9	22,6	19,6	38,96	
41	10,6	18,0	16,1	34,55	32,03
	11,0	18,9	17,1	29,51	
31	14,4	21,3	19,4	38,00	32,46
	11,6	21,5	19,4	26,92	
26	11,4	21,8	19,3	31,65	34,49
	10,9	21,2	18,4	37,33	
PROMEDIO LÍMITE LÍQUIDO					33,74

GRÁFICA DEL LÍMITE LÍQUIDO



En la gráfica se observa que el límite líquido a los 25 golpes en la copa de Casagrande es de 34,5 %.

LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
12	10,50	15,80	14,60	29,27	30,38
15	10,80	17,20	15,80	28,00	
3	10,80	15,40	14,30	31,43	
4	10,70	14,20	13,30	34,62	
19	10,70	15,20	14,20	28,57	

LIMITES DE ATTERBERG

Límite líquido: 34,50 %
Límite plástico: 30,38 %
Índice Plástico: 4,12 %

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

SISTEMA	AASHTO	A-2-4 (Arena limosa)
	SUCS	SM-SC (Arena con finos)

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)			
Peso de la masa del suelo + funda gr.	Wm+Rec	1017	
Peso de la funda gr.	Rec	0,70	
Peso de la masa del suelo gr,	Wm = Wm+Rec-Rec	1016,30	
VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena			7170
Peso final frasco + cono + arena			5860
Peso arena en el cono (Calibración del cono)			343
Peso arena en la perforación			967
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)			1,582
Volumen de la perforación	Vm	611,25	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Recipiente número #		12	11
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	57,70	65,50
Peso seco + recipiente	Ws+rec	51,20	57,70
Peso recipiente	rec	25,50	26,40
Peso del agua	Ww	6,50	7,80
Peso de los sólidos	Ws	25,70	31,30
Contenido de humedad	w%	25,29	24,92
Contenido de humedad promedio	w% prom	25,11	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO			
		Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos	Vv =	11,71	-
Va =		Wa =	3,91
Vw =		Ww =	7,80
Vs =		Ws =	11,81
Vm =		Wm =	23,52
			39,10
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO			
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)		1,663	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)		1,329	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	25,11	%
Relación de vacíos	e = Vv/Vs	0,99	natural
Porosidad	n% = Vv/Vm*100	49,77	%
Grado de Saturación de agua	Gw% = Vw/Vv*100	66,64	%
Grado de Saturación de aire	Ga%	33,36	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015			
Peso picnómetro + agua	Wbw	648,8	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws	678,1	gr
Desplazamiento del agua	Ws + Wbw - Wbws	18,8	gr
Temperatura del agua y suelo en C°		19	C°
Factor de corrección por temperatura K		0,998	
Recipiente + peso suelo seco		158,5	gr
Peso recipiente		110,4	gr
Peso del suelo seco	Ws	48,1	gr
Gravedad Específica	Gs = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,553	gr

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	46 cm
VOLUMEN:	2124 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	17170 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO

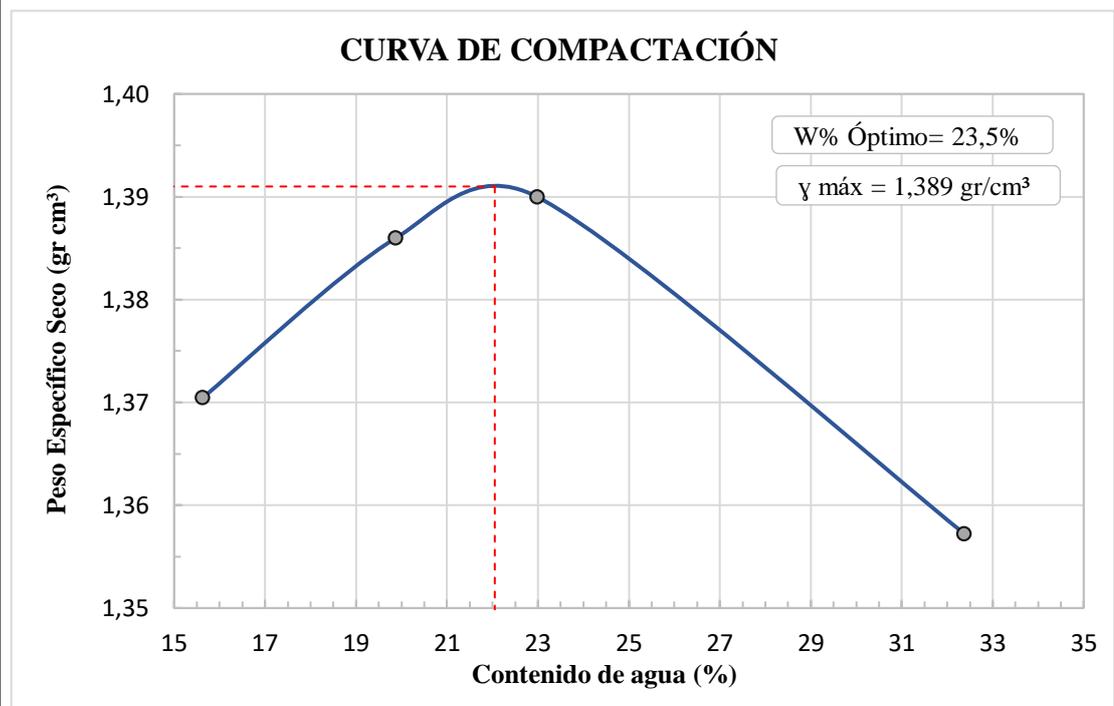
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	20536		20699		20801		20986	
Masa molde (gr)	17170		17170		17170		17170	
Masa suelo húmedo (gr)	3366		3529		3631		3816	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,585		1,661		1,710		1,797	
Masa del tarro (gr)	25,20	30,30	30,80	31,10	31,00	57,60	30,60	30,70
Masa suelo húm.+tarro (gr)	96,50	63,50	63,30	73,10	78,20	109,80	96,80	90,40
Masa suelo seco+tarro (gr)	87,10	58,90	56,80	67,70	69,60	99,80	80,50	75,90
Masa del agua (gr)	9,40	4,60	6,50	5,40	8,60	10,00	16,30	14,50
Masa suelo seco (gr)	61,90	28,60	26,00	36,60	38,60	42,20	49,90	45,20
Contenido de agua (%)	15,19	16,08	25,00	14,75	22,28	23,70	32,67	32,08
w (%) Promedio	15,63		19,88		22,99		32,37	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,37		1,39		1,39		1,36	

Densidad Seca Máxima (γ máx): 1,391 gr/cm³

Humedad Óptima: 22,05 %

Grado de compactación: 95,543 %

GRÁFICA DE LA MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA



Descripcion del ensayo

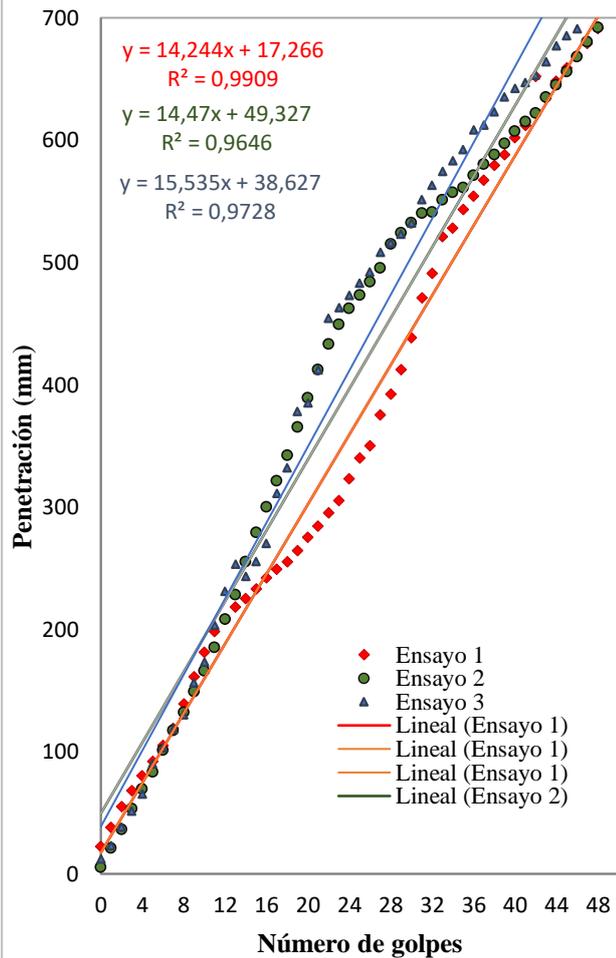
La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,391 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 22,05%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

N° Golpe	Penetración		
	mm	mm	mm
0	22	5	12
1	38	21	23
2	55	36	38
3	68	53	51
4	80	69	65
5	92	83	90
6	105	101	103
7	119	117	118
8	139	132	130
9	161	149	156
10	181	166	173
11	198	185	203
12	208	208	231
13	218	228	253
14	225	255	243
15	233	279	255
16	242	300	270
17	249	321	311
18	255	342	332
19	264	365	378
20	275	389	385
21	284	412	412
22	295	433	454
23	305	449	463
24	323	462	473
25	340	473	483
26	350	484	492
27	375	495	508
28	392	515	516
29	412	524	523
30	438	532	532
31	471	540	551
32	491	541	563
33	521	551	574
34	528	557	583
35	543	561	592
36	554	571	608
37	567	580	612
38	579	588	623
39	588	597	635
40	602	607	642
41	612	615	647
42	652	622	653
43	634	635	664

N° Golpe	Penetración		
	mm	mm	mm
44	648	645	677
45	659	656	685
46	669	668	691
47	679	680	702
48	691	692	
49	701	703	
50	712		

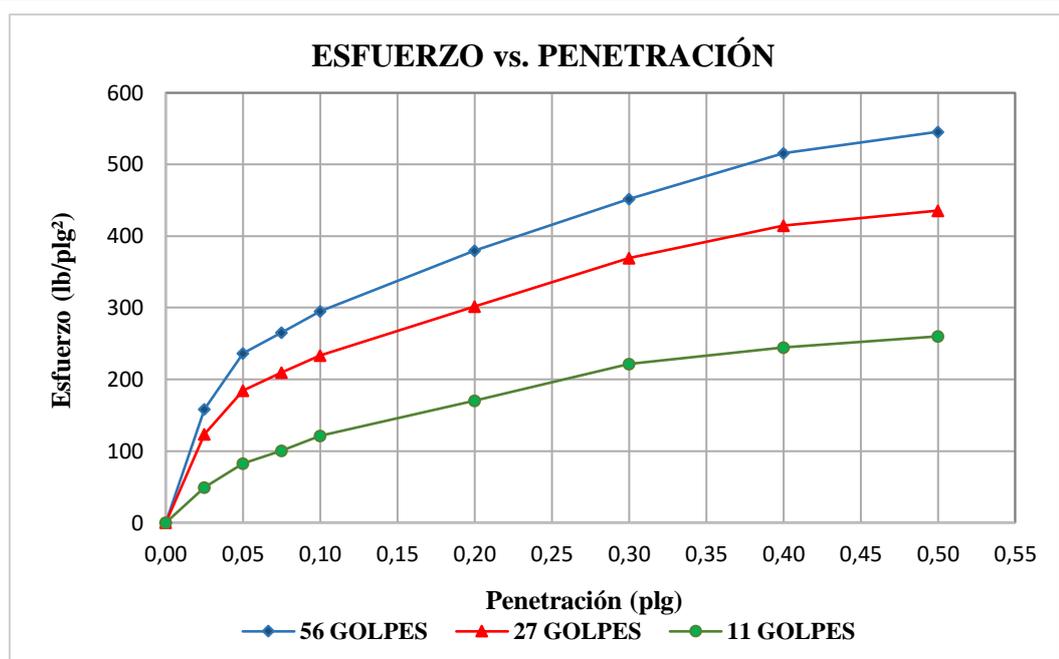
PENETRACIÓN VS N° GOLPES



DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	14,244	14,75
2	14,47	
3	15,535	

CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013						
MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	10315		10681		10211	
Masa molde (gr)	6548		6785		6681	
Masa muestra húmeda (gr)	3767		3896		3530	
Volúmen muestra (cm ³)	2268,24		2408,30		2377,52	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,66		1,62		1,48	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	91,20	75,60	86,51	91,21	96,24	86,03
Masa suelo seco + recip(gr)	76,15	62,81	71,95	74,36	79,11	70,09
Masa del agua (gr)	15,05	12,79	14,56	16,85	17,13	15,94
Masa del recip (gr)	7,60	7,20	7,30	7,20	7,50	7,10
Masa suelo seco	68,55	55,61	64,65	67,16	71,61	62,99
Contenido de humedad W(%)	21,95	23,00	22,52	25,09	23,92	25,31
W (%) Promedio	22,48		23,81		24,61	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,36		1,31		1,19	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	10828		11432		11315	
Masa molde (gr)	6548		6785		6681	
Masa muestra húmeda (gr)	4280		4647		4634	
Masa agua absorbida(gr)	513		751		1104	
% Agua Absorbida	13,62		19,28		31,27	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	72,23	85,36	96,35	87,36	96,50	100,51
Masa del suelo seco+tarro (gr)	58,26	68,15	75,22	67,25	70,16	73,61
Masa del agua (gr)	13,97	17,21	21,13	20,11	26,34	26,90
Masa del tarro (gr)	7,10	7,30	7,20	7,60	7,80	7,10
Masa suelo seco	51,16	60,85	68,02	59,65	62,36	66,51
Contenido de agua (%)	27,31	28,28	31,06	33,71	42,24	40,45
W (%) Promedio	27,79		32,39		41,34	
ENSAYO						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	476	158,67	370,5	123,50	148,357	49,45
0,050	709	236,33	552,5	184,17	247,418	82,47
0,075	796	265,33	628,5	209,50	301,408	100,47
0,100	885	295,00	701,5	233,83	363,85	121,28
0,200	1139	379,67	904,5	301,50	511,737	170,58
0,300	1355	451,67	1108	369,33	665,258	221,75
0,400	1547	515,67	1245	415,00	734,272	244,76
0,500	1637	545,67	1307	435,67	780,282	260,09

GRÁFICA ESFUERZO vs PENETRACIÓN

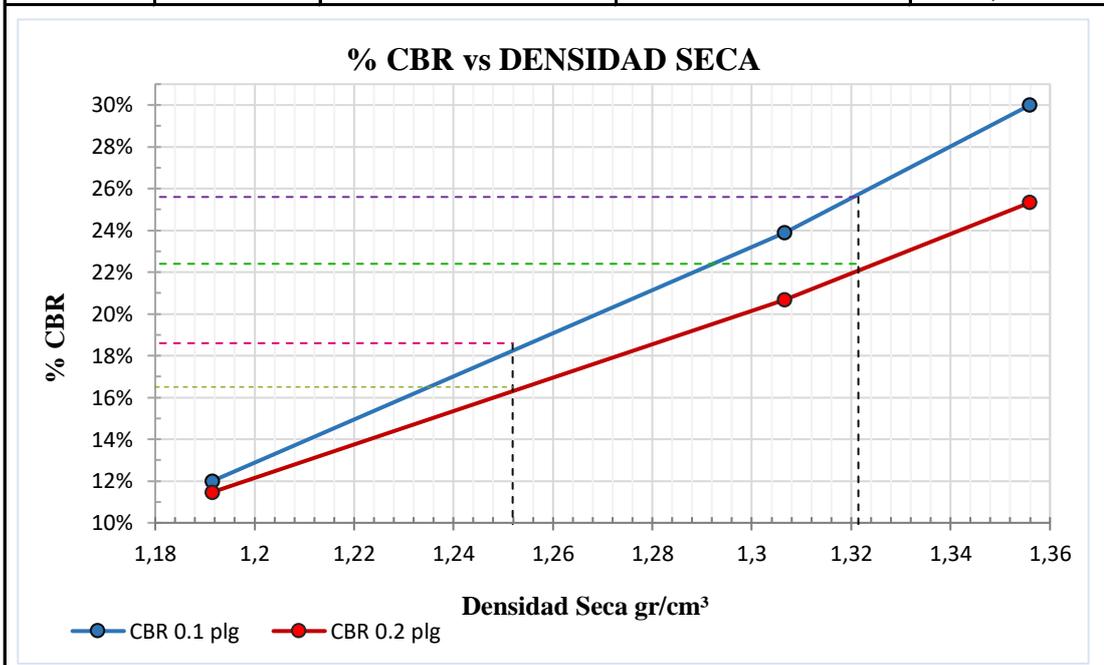


PORCENTAJES CBR (Corregidos)

MOLDE N°	Presión (lb/plg²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	300	30,00%	1,356	380	25,33%	1,356
2	239	23,90%	1,307	310	20,67%	1,307
3	120	12,00%	1,191	172	11,47%	1,191

DENSIDAD SECA MÁXIMA 1,39 gr/cm³

DSM	%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,252	18,60%	18,60%
95%	1,321	25,60%	25,60%



Nota: El CBR para el diseño de pavimento es el 25,6%.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE TITULACIÓN



Proyecto: Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares, de las parroquias Cunchibamba y Unamucho de Ambato

Provincia: Tungurahua **Número de Muestra:** 2

Cantón: Ambato **Coordenadas:** 17 S, 769746,28 ; 9875155,55

Parroquia: Cunchibamba **Ensayado por:** Egda. María Mercedes Troya Jurado

Sector: Laginato **Revisado por:** Ing. Favio Portilla

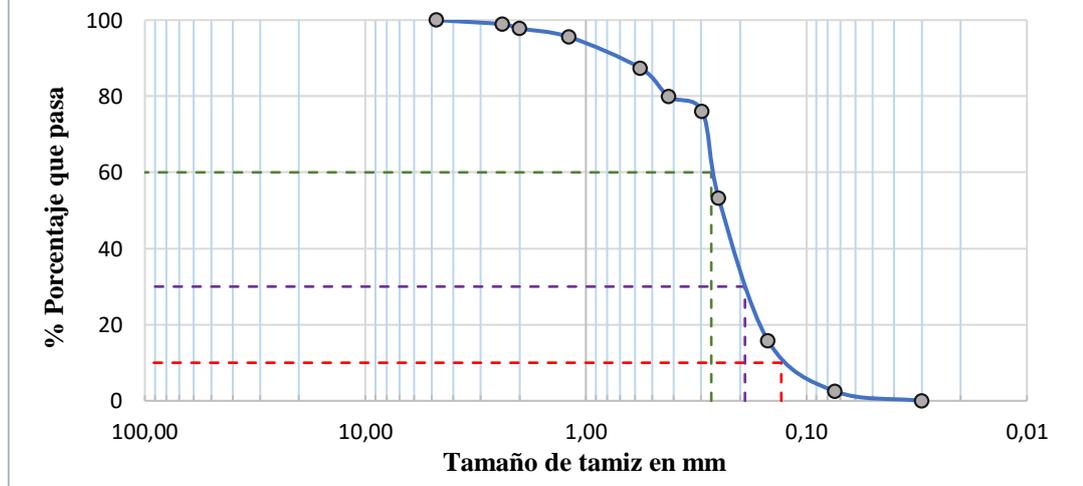
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
26,80	65,40	60,10	15,92	15,70
24,40	60,20	55,40	15,48	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

W muestra seca (gr)			250		
# Tamiz	mm	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
# 4	4,760	0,0	0,0	0,0	100,0
# 8	2,380	2,70	2,70	1,08	98,92
# 10	2,000	2,80	5,50	2,20	97,80
# 16	1,190	5,60	11,10	4,44	95,56
# 30	0,565	20,50	31,60	12,64	87,36
# 40	0,420	18,70	50,30	20,12	79,88
# 50	0,297	9,60	59,90	23,96	76,04
# 60	0,250	56,90	116,80	46,72	53,28
# 100	0,149	93,90	210,70	84,28	15,72
# 200	0,074	33,10	243,80	97,52	2,48
fuelle	0,030	6,20	250,00	100,00	0,00

REPRESENTACIÓN GRANULOMÉTRICA

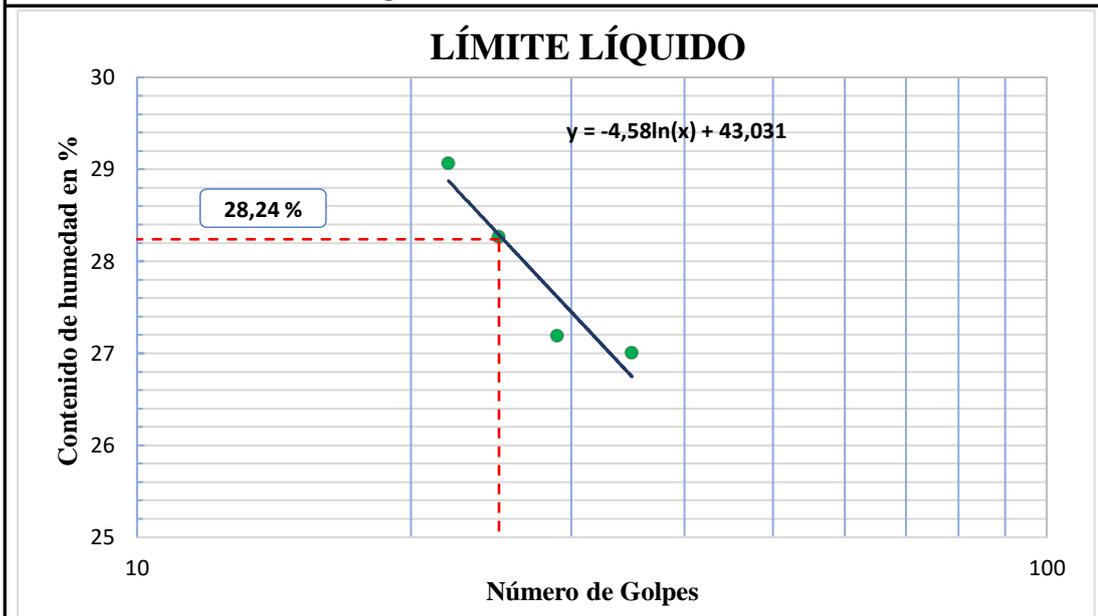


COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,13	Cu = D60/D10	2,08
D30 en mm	0,19	Cc = D30 ² /(D60*D10)	1,03
D60 en mm	0,27	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	0,565 mm

LÍMITE LÍQUIDO - Copa Casagrande - AASHTO T 89 2013					
Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
25	11,3	19,9	18,0	28,36	28,26
	10,9	20,0	18,0	28,17	
22	10,9	18,5	16,8	28,81	29,06
	11,3	18,8	17,1	29,31	
29	11,3	21,8	19,6	26,51	27,19
	11,3	19,1	17,4	27,87	
35	11,0	19,9	18,0	27,14	27,00
	11,4	19,9	18,1	26,87	
PROMEDIO LÍMITE LÍQUIDO					27,88

GRÁFICA DEL LÍMITE LÍQUIDO



En la gráfica se observa que el límite líquido a los 25 golpes en la copa de Casagrande es de 28,24 %.

LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
2	10,70	12,50	12,10	28,57	25,88
5	10,80	12,10	11,80	30,00	
9	10,70	11,70	11,50	25,00	
15	10,60	13,30	12,80	22,73	
18	10,50	12,10	11,80	23,08	

LÍMITES DE ATTERBERG

Límite líquido: 28,24 %
 Límite plástico: 25,88 %
 Índice Plástico: 2,36 %

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

SISTEMA	AASHTO	A-2-4 (Arena limosa)
	SUCS	SM (Suelo limo arcilloso)

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)			
Peso de la masa del suelo + funda gr.	Wm+Rec	927,20	
Peso de la funda gr.	Rec	0,65	
Peso de la masa del suelo gr,	Wm = Wm+Rec-Rec	926,55	
VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena		7170,00	
Peso final frasco + cono + arena		6010,00	
Peso arena en el cono (Calibración del cono)		343,00	
Peso arena en la perforación		817,00	
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)		1,582	
Volumen de la perforación	Vm	516,43	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Recipiente número #		11	5
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	65,40	60,20
Peso seco + recipiente	Ws+rec	60,10	55,40
Peso recipiente	rec	26,80	24,40
Peso del agua	Ww	5,30	4,80
Peso de los sólidos	Ws	33,30	31,00
Contenido de humedad	w%	15,92	15,48
Contenido de humedad promedio	w% prom	15,70	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO			
		Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos	Vv =	8,26	-
Va =		Wa =	3,46
Vw =		Ww =	4,80
Vs =		Ws =	11,70
Vm =		Wm =	19,95
			35,80
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO			
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)		1,794	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)		1,551	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	15,70	%
Relación de vacíos	e = Vv/Vs	0,71	natural
Porosidad	n% = Vv/Vm*100	41,37	%
Grado de Saturación de agua	Gw% = Vw/Vv*100	58,14	%
Grado de Saturación de aire	Ga%	41,86	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015			
Peso picnómetro + agua	Wbw	648,8	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws	678,6	gr
Desplazamiento del agua	Ws + Wbw - Wbws	18,6	gr
Temperatura del agua y suelo en C°		19	C°
Factor de corrección por temperatura K		0,998	
Recipiente + peso suelo seco		177,5	gr
Peso recipiente		129,1	gr
Peso del suelo seco	Ws	48,4	gr
Gravedad Específica	Gs = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,597	gr

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	46 cm
VOLUMEN:	2124 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	17370 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO

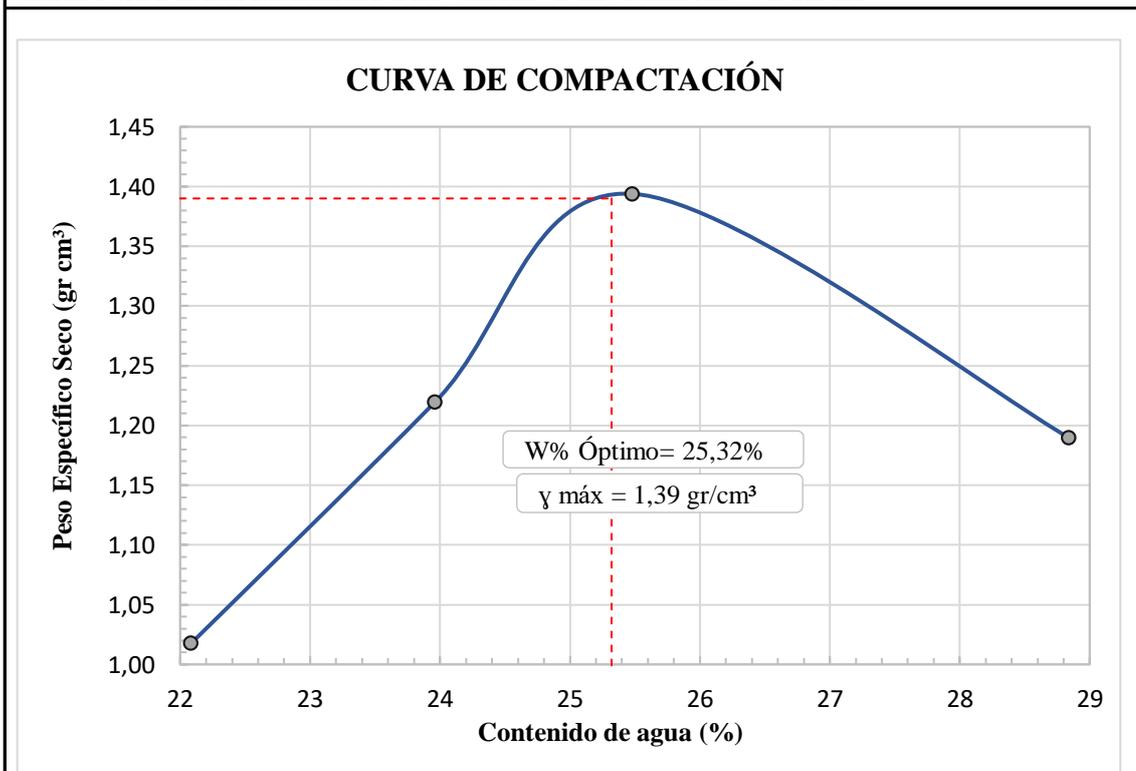
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	20009		20581		21085		20626	
Masa molde (gr)	17370		17370		17370		17370	
Masa suelo húmedo (gr)	2639		3211		3715		3256	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,242		1,512		1,749		1,533	
Masa del tarro (gr)	24,50	25,00	23,30	23,50	26,60	24,10	25,20	24,00
Masa suelo húm.+tarro (gr)	57,40	62,90	60,80	66,60	127,40	108,36	94,60	81,50
Masa suelo seco+tarro (gr)	51,40	56,10	53,70	58,10	107,60	90,70	79,10	68,60
Masa del agua (gr)	6,00	6,80	7,10	8,50	19,80	17,66	15,50	12,90
Masa suelo seco (gr)	26,90	31,10	30,40	34,60	81,00	66,60	53,90	44,60
Contenido de agua (%)	22,30	21,86	23,36	24,57	24,44	26,52	28,76	28,92
w (%) Promedio	22,08		23,96		25,48		28,84	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,02		1,22		1,39		1,19	

Densidad Seca Máxima (γ máx): 1,390 gr/cm³

Humedad Óptima: 25,32 %

Grado de compactación: 111,56 %

GRÁFICA DE LA MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA

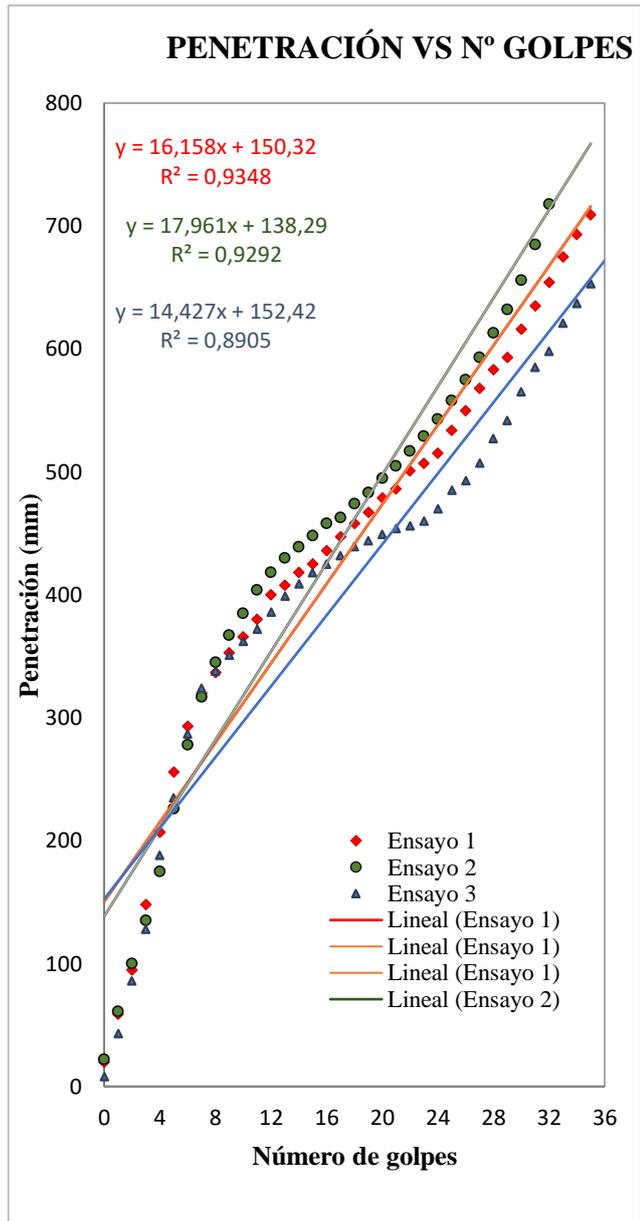


Descripcion del ensayo

La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,39 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 25,32%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

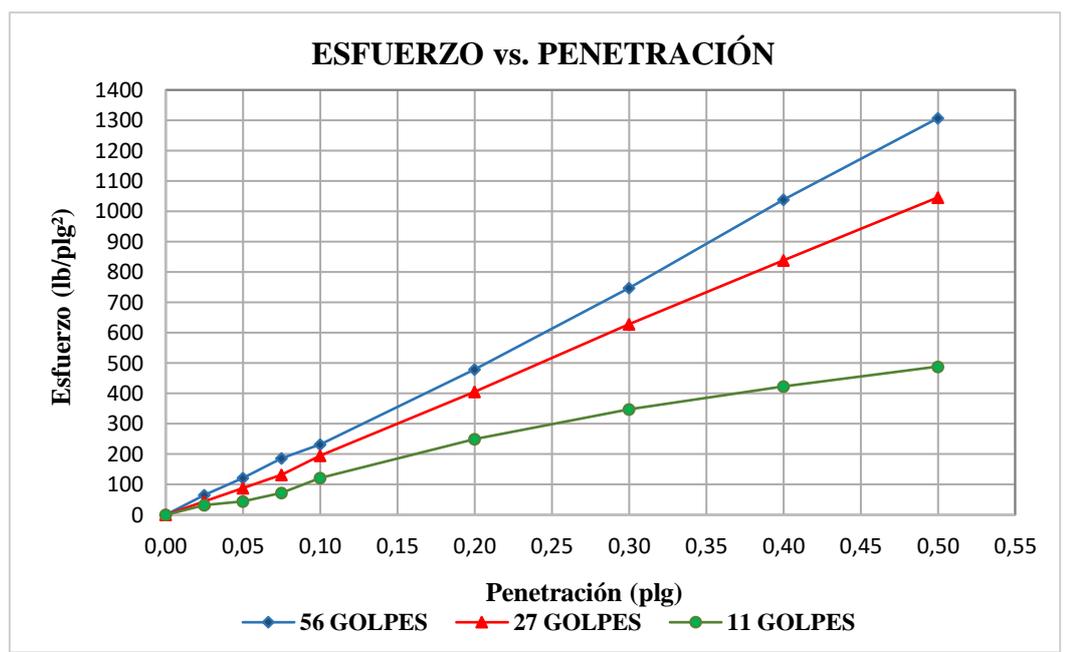
N° Golpe	Penetración		
	mm	mm	mm
0	20	22	8
1	59	61	43
2	95	100	86
3	148	135	128
4	207	175	188
5	256	226	235
6	293	278	287
7	320	317	324
8	337	345	338
9	353	367	351
10	366	385	362
11	380	404	372
12	400	418	386
13	408	430	399
14	418	439	409
15	425	448	418
16	436	458	425
17	447	463	432
18	458	474	439
19	467	483	444
20	479	495	449
21	486	505	454
22	501	517	456
23	507	529	460
24	515	543	470
25	534	558	485
26	550	575	493
27	568	593	507
28	583	613	527
29	593	632	542
30	616	656	565
31	635	685	585
32	654	718	598
33	675		621
34	693		637
35	709		653



DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	16,158	
2	17,961	16,18
3	14,427	

CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013						
MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	12322		13155		12626	
Masa molde (gr)	8600		9329		9856	
Masa muestra húmeda (gr)	3722		3826		2770	
Volúmen muestra (cm ³)	2068,63		2286,38		1938,16	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,80		1,67		1,43	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	52,90	60,10	61,20	39,20	175,80	174,30
Masa suelo seco + recip(gr)	46,30	52,50	53,20	34,60	155,70	151,60
Masa del agua (gr)	6,60	7,60	8,00	4,60	20,10	22,70
Masa del recip (gr)	7,60	7,50	7,80	7,20	33,40	30,80
Masa suelo seco	38,70	45,00	45,40	27,40	122,30	120,80
Contenido de humedad W(%)	17,05	16,89	17,62	16,79	16,43	18,79
W (%) Promedio	16,97		17,20		17,61	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,538		1,428		1,215	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	12505		13527		13648	
Masa molde (gr)	8600		9329		9856	
Masa muestra húmeda (gr)	3905		4198		3792	
Masa agua absorbida(gr)	183		372		1022	
% Agua Absorbida	4,92		9,72		36,90	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	126,10	129,40	70,40	60,50	74,70	72,50
Masa del suelo seco+tarro (gr)	109,15	111,90	59,10	50,10	58,10	58,70
Masa del agua (gr)	16,95	17,50	11,30	10,40	16,60	13,80
Masa del tarro (gr)	30,70	33,30	7,50	7,50	7,20	7,20
Masa suelo seco	78,45	78,60	51,60	42,60	50,90	51,50
Contenido de agua (%)	21,61	22,26	21,90	24,41	32,61	26,80
W (%) Promedio	21,94		23,16		29,70	
ENSAYO						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	195	65,00	131	43,67	95	31,67
0,050	367	122,33	264	88,00	134	44,67
0,075	498	186,00	395	131,67	215	71,67
0,100	694	231,33	586	195,33	364	121,33
0,200	1437	479,00	1215	405,00	748	249,33
0,300	2241	747,00	1886	628,67	1041	347,00
0,400	3114	1038,00	2517	839,00	1268	422,67
0,500	3921	1307,00	3138	1046,00	1466	488,67

GRÁFICA ESFUERZO vs PENETRACIÓN

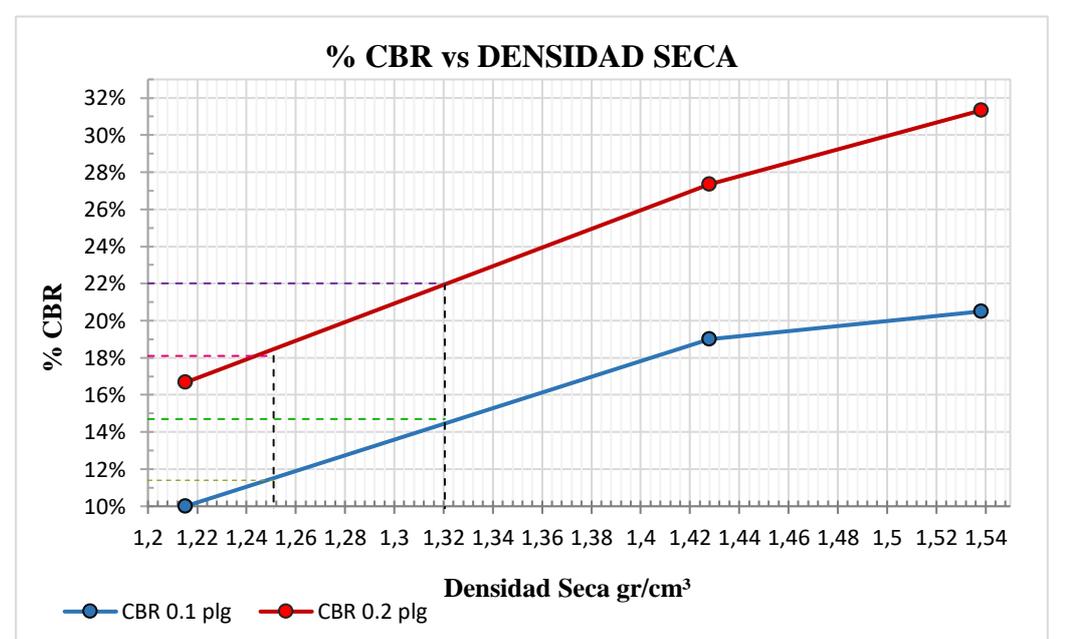


PORCENTAJES CBR (Corregidos)

MOLDE N°	Presión (lb/plg²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	205	20,50%	1,538	470	31,33%	1,538
2	190	19,00%	1,428	410	27,33%	1,428
3	100	10,00%	1,215	250	16,67%	1,215

DENSIDAD SECA MÁXIMA 1,39 gr/cm3

DSM		%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,251	11,40%	18,10%	18,10%
95%	1,321	14,70%	22,01%	22,01%



Nota: El CBR para el diseño de pavimento es el 21,3%.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE TITULACIÓN



Proyecto: Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares, de las parroquias Cunchibamba y Unamucho de Ambato

Provincia: Tungurahua **Número de Muestra:** 3

Cantón: Ambato **Coordenadas:** 17 S, 769286,68 ; 9875726,13

Parroquia: Cunchibamba **Ensayado por:** Egda. María Mercedes Troya Jurado

Sector: La Dolorosa **Revisado por:** Ing. Favio Portilla

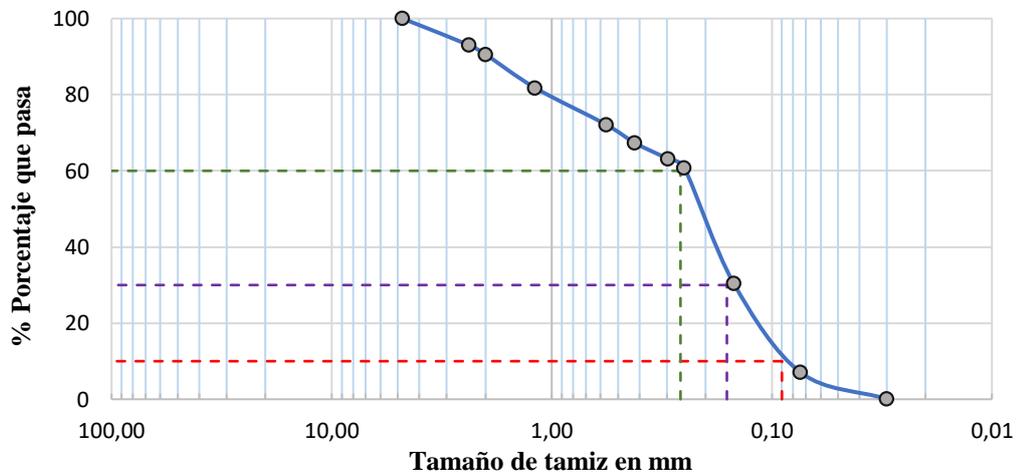
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
31,80	88,60	84,50	7,78	7,80
34,50	89,70	85,70	7,81	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

W muestra seca (gr)				250	
# Tamiz	mm	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
# 4	4,760	0,0	0,0	0,0	100,0
# 8	2,380	17,40	17,40	6,96	93,04
# 10	2,000	6,10	23,50	9,40	90,60
# 16	1,190	22,00	45,50	18,20	81,80
# 30	0,565	24,20	69,70	27,88	72,12
# 40	0,420	11,90	81,60	32,64	67,36
# 50	0,297	10,50	92,10	36,84	63,16
# 60	0,250	5,90	98,00	39,20	60,80
# 100	0,149	75,90	173,90	69,56	30,44
# 200	0,074	58,50	232,40	92,96	7,04
fuelle	0,030	17,40	249,80	99,92	0,08

REPRESENTACIÓN GRANULOMÉTRICA



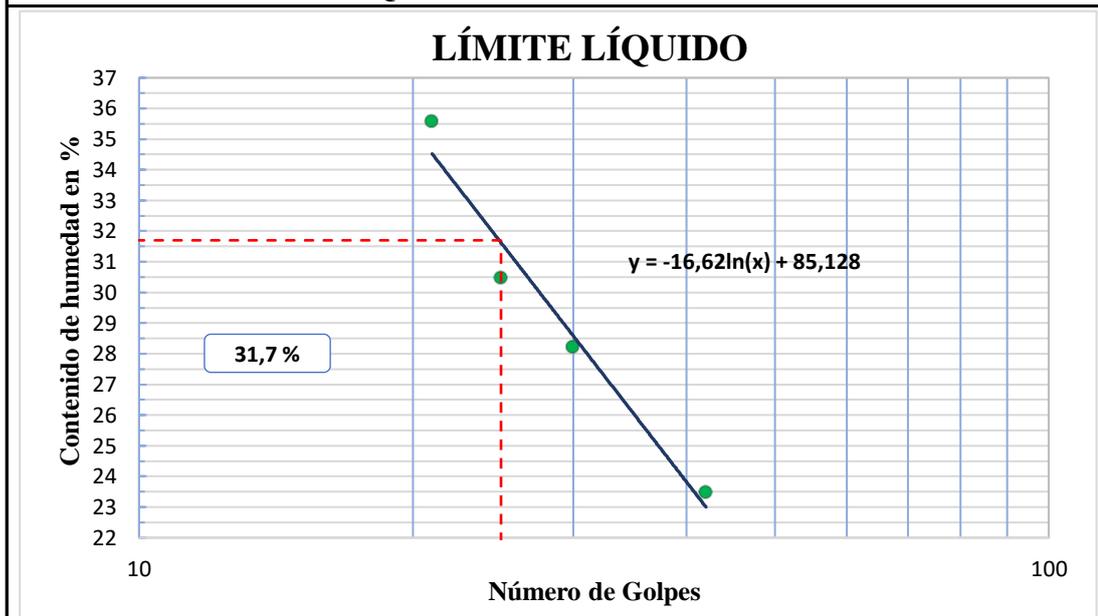
COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,09	$C_u = D_{60}/D_{10}$	2,89
D30 en mm	0,16	$C_c = D_{30}^2/(D_{60} \cdot D_{10})$	1,09
D60 en mm	0,26	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	2,00 mm

LÍMITE LÍQUIDO - Copa Casagrande - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
25	11,3	19,8	17,8	30,77	30,46
	11,1	19,3	17,4	30,16	
30	10,9	18,9	17,1	29,03	28,21
	11,8	21,1	19,1	27,40	
42	11,3	18,1	16,8	23,64	23,48
	11,4	18,8	17,4	23,33	
21	11,4	21,3	18,7	35,62	35,57
	10,9	21,2	18,5	35,53	
PROMEDIO LÍMITE LÍQUIDO					29,43

GRÁFICA DEL LÍMITE LÍQUIDO



En la gráfica se observa que el límite líquido a los 25 golpes en la copa de Casagrande es de 31,7 %.

LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
4	10,70	15,10	14,20	25,71	24,61
31	10,80	14,40	13,75	22,03	
8	10,40	13,40	12,80	25,00	
16	10,60	13,40	12,90	21,74	
18	10,70	14,30	13,50	28,57	

LÍMITES DE ATTERBERG

Límite líquido: 31,70 %
Límite plástico: 24,61 %
Índice Plástico: 7,09 %

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

SISTEMA	AASHTO	A-2-4 (Arena limosa o arcillosa)
	SUCS	SC (Suelo limo arcilloso)

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)			
Peso de la masa del suelo + funda gr.	Wm+Rec	1375,40	
Peso de la funda gr.	Rec	0,70	
Peso de la masa del suelo gr,	Wm = Wm+Rec-Rec	1374,70	
VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena			6315,00
Peso final frasco + cono + arena			4765,00
Peso arena en el cono (Calibración del cono)			343,00
Peso arena en la perforación			1207,00
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)			1,582
Volumen de la perforación	Vm	762,96	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Recipiente número #		23	5
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	88,60	89,70
Peso seco + recipiente	Ws+rec	84,50	85,70
Peso recipiente	rec	31,80	34,50
Peso del agua	Ww	4,10	4,00
Peso de los sólidos	Ws	52,70	51,20
Contenido de humedad	w%	7,78	7,81
Contenido de humedad promedio	w% prom	7,80	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO			
		Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos	Vv =	11,32	-
Va =		Wa =	7,32
Vw =		Ww =	4,00
Vs =		Ws =	19,32
Vm =		Wm =	30,64
			55,20
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO			
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)		1,802	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)		1,671	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	7,80	%
Relación de vacíos	e = Vv/Vs	0,59	natural
Porosidad	n% = Vv/Vm*100	36,93	%
Grado de Saturación de agua	Gw% = Vw/Vv*100	35,35	%
Grado de Saturación de aire	Ga%	64,65	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015			
Peso picnómetro + agua	Wbw	648,8	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws	679,1	gr
Desplazamiento del agua	Ws + Wbw - Wbws	18,4	gr
Temperatura del agua y suelo en C°		19	C°
Factor de corrección por temperatura K		0,998	
Recipiente + peso suelo seco		158,5	gr
Peso recipiente		109,8	gr
Peso del suelo seco	Ws	48,7	gr
Gravedad Específica	Gs = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,641	gr

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	46 cm
VOLUMEN:	2124 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	17170 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO

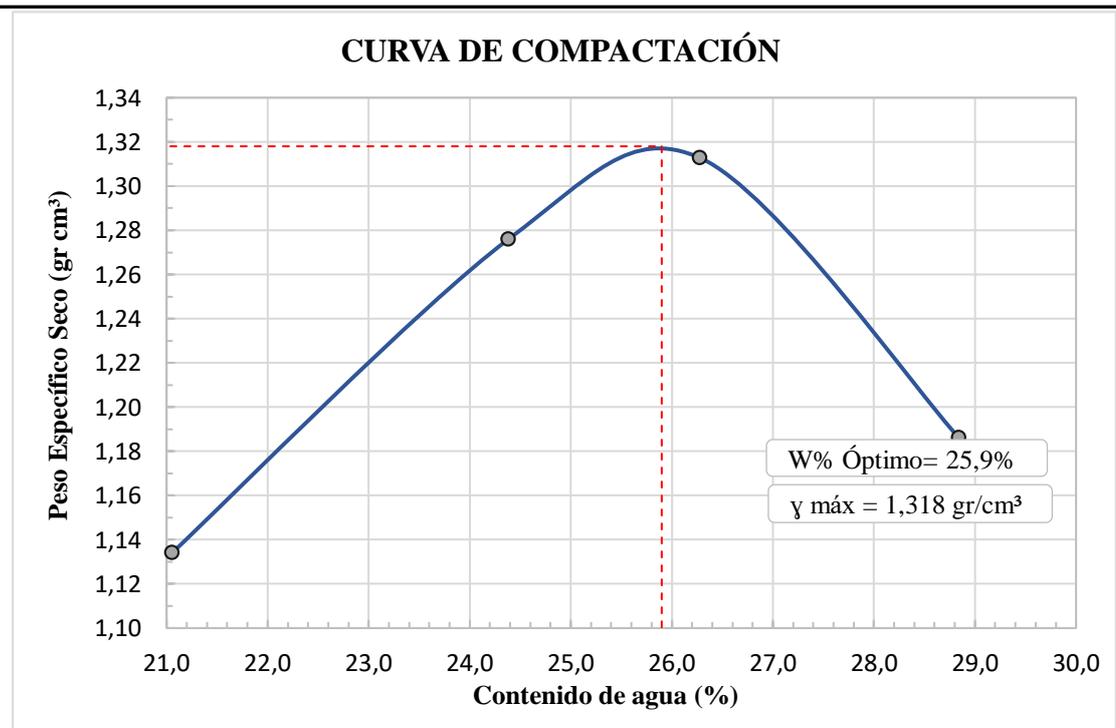
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	20086		20541		20691		20416	
Masa molde (gr)	17170		17170		17170		17170	
Masa suelo húmedo (gr)	2916		3371		3521		3246	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,373		1,587		1,658		1,528	
Masa del tarro (gr)	23,50	23,10	22,80	23,40	23,50	23,10	25,20	24,00
Masa suelo húm.+tarro (gr)	57,40	62,90	61,20	66,60	127,60	111,70	94,60	81,50
Masa suelo seco+tarro (gr)	51,40	56,10	53,70	58,10	107,60	91,90	79,10	68,60
Masa del agua (gr)	6,00	6,80	7,50	8,50	20,00	19,80	15,50	12,90
Masa suelo seco (gr)	27,90	33,00	30,90	34,70	84,10	68,80	53,90	44,60
Contenido de agua (%)	21,51	20,61	24,27	24,50	23,78	28,78	28,76	28,92
w (%) Promedio	21,06		24,38		26,28		28,84	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,13		1,28		1,31		1,19	

Densidad Seca Máxima (γ máx): 1,318 gr/cm³

Humedad Óptima: 25,90 %

Grado de compactación: 126,82 %

GRÁFICA DE LA MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA

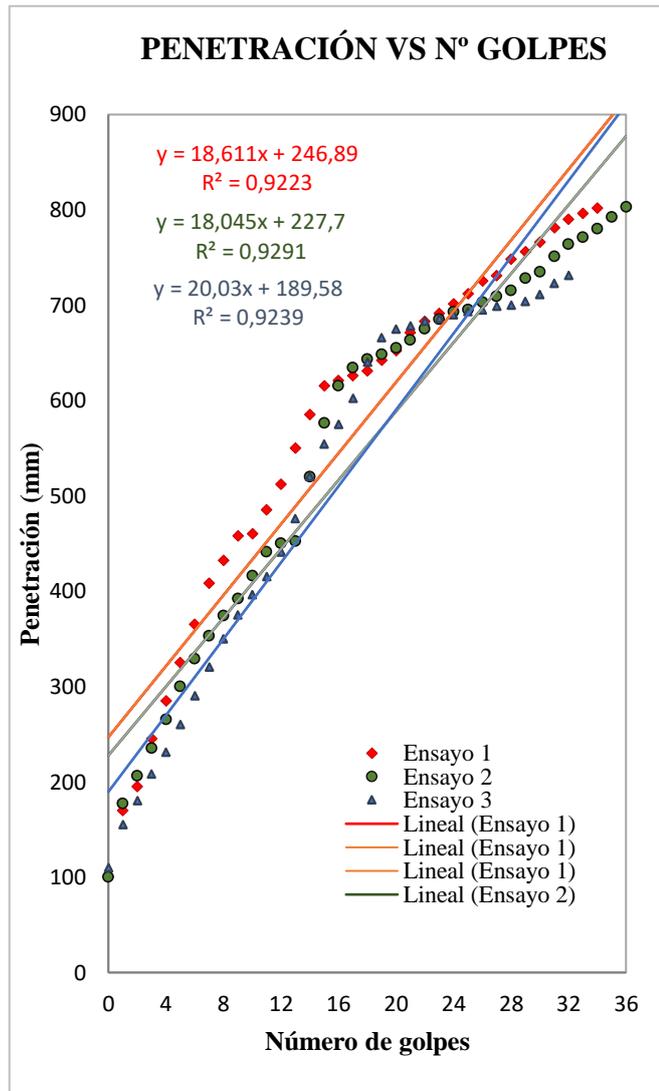


Descripcion del ensayo

La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,318 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 25,9%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

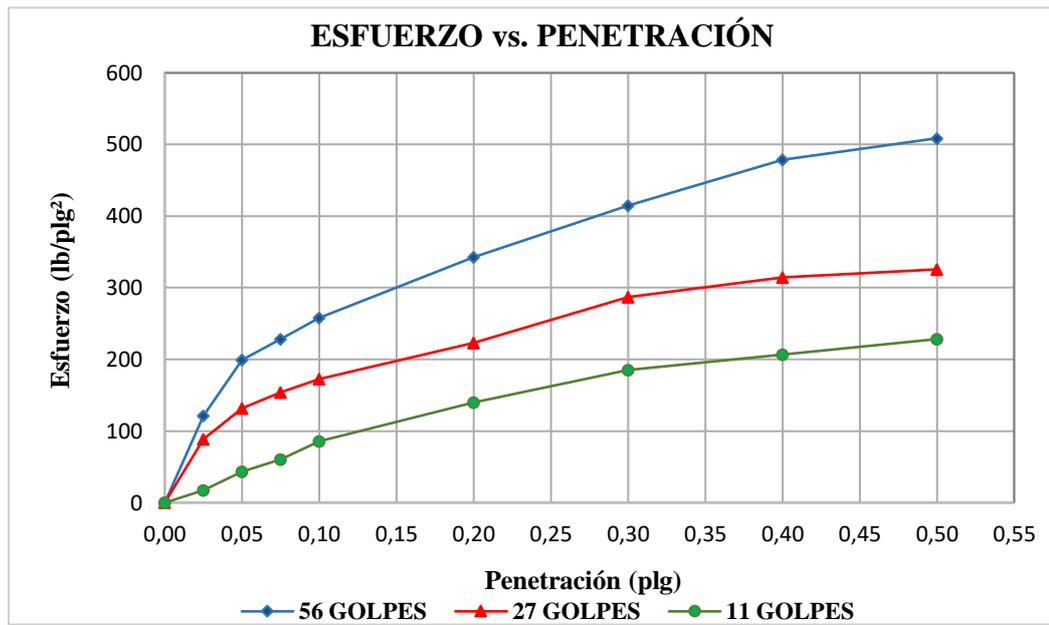
N° Golpe	Penetración		
	mm	mm	mm
0	100	100	110
1	170	177	155
2	195	206	180
3	245	235	208
4	285	265	231
5	325	300	260
6	365	329	290
7	408	353	320
8	432	374	350
9	458	392	375
10	460	416	396
11	485	441	415
12	512	450	441
13	550	452	476
14	585	520	520
15	615	576	554
16	621	615	575
17	626	634	602
18	631	643	640
19	642	648	666
20	652	655	675
21	671	663	678
22	683	675	683
23	691	685	686
24	701	693	690
25	712	695	693
26	725	703	695
27	731	709	699
28	748	715	700
29	756	728	704
30	766	735	711
31	781	751	723
32	790	764	731
33	796	771	
34	802	780	
35		792	
36		803	



DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	18,661	18,91
2	18,045	
3	20,030	

CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013						
MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	10512		10968		10586	
Masa molde (gr)	6625		7235		8102	
Masa muestra húmeda (gr)	3887		3733		2484	
Volúmen muestra (cm ³)	2268,24		2408,30		2377,52	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,71		1,55		1,04	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	96,30	85,30	86,51	91,21	101,30	87,92
Masa suelo seco + recip(gr)	78,50	68,73	70,36	72,98	82,39	69,98
Masa del agua (gr)	17,80	16,57	16,15	18,23	18,91	17,94
Masa del recip (gr)	7,60	7,60	7,60	7,20	7,50	7,30
Masa suelo seco	70,90	61,13	62,76	65,78	74,89	62,68
Contenido de humedad W(%)	25,11	27,11	25,73	27,71	25,25	28,62
W (%) Promedio	26,11		26,72		26,94	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,36		1,22		0,82	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	10764		11309		11002	
Masa molde (gr)	6625		7235		8102	
Masa muestra húmeda (gr)	4139		4074		2900	
Masa agua absorbida(gr)	252		341		416	
% Agua Absorbida	6,48		9,13		16,75	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	72,23	85,36	96,35	87,36	96,50	103,14
Masa del suelo seco+tarro (gr)	55,93	65,95	73,12	66,12	69,25	74,25
Masa del agua (gr)	16,30	19,41	23,23	21,24	27,25	28,89
Masa del tarro (gr)	7,10	7,30	7,20	7,60	7,80	7,10
Masa suelo seco	48,83	58,65	65,92	58,52	61,45	67,15
Contenido de agua (%)	33,38	33,09	35,24	36,30	44,34	43,02
W (%) Promedio	33,24		35,77		43,68	
ENSAYO						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	365	121,67	265	88,33	51	17,00
0,050	598	199,33	396	132,00	131	43,67
0,075	685	228,33	461	153,67	181	60,33
0,100	774	258,00	518	172,67	257	85,67
0,200	1028	342,67	670	223,33	420	140,00
0,300	1244	414,67	861	287,00	556	185,33
0,400	1436	478,67	943	314,33	621	207,00
0,500	1526	508,67	977	325,67	685	228,33

GRÁFICA ESFUERZO vs PENETRACIÓN

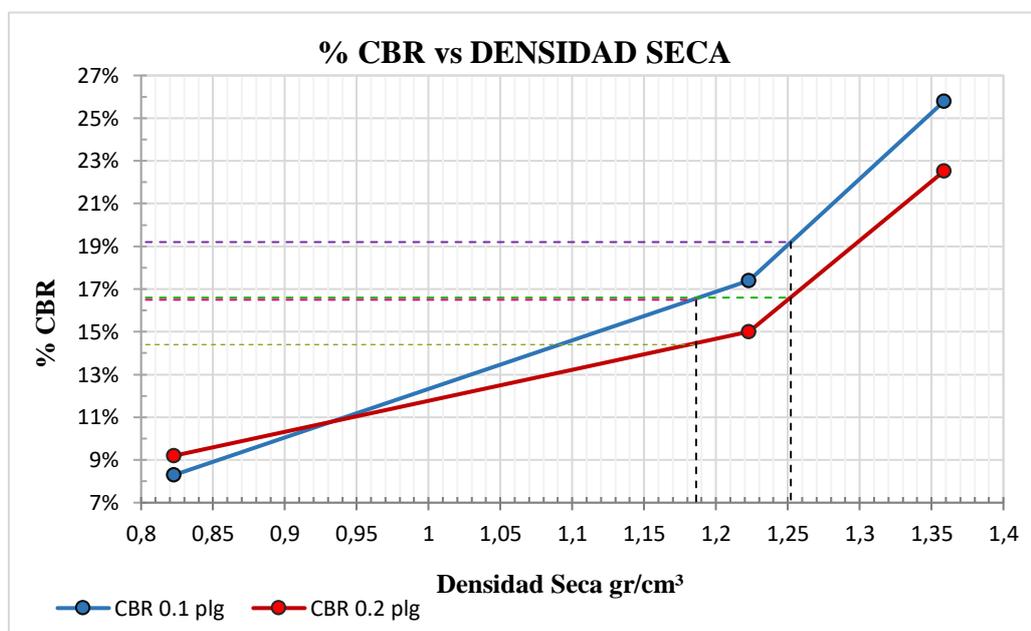


PORCENTAJES CBR (Corregidos)

MOLDE Nº	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	258	25,80%	1,359	338	22,53%	1,359
2	174	17,40%	1,223	225	15,00%	1,223
3	83	8,30%	0,823	138	9,20%	0,823

DENSIDAD SECA MÁXIMA 1,32 gr/cm³

DSM	%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,186	16,50%	16,50%
95%	1,252	19,20%	19,20%



Nota: El CBR para el diseño de pavimento es el 19,20%.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE TITULACIÓN



Proyecto: Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares, de las parroquias Cunchibamba y Unamucho de Ambato

Provincia: Tungurahua **Número de Muestra:** 4

Cantón: Ambato **Coordenadas:** 17 S, 769567,27 ; 9874475,22

Parroquia: Cunchibamba **Ensayado por:** Egda. María Mercedes Troya Jurado

Sector: La Dolorosa **Revisado por:** Ing. Favio Portilla

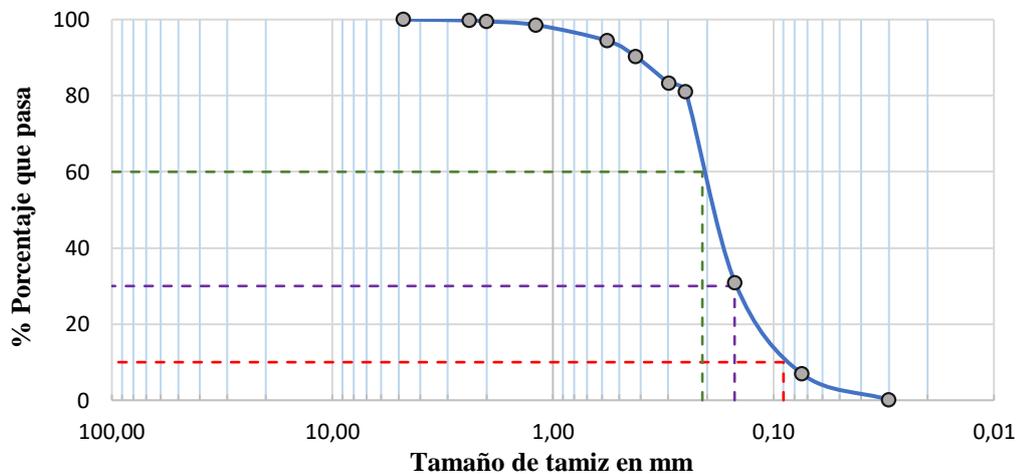
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
32,70	68,20	61,90	21,58	17,68
29,80	62,80	58,80	13,79	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

W muestra seca (gr)			250		
# Tamiz	mm	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
# 4	4,760	0,0	0,0	0,0	100,0
# 8	2,380	0,60	0,60	0,24	99,76
# 10	2,000	0,60	1,20	0,48	99,52
# 16	1,190	2,40	3,60	1,44	98,56
# 30	0,565	10,40	14,00	5,60	94,40
# 40	0,420	10,40	24,40	9,76	90,24
# 50	0,297	17,40	41,80	16,72	83,28
# 60	0,250	5,60	47,40	18,96	81,04
# 100	0,149	125,60	173,00	69,20	30,80
# 200	0,074	59,80	232,80	93,12	6,88
fuelle	0,030	16,80	249,60	99,84	0,16

REPRESENTACIÓN GRANULOMÉTRICA



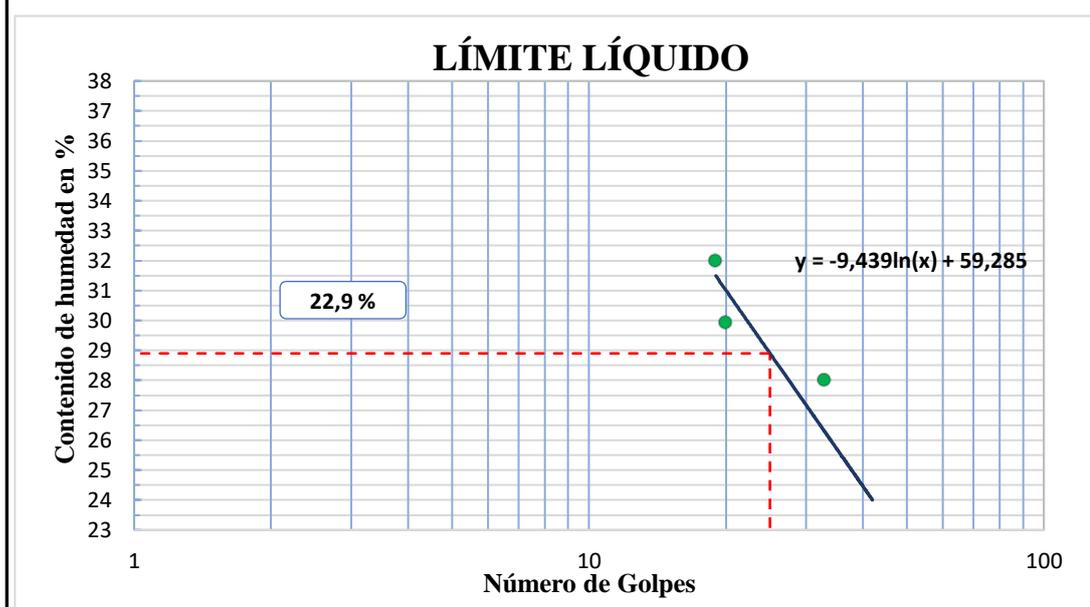
COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,09	Cu = D60/D10	2,33
D30 en mm	0,15	Cc = D30 ² /(D60*D10)	1,19
D60 en mm	0,21	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	0,42 mm

LÍMITE LÍQUIDO - Copa Casagrande - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
19	10,9	19,0	17,1	30,65	31,99
	11,4	21,8	19,2	33,33	
20	11,0	18,4	16,6	32,14	29,92
	11,1	19,4	17,6	27,69	
33	11,5	18,8	17,2	28,07	28,01
	11,6	20,3	18,4	27,94	
42	10,6	19,1	17,6	21,43	22,88
	11,4	20,6	18,8	24,32	
PROMEDIO LÍMITE LÍQUIDO					28,20

GRÁFICA DEL LÍMITE LÍQUIDO



En la gráfica se observa que el límite líquido a los 25 golpes en la copa de Casagrande es de 28,9 %.

LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
10	10,60	11,90	11,70	18,18	21,24
8	10,50	13,20	12,70	22,73	
14	10,60	13,50	13,00	20,83	
16	10,60	12,80	12,40	22,22	
35	10,70	12,90	12,50	22,22	

LÍMITES DE ATTERBERG

Límite líquido: 28,90 %
Límite plástico: 21,24 %
Índice Plástico: 7,66 %

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

SISTEMA	AASHTO	A-2-4 (Arena limosa o arcillosa)
	SUCS	SC (Mezcla de arena -arcilla)

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)			
Peso de la masa del suelo + funda gr.	Wm+Rec	1068,00	
Peso de la funda gr.	Rec	0,70	
Peso de la masa del suelo gr,	Wm = Wm+Rec-Rec	1067,30	
VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena	6315,00		
Peso final frasco + cono + arena	5060,00		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	343,00		
Peso arena en la perforación	912,00		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)	1,582		
Volumen de la perforación	Vm	576,49	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Recipiente número #		23	5
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	68,20	62,80
Peso seco + recipiente	Ws+rec	61,90	58,80
Peso recipiente	rec	32,70	29,80
Peso del agua	Ww	6,30	4,00
Peso de los sólidos	Ws	29,20	29,00
Contenido de humedad	w%	21,58	13,79
Contenido de humedad promedio	w% prom	17,68	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO			
		Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos	Vv =	6,88	-
Va =		Wa =	2,88
Vw =		Ww =	4,00
Vs =		Ws =	10,94
Vm =		Wm =	17,82
			33,00
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO			
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)		1,851	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)		1,573	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	17,68	%
Relación de vacíos	e = Vv/Vs	0,63	natural
Porosidad	n% = Vv/Vm*100	38,60	%
Grado de Saturación de agua	Gw% = Vw/Vv*100	58,13	%
Grado de Saturación de aire	Ga%	41,87	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015			
Peso picnómetro + agua	Wbw	648,8	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws	678,9	gr
Desplazamiento del agua	Ws + Wbw - Wbws	18,6	gr
Temperatura del agua y suelo en C°		19	C°
Factor de corrección por temperatura K		0,998	
Recipiente + peso suelo seco		144,31	gr
Peso recipiente		95,6	gr
Peso del suelo seco	Ws	48,7	gr
Gravedad Específica	Gs = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,612	gr

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	46 cm
VOLUMEN:	2124 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	17170 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO

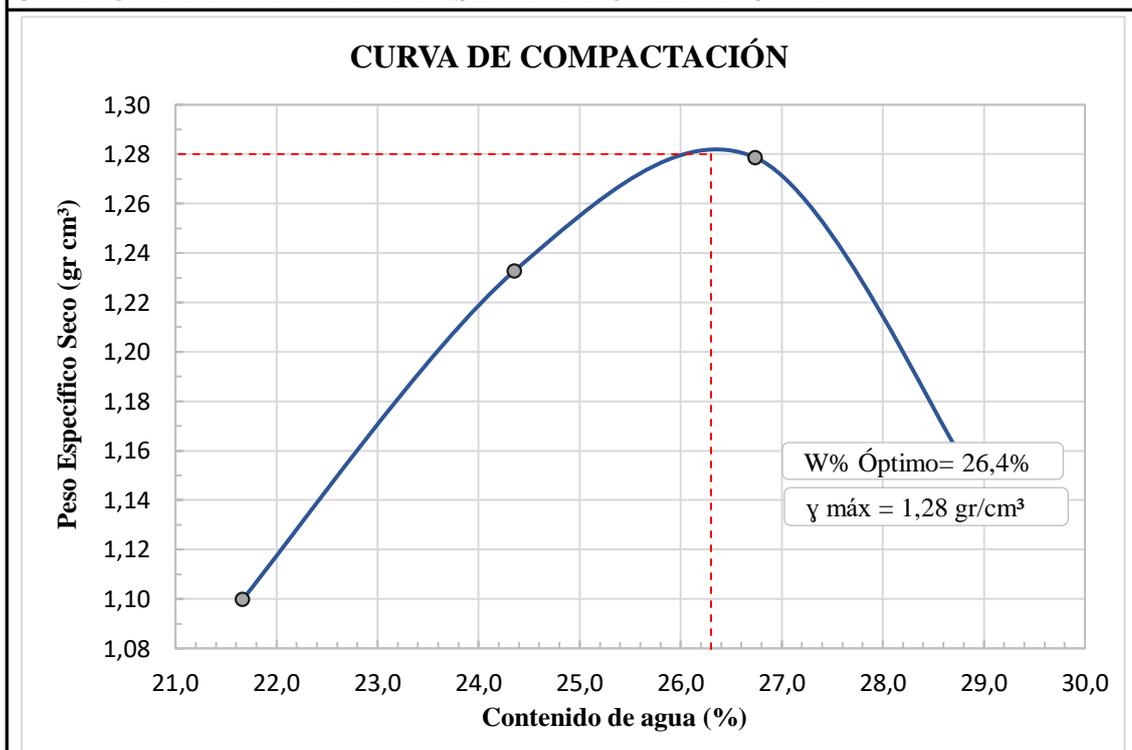
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	20012		20426		20612		20326	
Masa molde (gr)	17170		17170		17170		17170	
Masa suelo húmedo (gr)	2842		3256		3442		3156	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,338		1,533		1,621		1,486	
Masa del tarro (gr)	24,50	25,00	23,30	23,50	26,60	24,10	25,20	24,00
Masa suelo húm.+tarro (gr)	57,40	62,90	61,20	66,60	127,60	111,70	94,60	81,50
Masa suelo seco+tarro (gr)	51,50	56,20	54,10	57,80	108,00	91,80	79,10	68,60
Masa del agua (gr)	5,90	6,70	7,10	8,80	19,60	19,90	15,50	12,90
Masa suelo seco (gr)	27,00	31,20	30,80	34,30	81,40	67,70	53,90	44,60
Contenido de agua (%)	21,85	21,47	23,05	25,66	24,08	29,39	28,76	28,92
w (%) Promedio	21,66		24,35		26,74		28,84	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,10		1,23		1,28		1,15	

Densidad Seca Máxima (y máx): 1,280 gr/cm³

Humedad Óptima: 26,30 %

Grado de compactación: 122,91 %

GRÁFICA DE LA MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA

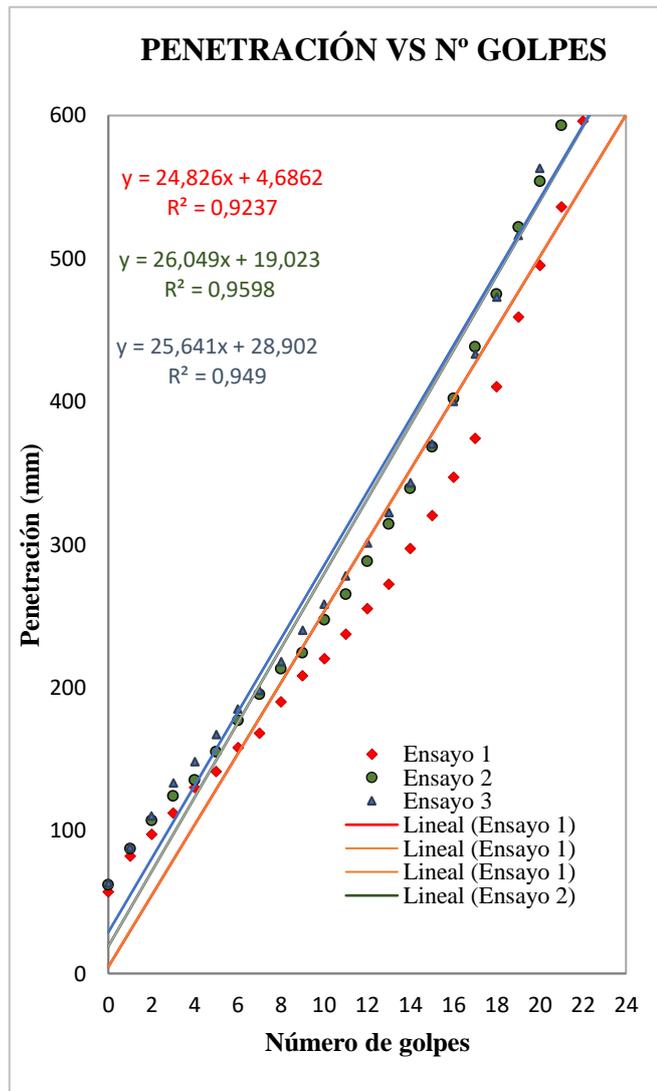


Descripcion del ensayo

La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,28 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 26,3%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

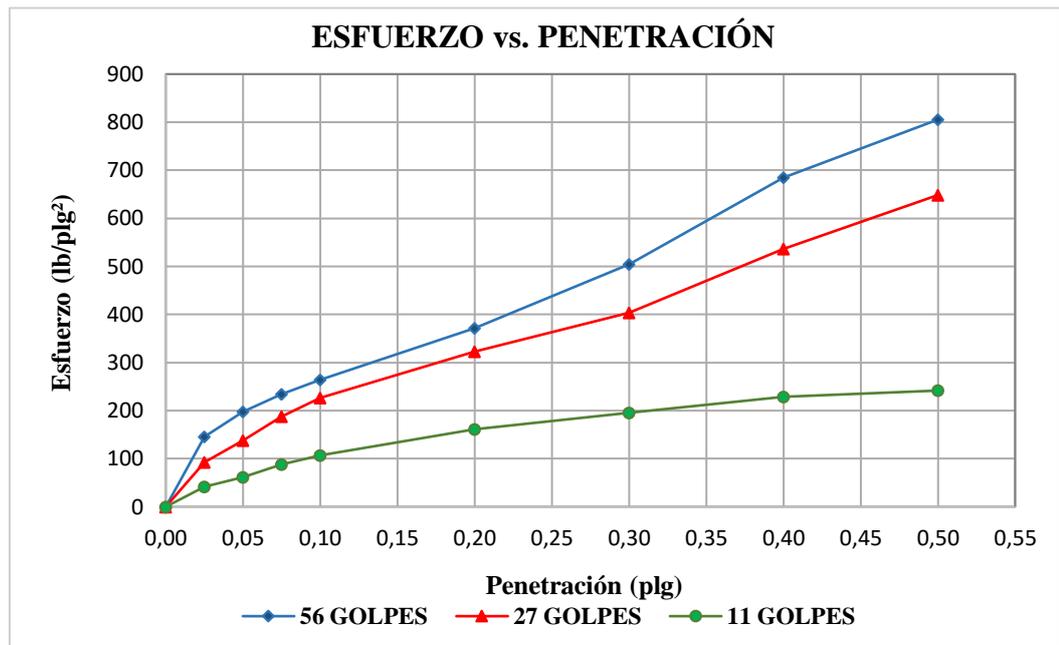
N° Golpe	Penetración		
	mm	mm	mm
0	57	62	63
1	82	87	88
2	97	107	110
3	112	124	133
4	130	135	148
5	141	155	167
6	158	177	185
7	168	195	198
8	190	213	218
9	208	224	240
10	220	247	258
11	237	265	278
12	255	288	301
13	272	314	322
14	297	339	343
15	320	368	370
16	347	402	400
17	374	438	433
18	410	475	473
19	459	522	516
20	495	554	563
21	536	593	630
22	596	644	715
23	635	718	
24	769		
25			



DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	24,826	25,51
2	26,049	
3	25,641	

CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013						
MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	10756		11063		10698	
Masa molde (gr)	6579		7235		8102	
Masa muestra húmeda (gr)	4177		3828		2596	
Volúmen muestra (cm ³)	2268,24		2408,30		2377,52	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,84		1,59		1,09	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	90,32	76,94	89,56	81,56	91,08	76,94
Masa suelo seco + recip(gr)	80,36	68,73	80,06	72,01	80,36	68,73
Masa del agua (gr)	9,96	8,21	9,50	9,55	10,72	8,21
Masa del recip (gr)	7,30	7,60	7,60	7,20	7,50	7,30
Masa suelo seco	73,06	61,13	72,46	64,81	72,86	61,43
Contenido de humedad W(%)	13,63	13,43	13,11	14,74	14,71	13,36
W (%) Promedio	13,53		13,92		14,04	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,62		1,40		0,96	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	10846		11352		10959	
Masa molde (gr)	6579		7235		8102	
Masa muestra húmeda (gr)	4267		4117		2857	
Masa agua absorbida(gr)	90		289		261	
% Agua Absorbida	2,15		7,55		10,05	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	62,23	74,26	70,32	65,19	84,12	89,02
Masa del suelo seco+tarro (gr)	54,93	64,89	59,35	55,32	68,95	73,64
Masa del agua (gr)	7,30	9,37	10,97	9,87	15,17	15,38
Masa del tarro (gr)	7,30	7,40	7,60	7,40	7,10	7,90
Masa suelo seco	47,63	57,49	51,75	47,92	61,85	65,74
Contenido de agua (%)	15,33	16,30	21,20	20,60	24,53	23,40
W (%) Promedio	15,81		20,90		23,96	
ENSAYO						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	437	145,67	279	93,00	124	41,33
0,050	592	197,33	413	137,67	185	61,67
0,075	704	234,67	564	188,00	265	88,33
0,100	793	264,33	680	226,67	320	106,67
0,200	1115	371,67	969	323,00	484	161,33
0,300	1514	504,67	1211	403,67	586	195,33
0,400	2054	684,67	1610	536,67	687	229,00
0,500	2416	805,33	1945	648,33	725	241,67

GRÁFICA ESFUERZO vs PENETRACIÓN

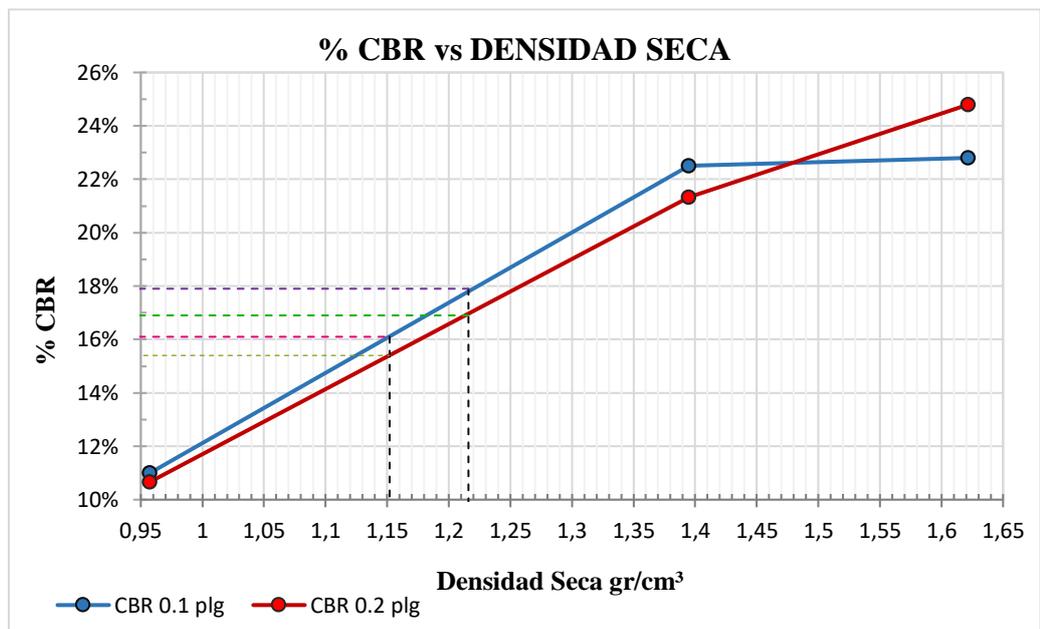


PORCENTAJES CBR (Corregidos)

MOLDE N°	Presión (lb/plg²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	228	22,80%	1,622	372	24,80%	1,622
2	225	22,50%	1,395	320	21,33%	1,395
3	110	11,00%	0,957	160	10,67%	0,957

DENSIDAD SECA MÁXIMA 1,28 gr/cm³

DSM	%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,152	16,10%	16,10%
95%	1,216	17,90%	17,90%



Nota: El CBR para el diseño de pavimento es el 18,8%.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE TITULACIÓN



Proyecto: Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares, de las parroquias Cunchibamba y Unamucho de Ambato

Provincia: Tungurahua **Número de Muestra:** 5
Cantón: Ambato **Coordenadas:** 17 S, 769567,27 ; 9874475,22
Parroquia: Cunchibamba **Ensayado por:** Egda. María Mercedes Troya Jurado
Sector: La Dolorosa **Revisado por:** Ing. Favio Portilla

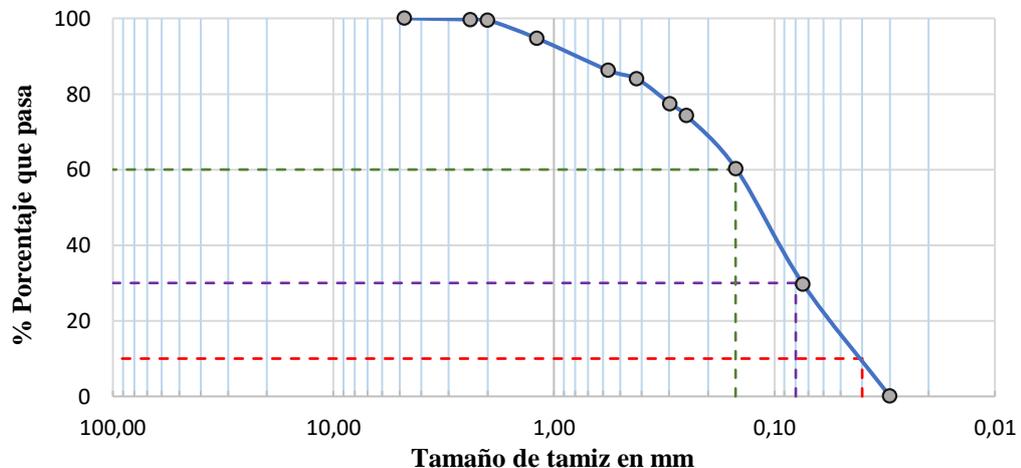
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
24,20	61,20	58,10	9,14	10,91
23,90	55,90	52,30	12,68	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

# Tamiz	mm	W muestra seca (gr)		250	
		W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
# 4	4,760	0,0	0,0	0,00	100,00
# 8	2,380	0,80	0,80	0,32	99,68
# 10	2,000	0,30	1,10	0,44	99,56
# 16	1,190	12,20	13,30	5,32	94,68
# 30	0,565	21,20	34,50	13,80	86,20
# 40	0,420	5,50	40,00	16,00	84,00
# 50	0,297	16,40	56,40	22,56	77,44
# 60	0,250	8,00	64,40	25,76	74,24
# 100	0,149	35,20	99,60	39,84	60,16
# 200	0,074	76,30	175,90	70,36	29,64
fuelle	0,030	73,80	249,70	99,88	0,12

REPRESENTACIÓN GRANULOMÉTRICA



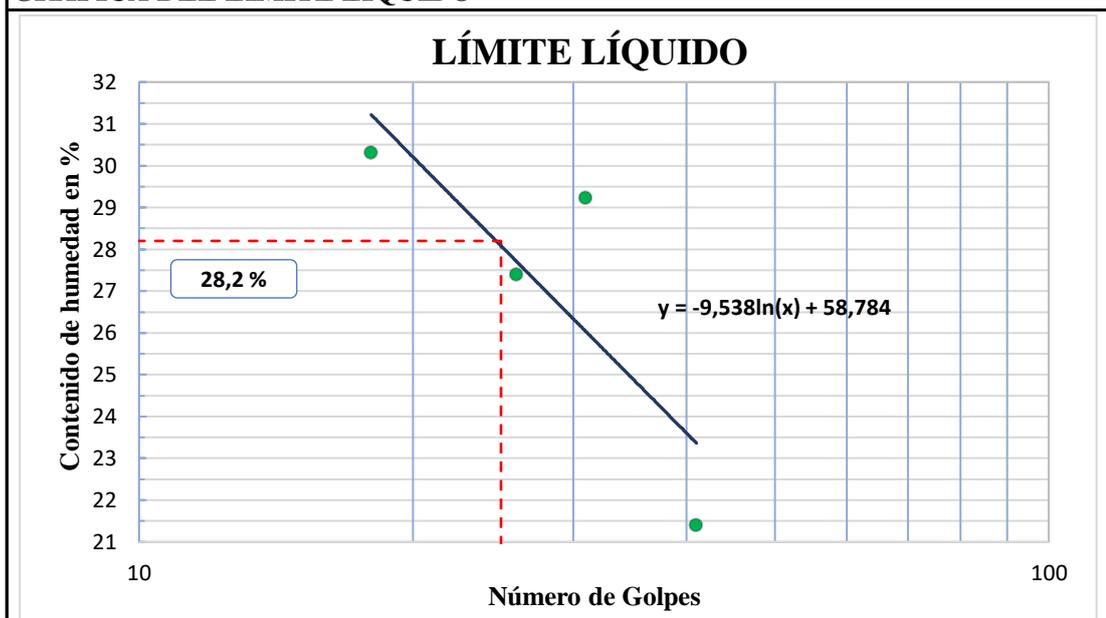
COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,04	Cu = D60/D10	3,75
D30 en mm	0,08	Cc = D30 ² /(D60*D10)	1,07
D60 en mm	0,15	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	0,565 mm

LÍMITE LÍQUIDO - Copa Casagrande - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
31	11,4	22,7	20,1	29,89	29,23
	11,8	24,4	21,6	28,57	
26	11,2	22,2	19,8	27,91	27,39
	12,1	23,9	21,4	26,88	
41	10,9	19,1	17,8	18,84	21,39
	10,9	19,7	18,0	23,94	
18	11,0	20,8	18,7	27,27	30,30
	11,4	20,2	18,0	33,33	
					27,08

GRÁFICA DEL LÍMITE LÍQUIDO



En la gráfica se observa que el límite líquido a los 25 golpes en la copa de Casagrande es de 28,2 %.

LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
5	7,50	8,20	8,10	16,67	21,29
14	5,90	7,30	7,00	27,27	
15	10,50	12,00	11,70	25,00	
36	10,60	11,50	11,40	12,50	
23	10,70	11,70	11,50	25,00	

LÍMITES DE ATTERBERG

Límite líquido: 28,20 %
 Límite plástico: 21,29 %
 Índice Plástico: 6,91 %

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

SISTEMA	AASHTO	A-2-4 (Arena limosa o arcillosa)
	SUCS	SM-SC (Arenas con finos)

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)			
Peso de la masa del suelo + funda gr.	Wm+Rec	774,00	
Peso de la funda gr.	Rec	0,70	
Peso de la masa del suelo gr,	Wm = Wm+Rec-Rec	773,30	
VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena			6285,00
Peso final frasco + cono + arena			5165,00
Peso arena en el cono (Calibración del cono)			343,00
Peso arena en la perforación			777,00
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)			1,582
Volumen de la perforación	Vm	491,15	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Recipiente número #		11	25
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	61,20	55,90
Peso seco + recipiente	Ws+rec	58,10	52,30
Peso recipiente	rec	24,20	23,90
Peso del agua	Ww	3,10	3,60
Peso de los sólidos	Ws	33,90	28,40
Contenido de humedad	w%	9,14	12,68
Contenido de humedad promedio	w% prom	10,91	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO			
		Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos	Vv =	9,61	-
Va =		Wa =	6,01
Vw =		Ww =	3,60
Vs =		Ws =	10,72
Vm =		Wm =	20,32
			32,00
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO			2,644
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)		1,574	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)		1,420	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	10,91	%
Relación de vacíos	e= Vv/Vs	0,90	natural
Porosidad	n% = Vv/Vm*100	47,27	%
Grado de Saturación de agua	Gw%= Vw/Vv*100	37,47	%
Grado de Saturación de aire	Ga%	62,53	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015			
Peso picnómetro + agua	Wbw	648,8	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws	678,9	gr
Desplazamiento del agua	Ws + Wbw - Wbws	18,3	gr
Temperatura del agua y suelo en C°		19	C°
Factor de corrección por temperatura K		0,998	
Recipiente + peso suelo seco		146,15	gr
Peso recipiente		97,8	gr
Peso del suelo seco	Ws	48,4	gr
Gravedad Específica	Gs = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,644	gr

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	46 cm
VOLUMEN:	2305 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	17149 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO

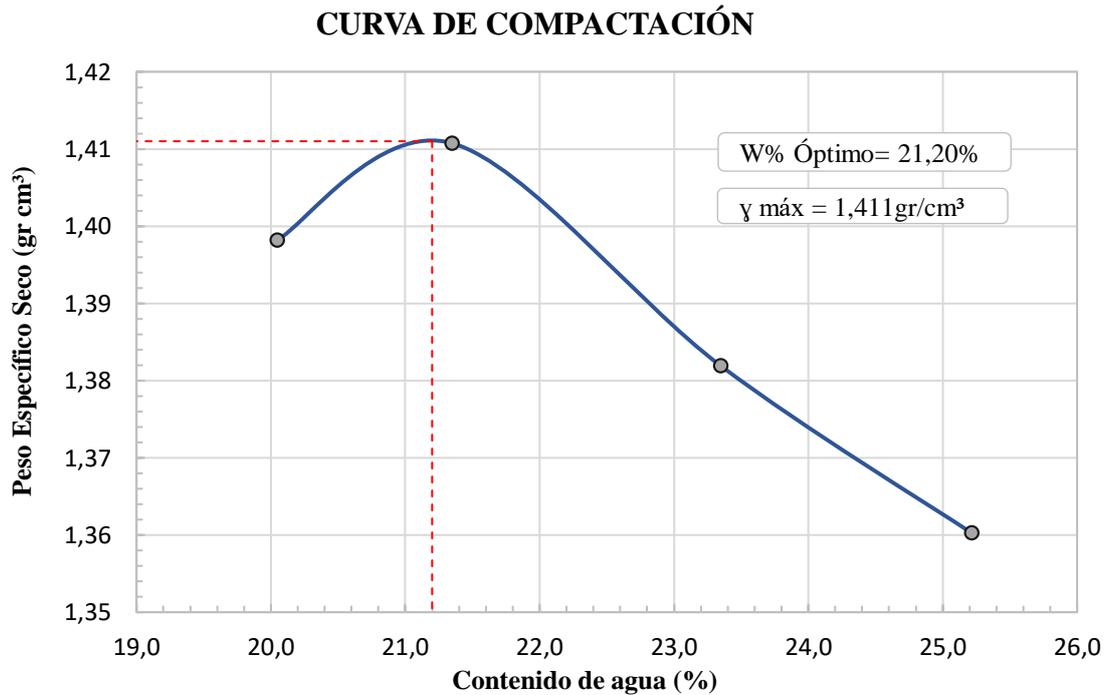
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	21018		21095		21078		21075	
Masa molde (gr)	17149		17149		17149		17149	
Masa suelo húmedo (gr)	3869		3946		3929		3926	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,679		1,712		1,705		1,703	
Masa del tarro (gr)	24,20	24,60	31,10	23,90	30,60	23,00	26,40	30,50
Masa suelo húm.+tarro (gr)	106,20	107,30	109,60	109,90	110,80	93,00	119,20	114,30
Masa suelo seco+tarro (gr)	93,10	92,90	95,40	95,20	96,50	79,00	101,80	96,30
Masa del agua (gr)	13,10	14,40	14,20	14,70	14,30	14,00	17,40	18,00
Masa suelo seco (gr)	68,90	68,30	64,30	71,30	65,90	56,00	75,40	65,80
Contenido de agua (%)	19,01	21,08	22,08	20,62	21,70	25,00	23,08	27,36
w (%) Promedio	20,05		21,35		23,35		25,22	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,40		1,41		1,38		1,36	

Densidad Seca Máxima (y máx): 1,411 gr/cm³

Humedad Óptima: 21,20 %

Grado de compactación: 100,61 %

GRÁFICA DE LA MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA

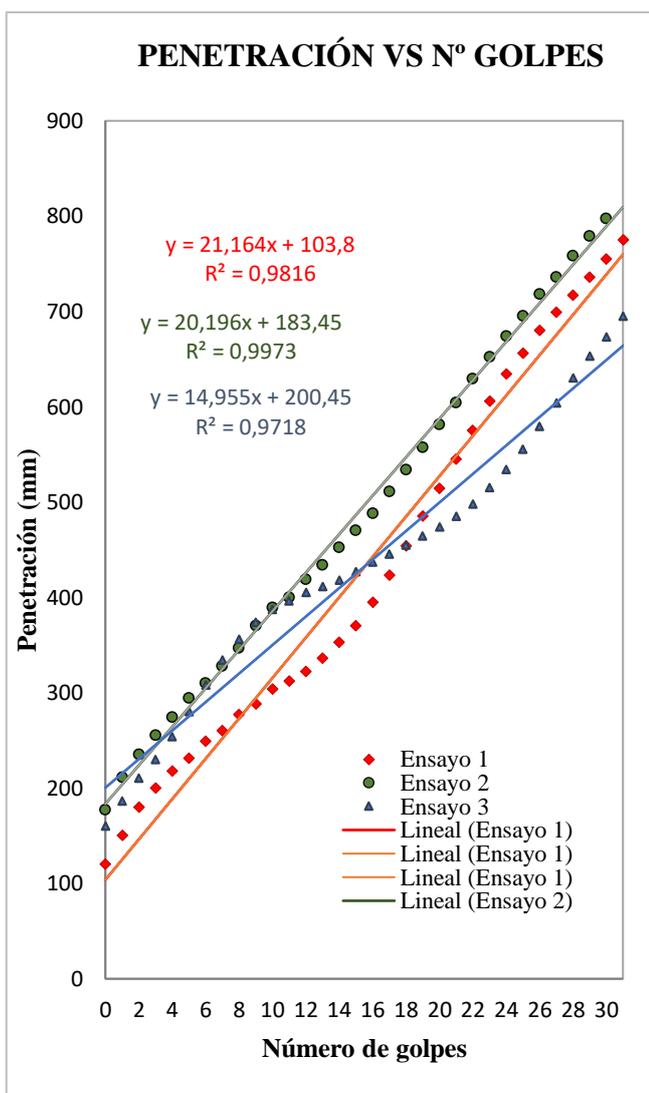


Descripcion del ensayo

La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,411 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 21,2%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

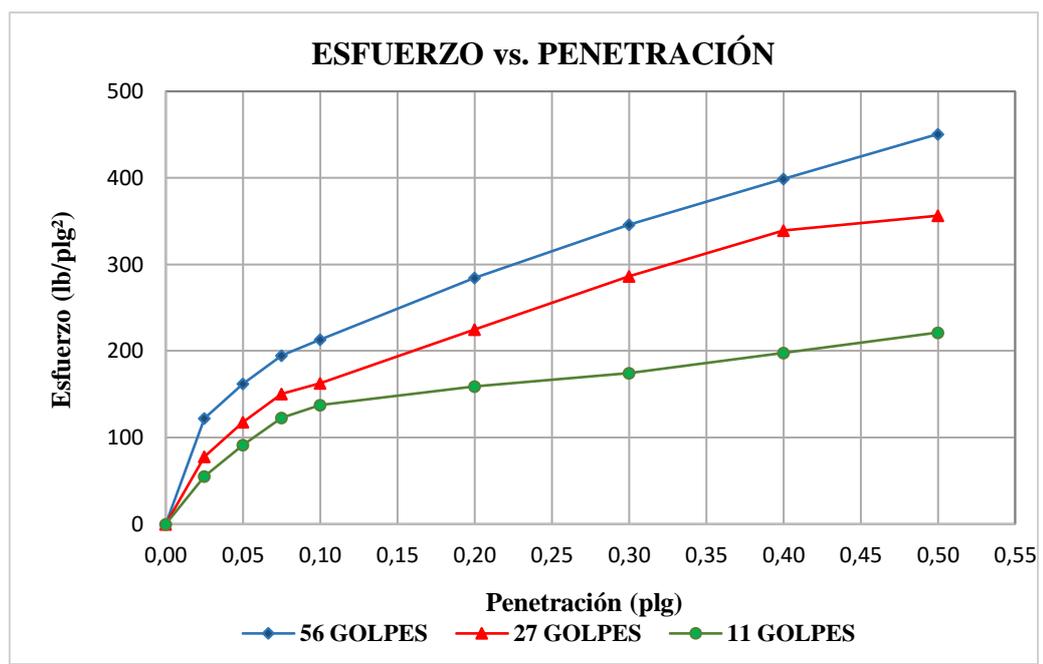
N° Golpe	Penetración		
	mm	mm	mm
0	120	177	160
1	150	211	186
2	180	235	210
3	200	255	230
4	218	274	254
5	231	294	280
6	249	310	308
7	260	328	334
8	277	347	356
9	288	370	374
10	304	389	387
11	312	400	396
12	322	419	405
13	336	434	411
14	353	452	418
15	370	470	427
16	395	488	437
17	423	511	445
18	454	534	455
19	485	557	464
20	514	581	474
21	545	604	485
22	575	629	498
23	606	652	515
24	634	674	534
25	656	695	555
26	680	718	579
27	699	736	604
28	717	758	630
29	736	779	653
30	755	797	673
31	775		695



DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	21,164	18,77
2	20,196	
3	14,955	

CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013						
MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	10625		10813		10925	
Masa molde (gr)	6579		7235		8102	
Masa muestra húmeda (gr)	4046		3578		2823	
Volúmen muestra (cm ³)	2268,24		2408,30		2377,52	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,78		1,49		1,19	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	63,54	75,26	93,21	76,25	86,21	95,24
Masa suelo seco + recip(gr)	53,42	63,92	78,40	64,13	72,36	80,23
Masa del agua (gr)	10,12	11,34	14,81	12,12	13,85	15,01
Masa del recip (gr)	7,30	7,50	7,60	7,20	7,60	7,40
Masa suelo seco	46,12	56,42	70,80	56,93	64,76	72,83
Contenido de humedad W(%)	21,94	20,10	20,92	21,29	21,39	20,61
W (%) Promedio	21,02		21,10		21,00	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,47		1,23		0,98	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	10696		10935		11123	
Masa molde (gr)	6579		7235		8102	
Masa muestra húmeda (gr)	4117		3700		3021	
Masa agua absorbida(gr)	71		122		198	
% Agua Absorbida	1,75		3,41		7,01	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	66,23	78,26	69,32	68,19	87,12	93,02
Masa del suelo seco+tarro (gr)	54,93	64,89	57,35	55,32	68,95	73,64
Masa del agua (gr)	11,30	13,37	11,97	12,87	18,17	19,38
Masa del tarro (gr)	7,30	7,40	7,60	7,40	7,10	7,90
Masa suelo seco	47,63	57,49	49,75	47,92	61,85	65,74
Contenido de agua (%)	23,72	23,26	24,06	26,86	29,38	29,48
W (%) Promedio	23,49		25,46		29,43	
ENSAYO						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	366	122,00	233	77,67	165	55,00
0,050	486	162,00	353	117,67	275	91,67
0,075	585	195,00	452	150,67	368	122,67
0,100	639	213,00	489	163,00	412	137,33
0,200	853	284,33	674	224,67	478	159,33
0,300	1038	346,00	859	286,33	523	174,33
0,400	1196	398,67	1017	339,00	593	197,67
0,500	1352	450,67	1069	356,33	664	221,33

GRÁFICA ESFUERZO vs PENETRACIÓN



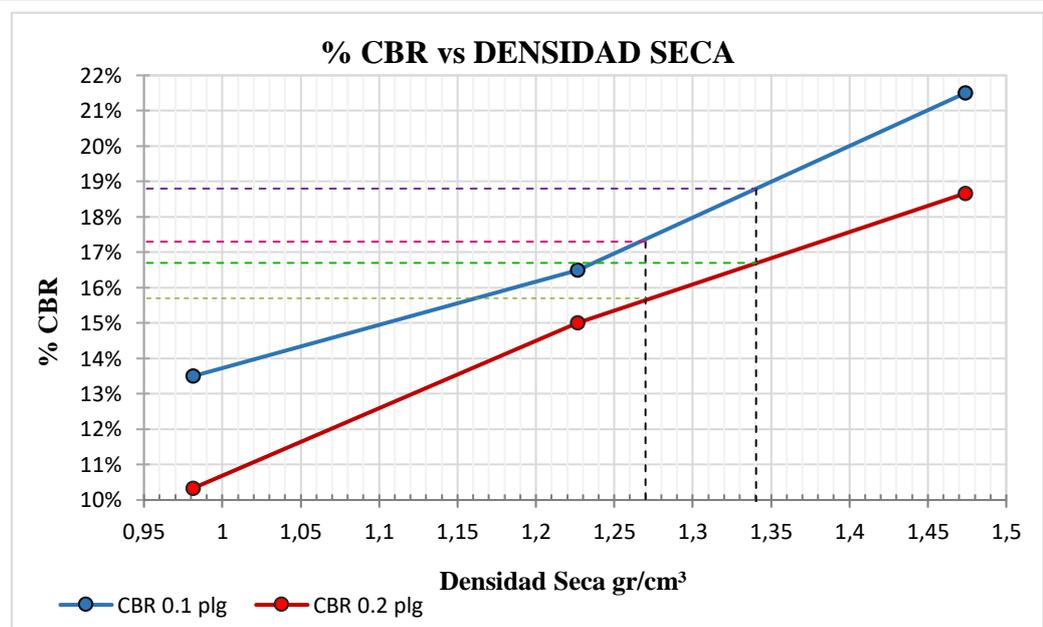
PORCENTAJES CBR (Corregidos)

MOLDE N°	Presión (lb/plg²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	215	21,50%	1,474	280	18,67%	1,474
2	165	16,50%	1,227	225	15,00%	1,227
3	135	13,50%	0,981	155	10,33%	0,981

DENSIDAD SECA MÁXIMA

1,41 gr/cm³

DSM	%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,270	17,30%	17,30%
95%	1,340	18,80%	18,80%



Nota: El CBR para el diseño de pavimento es el 18,8%.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE TITULACIÓN



Proyecto: Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares, de las parroquias Cunchibamba y Unamuncho de Ambato

Provincia: Tungurahua **Número de Muestra:** 6
Cantón: Ambato **Coordenadas:** 17 S, 769293,56 ; 9873303,39
Parroquia: Cunchibamba **Ensayado por:** Egda. María Mercedes Troya Jurado
Sector: La Dolorosa **Revisado por:** Ing. Favio Portilla

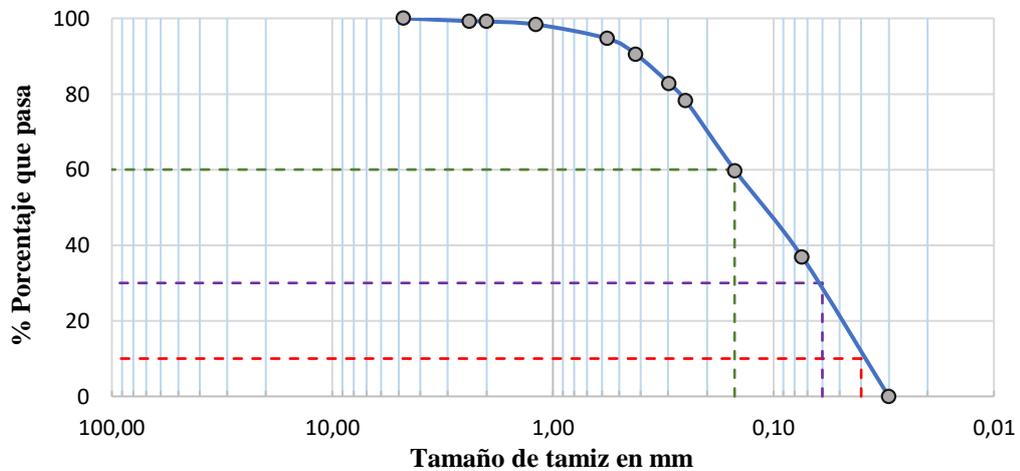
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
32,70	68,20	61,90	21,58	17,68
29,80	62,80	58,80	13,79	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

		W muestra seca (gr)		250	
# Tamiz	mm	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
# 4	4,760	0,0	0,0	0,0	100,0
# 8	2,380	1,90	1,90	0,76	99,24
# 10	2,000	0,20	2,10	0,84	99,16
# 16	1,190	2,00	4,10	1,64	98,36
# 30	0,565	9,30	13,40	5,36	94,64
# 40	0,420	10,40	23,80	9,52	90,48
# 50	0,297	19,20	43,00	17,20	82,80
# 60	0,250	11,30	54,30	21,72	78,28
# 100	0,149	46,40	100,70	40,28	59,72
# 200	0,074	57,20	157,90	63,16	36,84
fuelle	0,030	92,10	250,00	100,00	0,00

REPRESENTACIÓN GRANULOMÉTRICA



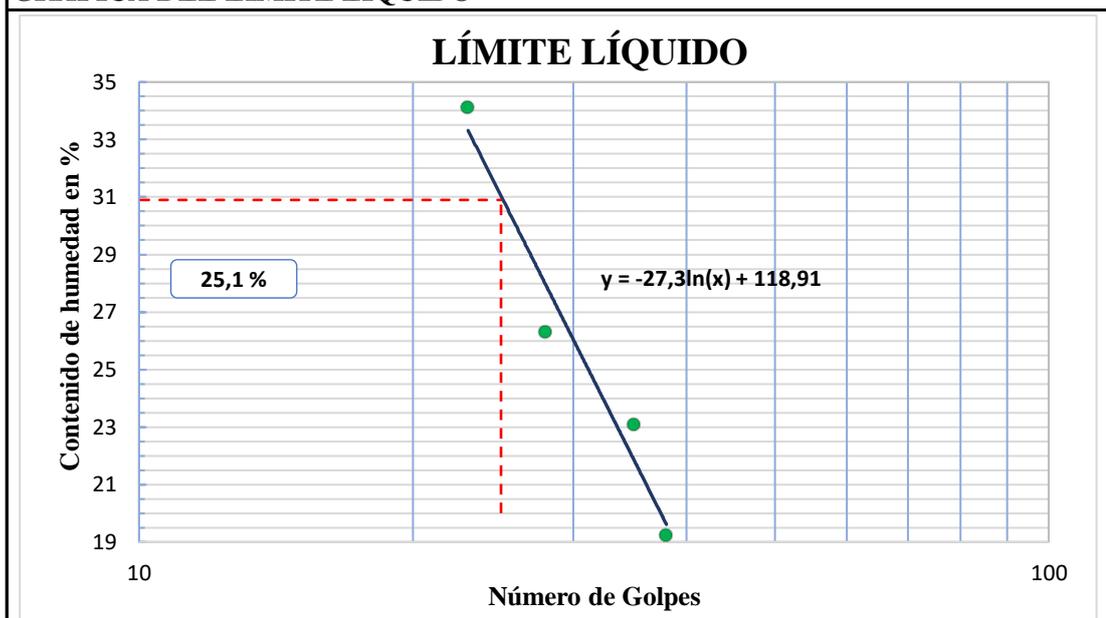
COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,04	Cu = D60/D10	3,75
D30 en mm	0,06	Cc = D30 ² /(D60*D10)	0,60
D60 en mm	0,15	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	0,420 mm

LÍMITE LÍQUIDO - Copa Casagrande - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
23	11,2	23,0	20,1	32,58	34,11
	10,8	24,5	20,9	35,64	
38	11,7	19,4	18,2	18,46	19,23
	10,6	20,2	18,6	20,00	
28	11,1	20,9	18,9	25,64	26,30
	10,9	22,2	19,8	26,97	
35	11,5	19,9	18,2	25,37	23,08
	11,4	20,7	19,1	20,78	
PROMEDIO LIMITE LÍQUIDO					25,68

GRÁFICA DEL LÍMITE LÍQUIDO



En la gráfica se observa que el límite líquido a los 25 golpes en la copa de Casagrande es de 30,9 %.

LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
3	5,90	6,90	6,70	25,00	23,76
4	6,10	7,00	6,80	28,57	
15	6,10	6,70	6,60	20,00	
18	6,30	7,00	6,90	16,67	
26	15,10	16,00	15,80	28,57	

LÍMITES DE ATTERBERG

Límite líquido: 30,90 %
 Límite plástico: 23,76 %
 Índice Plástico: 7,14 %

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

SISTEMA	AASHTO	A-4 (Suelo limoso)
	SUCS	SC (Arena arcillosa)

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)			
Peso de la masa del suelo + funda gr.	Wm+Rec	836,00	
Peso de la funda gr.	Rec	0,70	
Peso de la masa del suelo gr,	Wm = Wm+Rec-Rec	835,30	
VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena	6285,00		
Peso final frasco + cono + arena	5115,00		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	343,00		
Peso arena en la perforación	827,00		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)	1,582		
Volumen de la perforación	Vm	522,76	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Recipiente número #		11	25
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	68,20	62,80
Peso seco + recipiente	Ws+rec	61,90	58,80
Peso recipiente	rec	32,70	29,80
Peso del agua	Ww	6,30	4,00
Peso de los sólidos	Ws	29,20	29,00
Contenido de humedad	w%	21,58	13,79
Contenido de humedad promedio	w% prom	17,68	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO			
		Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos	Vv =	9,71	-
Va =		Wa =	5,71
Vw =		Ww =	4,00
Vs =		Ws =	10,94
Vm =		Wm =	20,65
			33,00
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO			
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)		1,598	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)		1,358	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	17,68	%
Relación de vacíos	e= Vv/Vs	0,89	natural
Porosidad	n% = Vv/Vm*100	47,01	%
Grado de Saturación de agua	Gw%= Vw/Vv*100	41,20	%
Grado de Saturación de aire	Ga%	58,80	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015			
Peso picnómetro + agua	Wbw	648,8	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws	678,9	gr
Desplazamiento del agua	Ws + Wbw - Wbws	19,0	gr
Temperatura del agua y suelo en C°		19	C°
Factor de corrección por temperatura K		0,998	
Recipiente + peso suelo seco		149,8	gr
Peso recipiente		100,7	gr
Peso del suelo seco	Ws	49,1	gr
Gravedad Específica	Gs = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,579	gr

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	46 cm
VOLUMEN:	2124 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	17170 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO

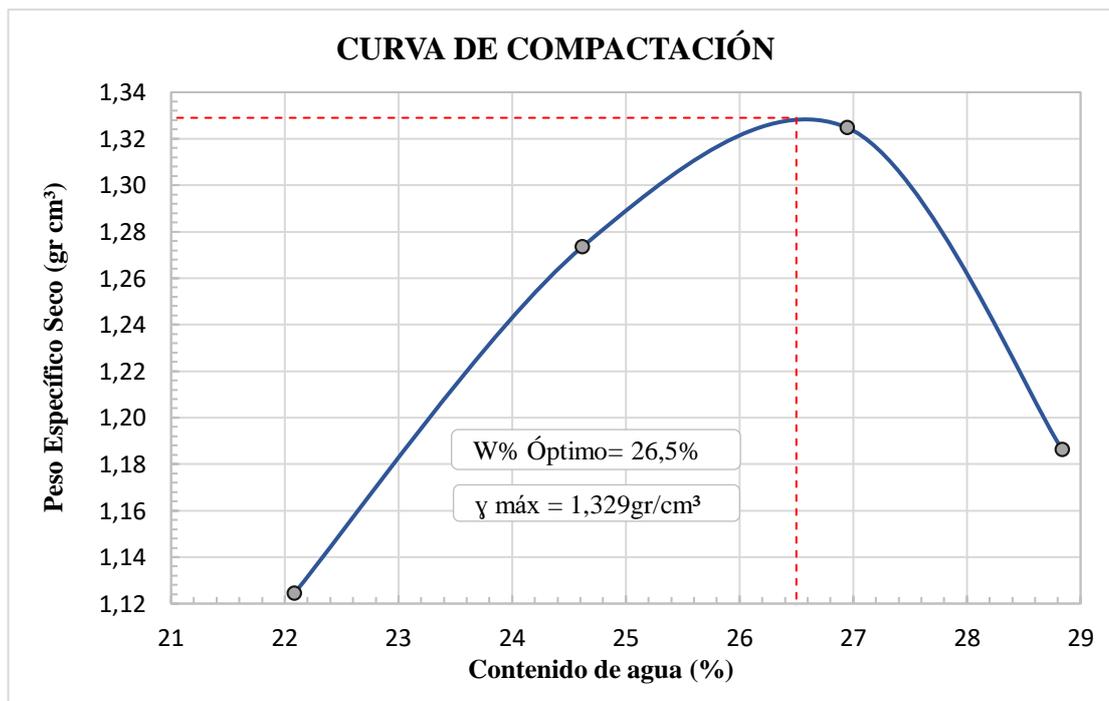
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	20086		20541		20742		20416	
Masa molde (gr)	17170		17170		17170		17170	
Masa suelo húmedo (gr)	2916		3371		3572		3246	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,373		1,587		1,682		1,528	
Masa del tarro (gr)	24,50	25,00	23,30	23,50	26,60	24,10	25,20	24,00
Masa suelo húm.+tarro (gr)	57,40	62,90	61,20	66,60	127,60	111,70	94,60	81,50
Masa suelo seco+tarro (gr)	51,40	56,10	53,70	58,10	107,60	91,90	79,10	68,60
Masa del agua (gr)	6,00	6,80	7,50	8,50	20,00	19,80	15,50	12,90
Masa suelo seco (gr)	26,90	31,10	30,40	34,60	81,00	67,80	53,90	44,60
Contenido de agua (%)	22,30	21,86	24,67	24,57	24,69	29,20	28,76	28,92
w (%) Promedio	22,08		24,62		26,95		28,84	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,12		1,27		1,32		1,19	

Densidad Seca Máxima (y máx): 1,329 gr/cm³

Humedad Óptima: 26,50 %

Grado de compactación: 102,16 %

GRÁFICA DE LA MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA

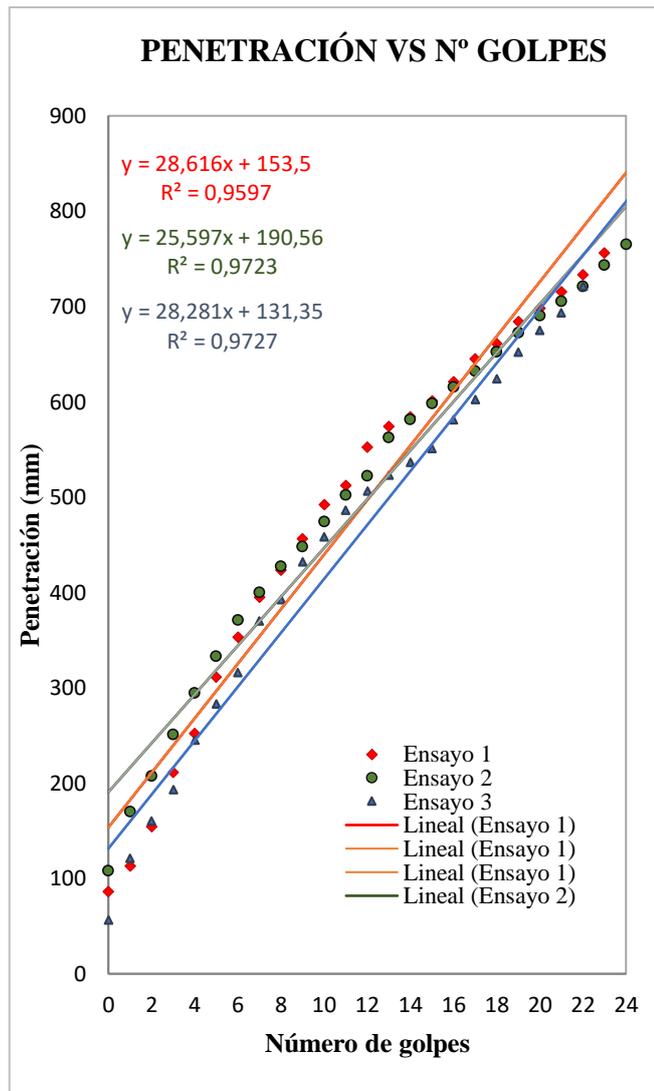


Descripcion del ensayo

La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,329 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 26,5%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

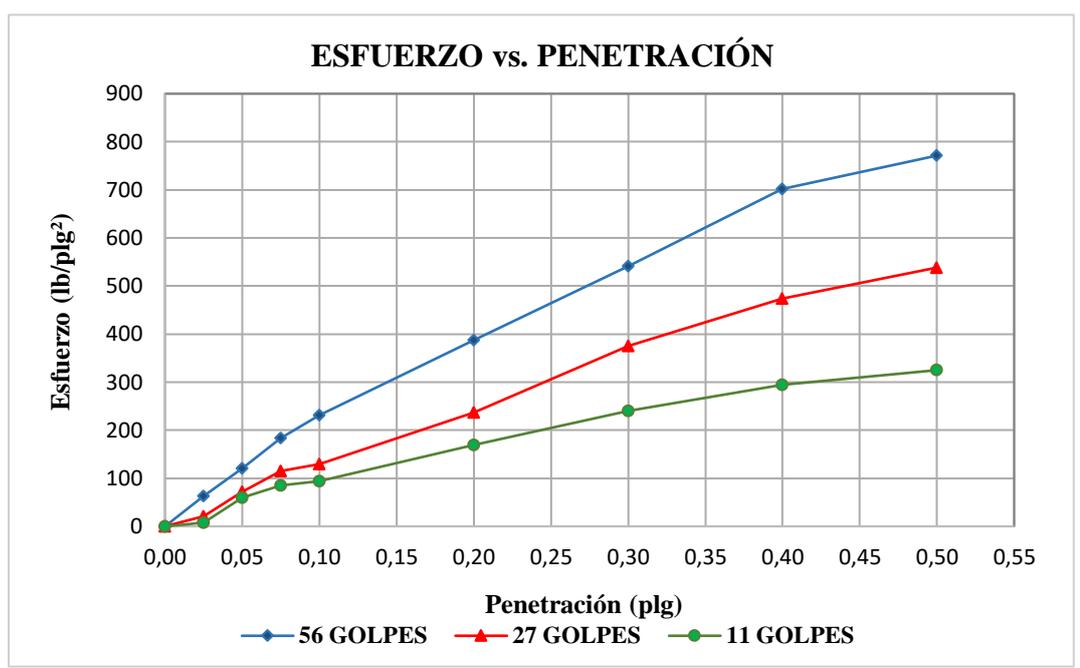
N° Golpe	Penetración		
	mm	mm	mm
0	86	108	56
1	113	170	121
2	154	207	160
3	211	251	193
4	252	294	245
5	311	333	283
6	353	371	316
7	395	400	370
8	423	427	392
9	456	448	432
10	492	474	458
11	512	502	486
12	552	522	506
13	574	562	523
14	584	581	536
15	601	598	551
16	621	615	581
17	645	632	602
18	661	652	624
19	684	672	652
20	698	690	675
21	715	705	693
22	733	721	721
23	756	743	
24		765	



DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	28,616	27,50
2	25,597	
3	28,281	

CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013						
MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	10526		10596		10925	
Masa molde (gr)	6582		6752		8036	
Masa muestra húmeda (gr)	3944		3844		2889	
Volúmen muestra (cm ³)	2268,24		2408,30		2377,52	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,74		1,60		1,22	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	72,50	68,50	92,30	85,90	68,50	64,30
Masa suelo seco + recip(gr)	58,30	56,10	74,10	69,50	55,90	52,30
Masa del agua (gr)	14,20	12,40	18,20	16,40	12,60	12,00
Masa del recip (gr)	7,80	7,20	7,30	7,20	7,50	7,40
Masa suelo seco	50,50	48,90	66,80	62,30	48,40	44,90
Contenido de humedad W(%)	28,12	25,36	27,25	26,32	26,03	26,73
W (%) Promedio	26,74		26,78		26,38	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,37		1,26		0,96	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	10625		11098		11225	
Masa molde (gr)	6582		6752		8036	
Masa muestra húmeda (gr)	4043		4346		3189	
Masa agua absorbida(gr)	99		502		300	
% Agua Absorbida	2,51		13,06		10,38	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	66,50	59,10	64,30	66,40	76,10	70,10
Masa del suelo seco+tarro (gr)	52,40	47,60	49,40	51,20	57,30	54,20
Masa del agua (gr)	14,10	11,50	14,90	15,20	18,80	15,90
Masa del tarro (gr)	7,30	7,40	7,60	7,40	7,10	7,90
Masa suelo seco	45,10	40,20	41,80	43,80	50,20	46,30
Contenido de agua (%)	31,26	28,61	35,65	34,70	37,45	34,34
W (%) Promedio	29,94		35,17		35,90	
ENSAYO						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	188	62,67	64	21,33	23	7,67
0,050	362	120,67	215	71,67	180	60,00
0,075	551	183,67	345	115,00	255	85,00
0,100	695	231,67	390	130,00	281	93,67
0,200	1162	387,33	712	237,33	509	169,67
0,300	1625	541,67	1125	375,00	722	240,67
0,400	2105	701,67	1421	473,67	885	295,00
0,500	2314	771,33	1615	538,33	975	325,00

GRÁFICA ESFUERZO vs PENETRACIÓN



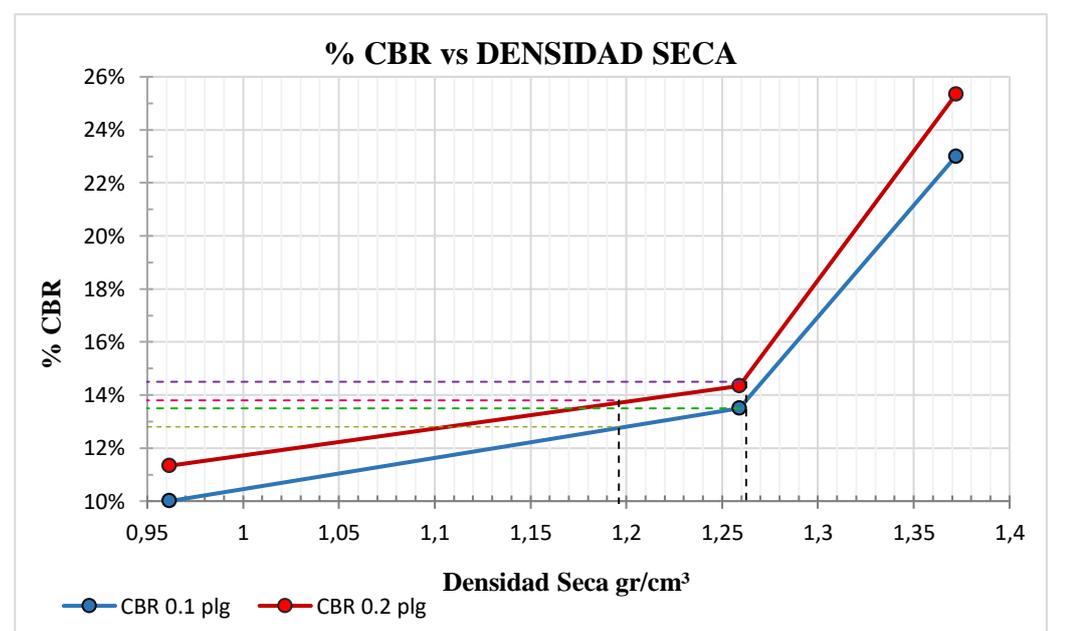
PORCENTAJES CBR (Corregidos)

MOLDE N°	Presión (lb/plg²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	230	23,00%	1,372	380	25,33%	1,372
2	135	13,50%	1,259	215	14,33%	1,259
3	100	10,00%	0,961	170	11,33%	0,961

DENSIDAD SECA MÁXIMA

1,33 gr/cm³

DSM	%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,196	12,80%	13,80%
95%	1,263	13,50%	14,50%



Nota: El CBR para el diseño de pavimento es el 14,7%.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE TITULACIÓN



Proyecto: Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares, de las parroquias Cunchibamba y Unamuncho de Ambato

Provincia: Tungurahua **Número de Muestra:** 7
Cantón: Ambato **Coordenadas:** 17 S, 768224,65 ; 9873469,86
Parroquia: Unamuncho **Ensayado por:** Egda. María Mercedes Troya Jurado
Sector: La Dolorosa **Revisado por:** Ing. Favio Portilla

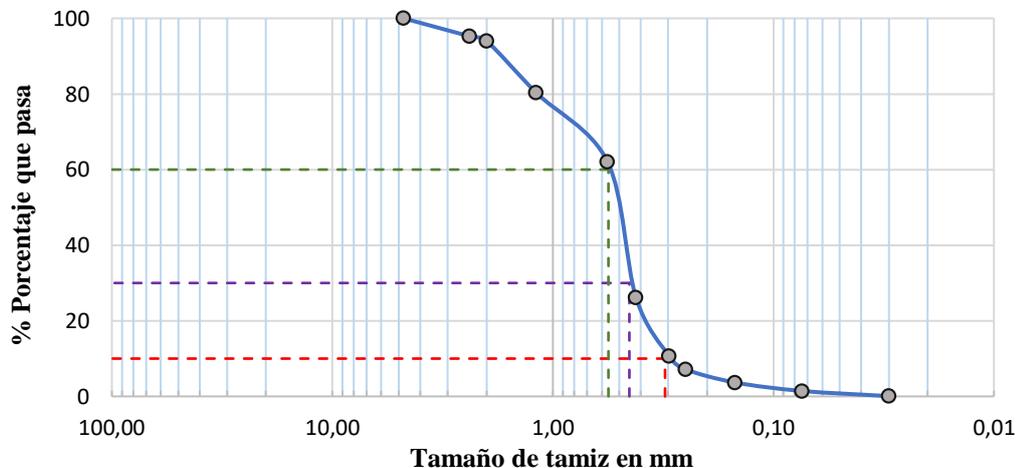
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
26,40	62,00	58,10	12,30	12,49
23,90	55,90	52,30	12,68	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

		W muestra seca (gr)		250	
# Tamiz	mm	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
# 4	4,760	0,0	0,0	0,0	100,0
# 8	2,380	11,90	11,90	4,76	95,24
# 10	2,000	3,00	14,90	5,96	94,04
# 16	1,190	34,30	49,20	19,68	80,32
# 30	0,565	45,70	94,90	37,96	62,04
# 40	0,420	89,70	184,60	73,84	26,16
# 50	0,297	38,70	223,30	89,32	10,68
# 60	0,250	8,80	232,10	92,84	7,16
# 100	0,149	8,70	240,80	96,32	3,68
# 200	0,074	5,60	246,40	98,56	1,44
fuelle	0,030	3,40	249,80	99,92	0,08

REPRESENTACIÓN GRANULOMÉTRICA



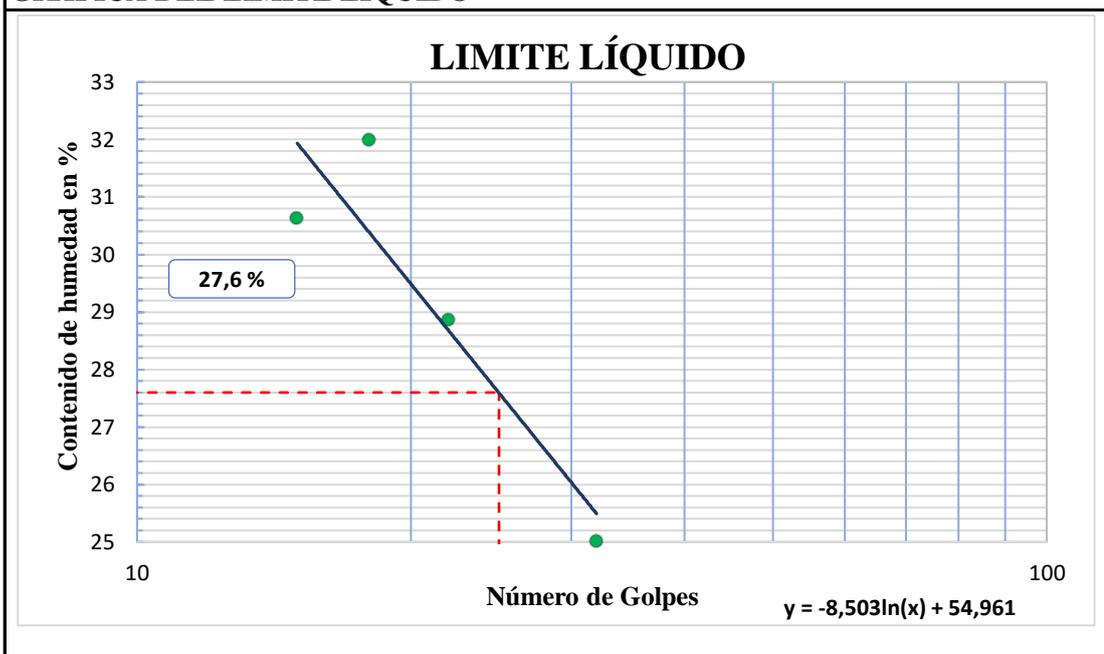
COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,31	Cu = D60/D10	1,81
D30 en mm	0,45	Cc = D30 ² /(D60*D10)	1,17
D60 en mm	0,56	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	2,00 mm

LÍMITE LÍQUIDO - Copa Casagrande - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
32	11,4	20,6	18,7	26,03	25,01
	11,8	21,1	19,3	24,00	
18	11,2	16,0	14,7	37,14	31,99
	12,1	17,3	16,2	26,83	
15	10,9	20,6	18,2	32,88	30,63
	10,9	20,4	18,3	28,38	
22	11,0	18,3	16,5	32,73	28,86
	11,4	18,4	17,0	25,00	
PROMEDIO LÍMITE LÍQUIDO					29,12

GRÁFICA DEL LÍMITE LÍQUIDO



En la gráfica se observa que el límite líquido a los 25 golpes en la copa de Casagrande es de 27,6 %.

LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
5	6,00	6,80	6,65	23,08	24,17
14	6,20	7,30	7,10	22,22	
32	6,10	6,70	6,60	20,00	
26	6,10	6,90	6,70	33,33	
7	7,30	8,40	8,20	22,22	

LÍMITES DE ATTERBERG

Límite líquido: 27,60 %
 Límite plástico: 24,17 %
 Índice Plástico: 3,43 %

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

SISTEMA	AASHTO	A-2-4 (Arena limosa o arcillosa)
	SUCS	SM (Arena limosa, mezcla de arena y limo)

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)			
Peso de la masa del suelo + funda gr.	Wm+Rec	868,80	
Peso de la funda gr.	Rec	0,70	
Peso de la masa del suelo gr,	Wm = Wm+Rec-Rec	868,10	
VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena		6310,00	
Peso final frasco + cono + arena		5140,00	
Peso arena en el cono (Calibración del cono)		343,00	
Peso arena en la perforación		827,00	
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)		1,582	
Volumen de la perforación	Vm	522,76	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Recipiente número #		11	25
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	62,00	55,90
Peso seco + recipiente	Ws+rec	58,10	52,30
Peso recipiente	rec	26,40	23,90
Peso del agua	Ww	3,90	3,60
Peso de los sólidos	Ws	31,70	28,40
Contenido de humedad	w%	12,30	12,68
Contenido de humedad promedio	w% prom	12,49	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO			
		Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos	Vv =	8,55	-
Va =		4,95	0,00
Vw =		3,60	3,60
Vs =		10,72	28,40
Vm =		19,27	32,00
Wa =			
Ww =			
Ws =			
Wm =			
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO			
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)		1,661	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)		1,476	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	12,49	%
Relación de vacíos	e= Vv/Vs	0,80	natural
Porosidad	n% = Vv/Vm*100	44,38	%
Grado de Saturación de agua	Gw%= Vw/Vv*100	42,09	%
Grado de Saturación de aire	Ga%	57,91	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015			
Peso picnómetro + agua	Wbw	648,8	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws	678,3	gr
Desplazamiento del agua	Ws + Wbw - Wbws	17,8	gr
Temperatura del agua y suelo en C°		19	C°
Factor de corrección por temperatura K		0,998	
Recipiente + peso suelo seco		129,1	gr
Peso recipiente		81,8	gr
Peso del suelo seco	Ws	47,3	gr
Gravedad Específica	Gs = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,652	gr

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	46 cm
VOLUMEN:	2124 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	16493 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO

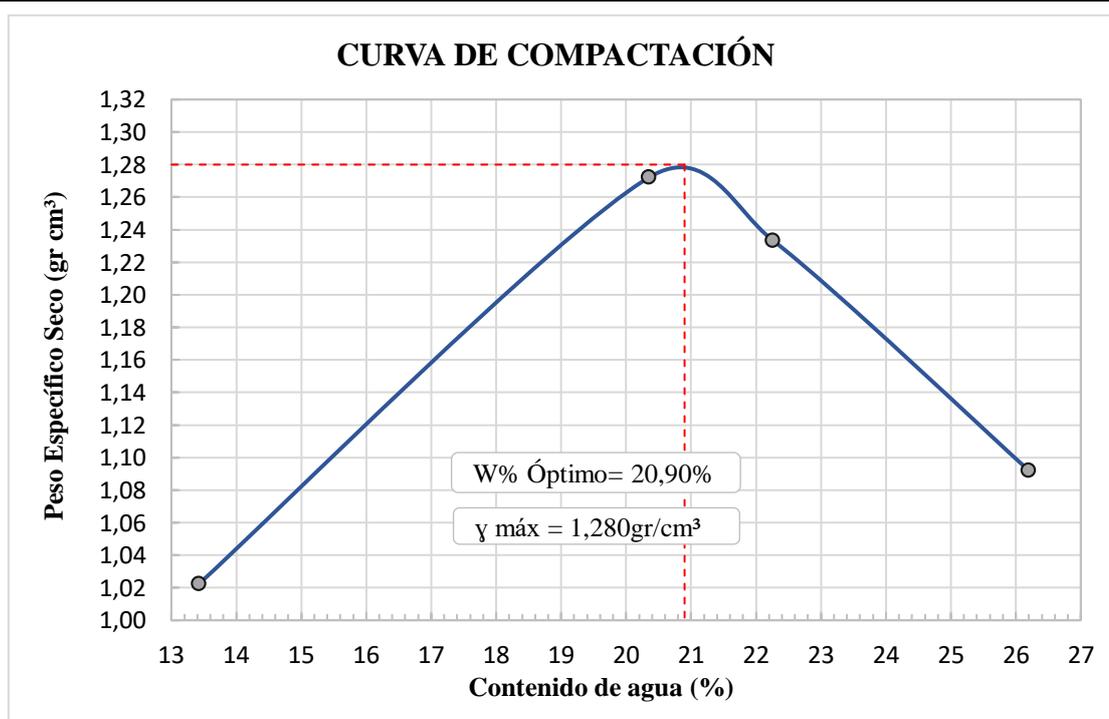
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	18956		19745		19696		19420	
Masa molde (gr)	16493		16493		16493		16493	
Masa suelo húmedo (gr)	2463		3252		3203		2927	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,160		1,531		1,508		1,378	
Masa del tarro (gr)	7,70	7,20	7,30	6,80	7,30	7,30	7,50	7,60
Masa suelo húm.+tarro (gr)	41,70	49,20	50,30	46,60	46,90	45,70	49,90	51,90
Masa suelo seco+tarro (gr)	37,70	44,20	43,90	39,10	39,70	38,70	41,10	42,70
Masa del agua (gr)	4,00	5,00	6,40	7,50	7,20	7,00	8,80	9,20
Masa suelo seco (gr)	30,00	37,00	36,60	32,30	32,40	31,40	33,60	35,10
Contenido de agua (%)	13,33	13,51	17,49	23,22	22,22	22,29	26,19	26,21
w (%) Promedio	13,42		20,35		22,26		26,20	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,02		1,27		1,23		1,09	

Densidad Seca Máxima (y máx): 1,280 gr/cm³

Humedad Óptima: 20,90 %

Grado de compactación: 115,33 %

GRÁFICA DE LA MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA

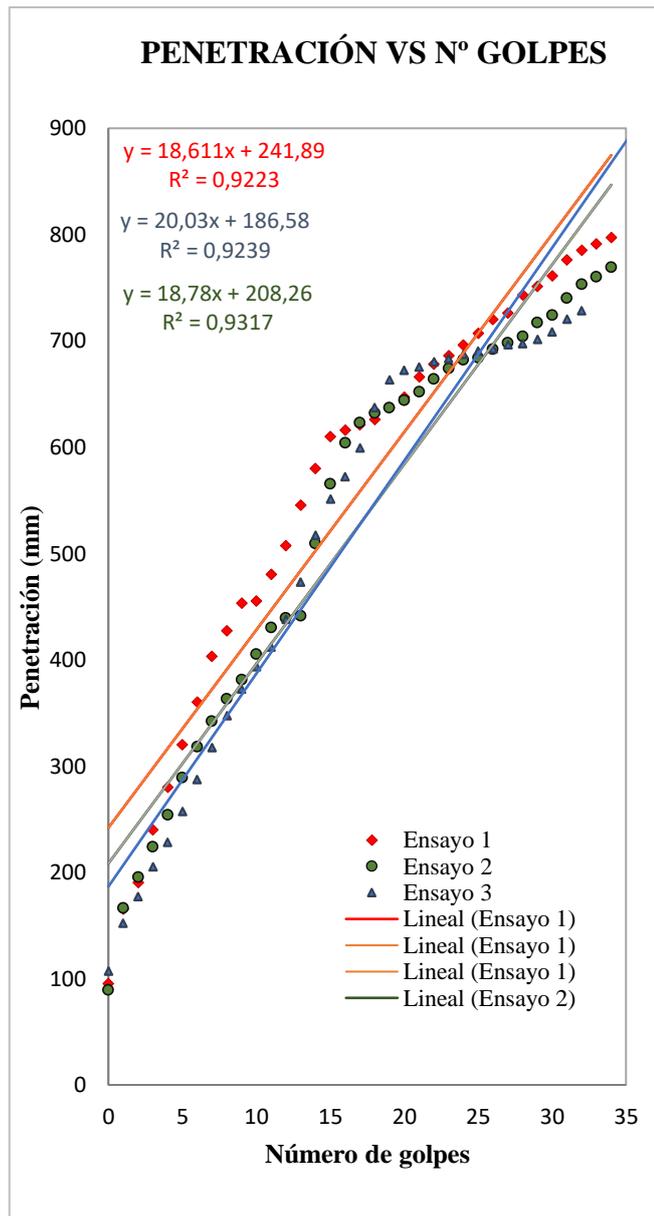


Descripcion del ensayo

La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,28 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 20,9%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

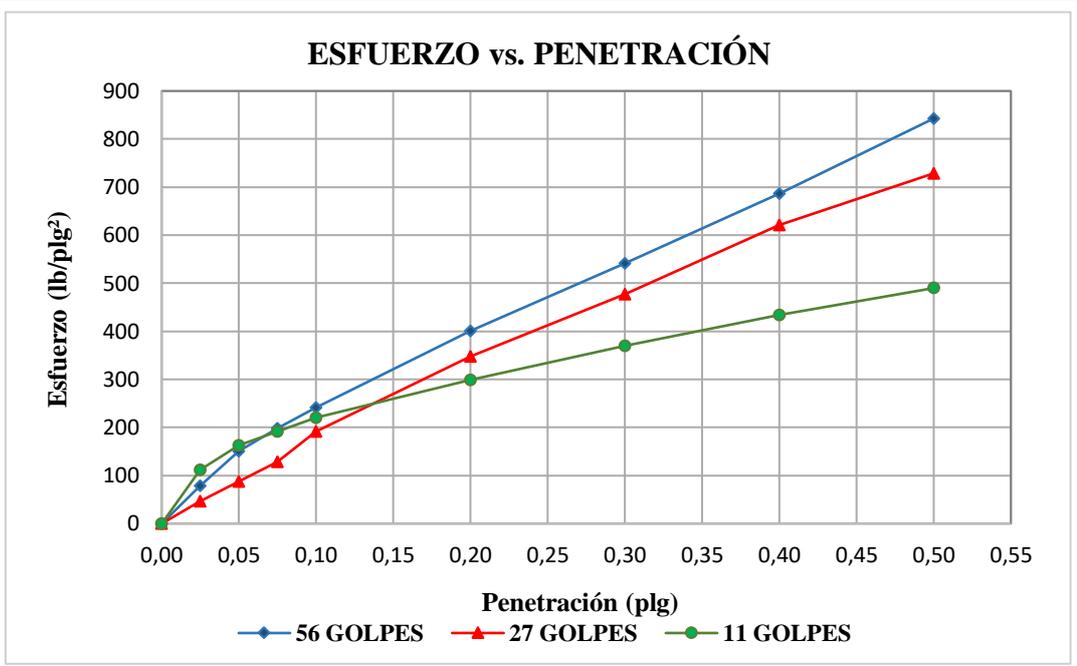
N° Golpe	Penetración		
	mm	mm	mm
0	95	89	107
1	165	166	152
2	190	195	177
3	240	224	205
4	280	254	228
5	320	289	257
6	360	318	287
7	403	342	317
8	427	363	347
9	453	381	372
10	455	405	393
11	480	430	412
12	507	439	438
13	545	441	473
14	580	509	517
15	610	565	551
16	616	604	572
17	621	623	599
18	626	632	637
19	637	637	663
20	647	644	672
21	666	652	675
22	678	664	680
23	686	674	683
24	696	682	687
25	707	684	690
26	720	692	692
27	726	698	696
28	743	704	697
29	751	717	701
30	761	724	708
31	776	740	720
32	785	753	728
33	791	760	
34	797	769	



DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	18,611	19,14
2	18,78	
3	20,03	

CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013						
MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	14071		12754		12410	
Masa molde (gr)	9631		9390		9845	
Masa muestra húmeda (gr)	4440		3364		2565	
Volúmen muestra (cm ³)	2268,24		2408,30		2377,52	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,96		1,40		1,08	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	84,60	81,80	90,80	99,60	70,30	68,40
Masa suelo seco + recip(gr)	70,80	68,90	76,90	83,80	60,00	57,70
Masa del agua (gr)	13,80	12,90	13,90	15,80	10,30	10,70
Masa del recip (gr)	7,90	7,30	7,40	7,20	7,60	7,30
Masa suelo seco	62,90	61,60	69,50	76,60	52,40	50,40
Contenido de humedad W(%)	21,94	20,94	20,00	20,63	19,66	21,23
W (%) Promedio	21,44		20,31		20,44	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,61		1,16		0,90	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	14325		13025		12745	
Masa molde (gr)	9631		9390		9845	
Masa muestra húmeda (gr)	4694		3635		2900	
Masa agua absorbida(gr)	254		271		335	
% Agua Absorbida	5,72		8,06		13,06	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	64,50	58,20	62,10	63,40	75,10	69,80
Masa del suelo seco+tarro (gr)	52,40	47,60	49,60	50,60	57,30	54,20
Masa del agua (gr)	12,10	10,60	12,50	12,80	17,80	15,60
Masa del tarro (gr)	7,30	7,40	7,60	7,40	7,10	7,90
Masa suelo seco	45,10	40,20	42,00	43,20	50,20	46,30
Contenido de agua (%)	26,83	26,37	29,76	29,63	35,46	33,69
W (%) Promedio	26,60		29,70		34,58	
ENSAYO						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	237	79,00	139	46,33	336	112,00
0,050	451	150,33	263	87,67	490	163,33
0,075	596	198,67	384	128,00	574	191,33
0,100	725	241,67	576	192,00	660	220,00
0,200	1203	401,00	1042	347,33	898	299,33
0,300	1625	541,67	1432	477,33	1111	370,33
0,400	2061	687,00	1863	621,00	1302	434,00
0,500	2528	842,67	2186	728,67	1470	490,00

GRÁFICA ESFUERZO vs PENETRACIÓN

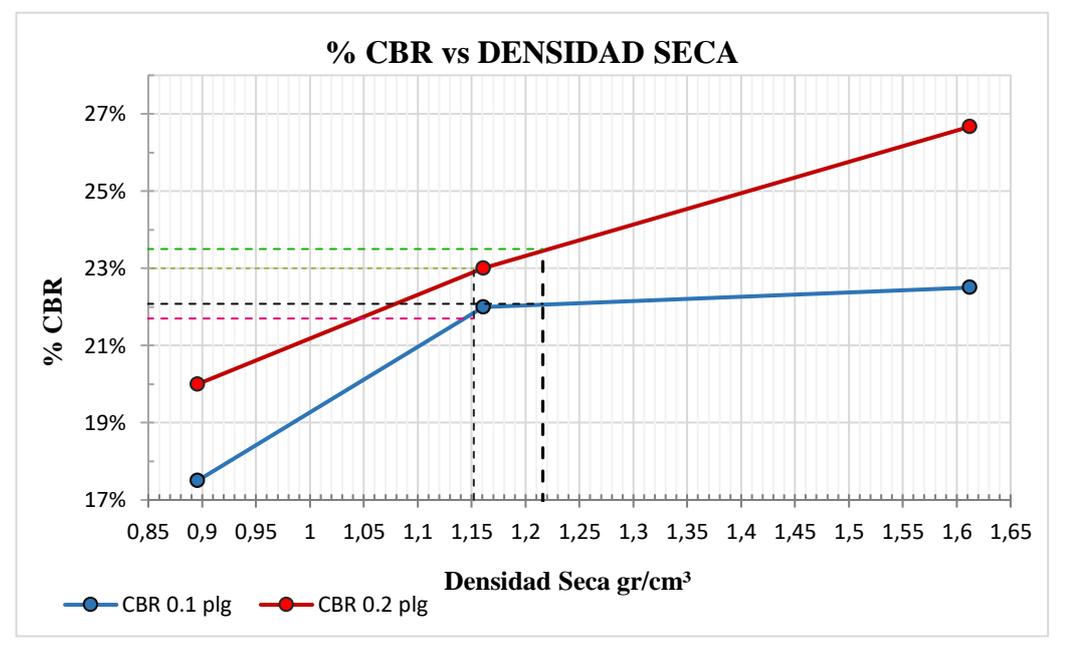


PORCENTAJES CBR (Corregidos)

MOLDE Nº	Presión (lb/plg²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	225	22,50%	1,612	400	26,67%	1,612
2	220	22,00%	1,161	345	23,00%	1,161
3	175	17,50%	0,896	300	20,00%	0,896

DENSIDAD SECA MÁXIMA 1,28 gr/cm3

DSM	%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,152	21,70%	23,00%
95%	1,216	22,08%	23,50%



Nota: El CBR para el diseño de pavimento es el 23,5%.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE TITULACIÓN



Proyecto: Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares, de las parroquias Cunchibamba y Unamuncho de Ambato

Provincia: Tungurahua **Número de Muestra:** 8
Cantón: Ambato **Coordenadas:** 17 S, 767123,66 ; 9873298,33
Parroquia: Unamuncho **Ensayado por:** Egda. María Mercedes Troya Jurado
Sector: La Dolorosa **Revisado por:** Ing. Favio Portilla

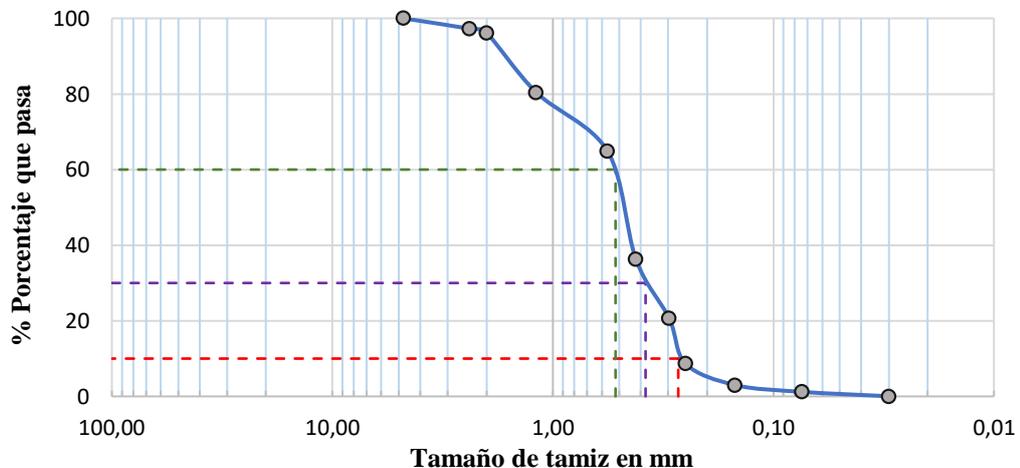
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
30,40	62,70	58,50	14,95	15,20
30,50	65,60	60,90	15,46	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

		W muestra seca (gr)		250	
# Tamiz	mm	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
# 4	4,760	0,0	0,0	0,0	100,0
# 8	2,380	6,90	6,90	2,76	97,24
# 10	2,000	2,70	9,60	3,84	96,16
# 16	1,190	39,40	49,00	19,60	80,40
# 30	0,565	38,90	87,90	35,16	64,84
# 40	0,420	71,50	159,40	63,76	36,24
# 50	0,297	39,00	198,40	79,36	20,64
# 60	0,250	30,00	228,40	91,36	8,64
# 100	0,149	14,10	242,50	97,00	3,00
# 200	0,074	4,50	247,00	98,80	1,20
fuelle	0,030	2,90	249,90	99,96	0,04

REPRESENTACIÓN GRANULOMÉTRICA



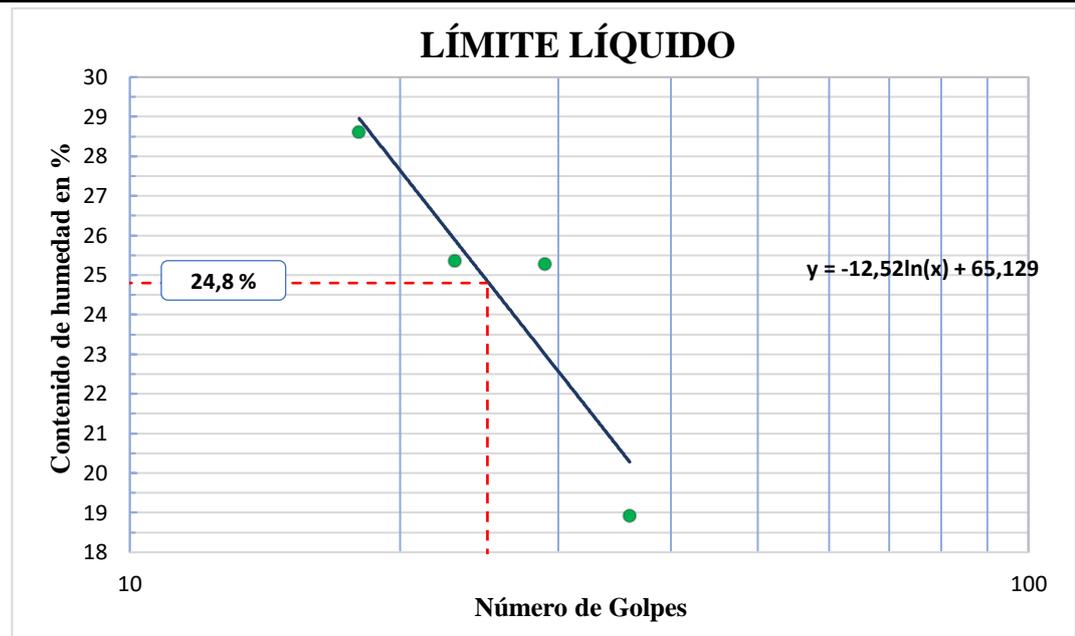
COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,27	Cu = D60/D10	1,93
D30 en mm	0,38	Cc = D30 ² /(D60*D10)	1,03
D60 en mm	0,52	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	2,00 mm

LÍMITE LÍQUIDO - Copa Casagrande - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
36	11,2	18,6	17,4	19,35	18,91
	10,8	18,5	17,3	18,46	
18	11,7	20,5	18,5	29,41	28,59
	10,6	17,5	16,0	27,78	
29	11,1	17,2	16,2	19,61	25,26
	10,9	18,1	16,4	30,91	
23	11,5	18,2	16,8	26,42	25,35
	11,4	20,1	18,4	24,29	
PROMEDIO LÍMITE LÍQUIDO					24,53

GRÁFICA DEL LÍMITE LÍQUIDO



En la gráfica se observa que el límite líquido a los 25 golpes en la copa de Casagrande es de 24,8 %.

LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
7	6,20	7,60	7,40	16,67	19,03
5	6,00	7,90	7,60	18,75	
16	6,20	7,60	7,40	16,67	
15	7,20	8,80	8,50	23,08	
8	4,20	5,40	5,20	20,00	

LÍMITES DE ATTERBERG

Límite líquido: 24,80 %
Límite plástico: 19,03 %
Índice Plástico: 5,77 %

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

SISTEMA	AASHTO	A-2-4 (Arena limosa o arcillosa)
	SUCS	SM-SC (Arenas con limos)

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)			
Peso de la masa del suelo + funda gr.	Wm+Rec	982,20	
Peso de la funda gr.	Rec	0,70	
Peso de la masa del suelo gr,	Wm = Wm+Rec-Rec	981,50	
VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena	6315,00		
Peso final frasco + cono + arena	5170,00		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	343,00		
Peso arena en la perforación	802,00		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)	1,582		
Volumen de la perforación Vm	506,95		
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Recipiente número #		11	25
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	62,70	65,60
Peso seco + recipiente	Ws+rec	58,50	60,90
Peso recipiente	rec	30,40	30,50
Peso del agua	Ww	4,20	4,70
Peso de los sólidos	Ws	28,10	30,40
Contenido de humedad	w%	14,95	15,46
Contenido de humedad promedio	w% prom	15,20	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO			
		Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos	Vv =	6,66	-
Va =		Wa =	1,96
Vw =		Ww =	4,70
Vs =		Ws =	11,47
Vm =		Wm =	18,13
			35,10
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO			
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)		1,936	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)		1,681	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	15,20	%
Relación de vacíos	e= Vv/Vs	0,58	natural
Porosidad	n% = Vv/Vm*100	36,72	%
Grado de Saturación de agua	Gw%= Vw/Vv*100	70,59	%
Grado de Saturación de aire	Ga%	29,41	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015			
Peso picnómetro + agua	Wbw	648,8	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws	679,8	gr
Desplazamiento del agua	Ws + Wbw - Wbws	19,2	gr
Temperatura del agua y suelo en C°		19	C°
Factor de corrección por temperatura K		0,998	
Recipiente + peso suelo seco		135,4	gr
Peso recipiente		85,2	gr
Peso del suelo seco	Ws	50,2	gr
Gravedad Específica	Gs = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,611	gr

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	46 cm
VOLUMEN:	2262 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	14326 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO

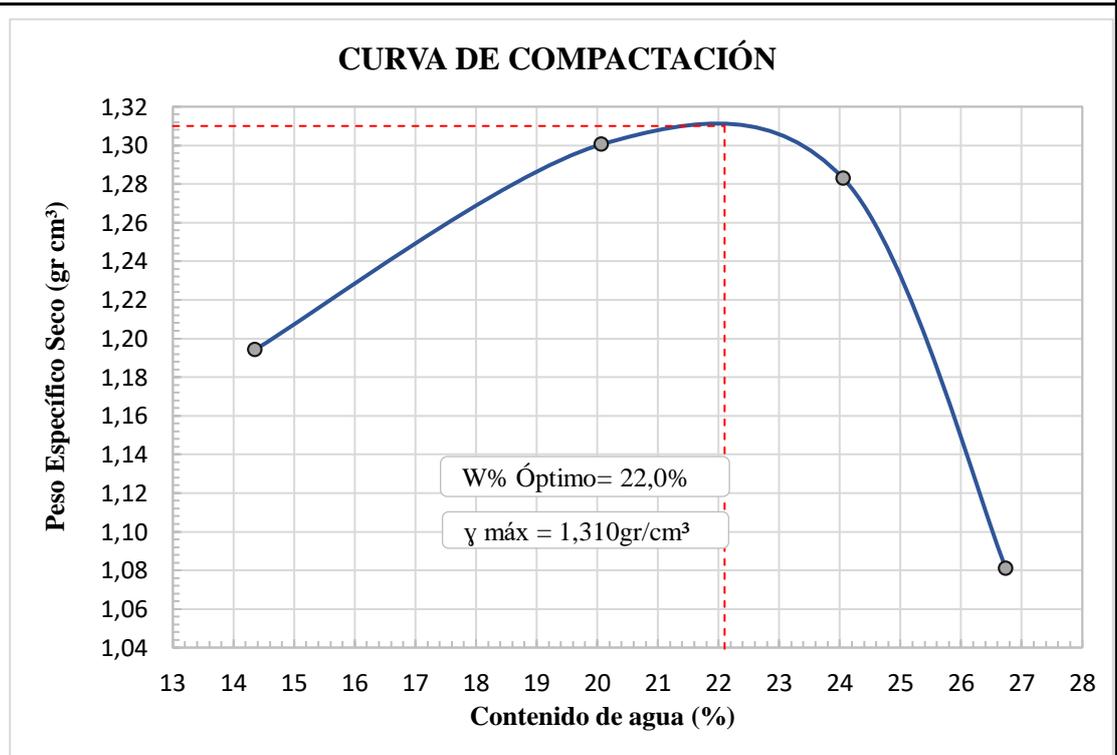
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	17415		17858		17926		17425	
Masa molde (gr)	14326		14326		14326		14326	
Masa suelo húmedo (gr)	3089		3532		3600		3099	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,366		1,561		1,592		1,370	
Masa del tarro (gr)	7,50	7,20	7,50	7,20	7,30	7,80	7,10	7,20
Masa suelo húm.+tarro (gr)	57,60	51,90	53,10	42,40	57,40	60,30	51,60	38,20
Masa suelo seco+tarro (gr)	51,30	46,30	45,50	36,50	47,80	50,00	41,60	32,10
Masa del agua (gr)	6,30	5,60	7,60	5,90	9,60	10,30	10,00	6,10
Masa suelo seco (gr)	43,80	39,10	38,00	29,30	40,50	42,20	34,50	24,90
Contenido de agua (%)	14,38	14,32	20,00	20,14	23,70	24,41	28,99	24,50
w (%) Promedio	14,35		20,07		24,06		26,74	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,19		1,30		1,28		1,08	

Densidad Seca Máxima (y máx): 1,310 gr/cm³

Humedad Óptima: 22,10 %

Grado de compactación: 128,29 %

GRÁFICA DE LA MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA

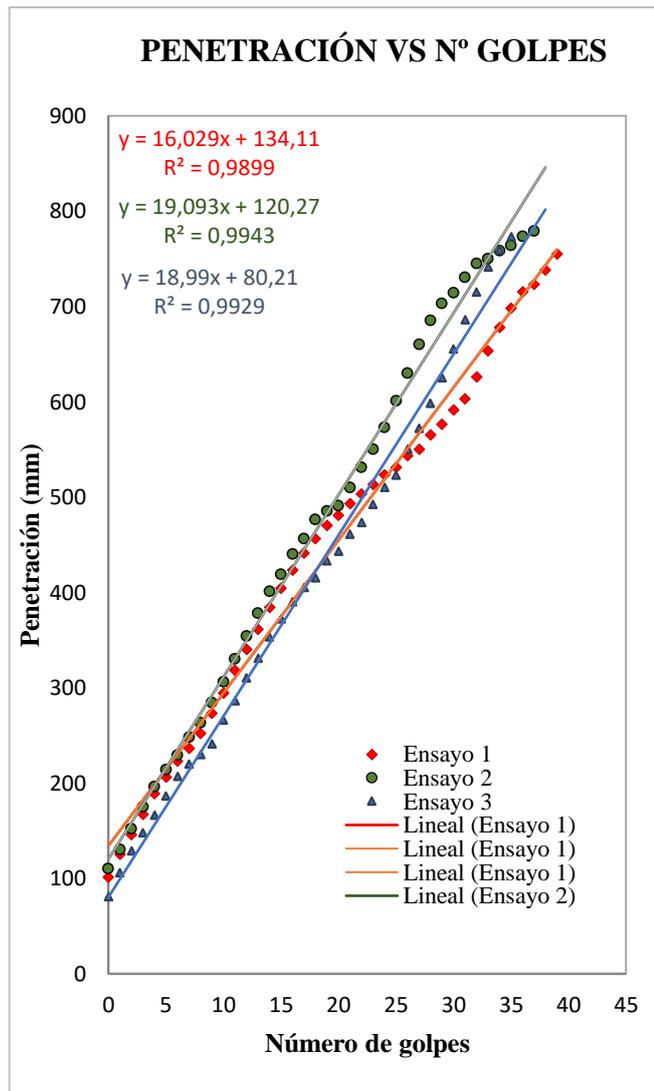


Descripcion del ensayo

La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,31 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 22,1%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

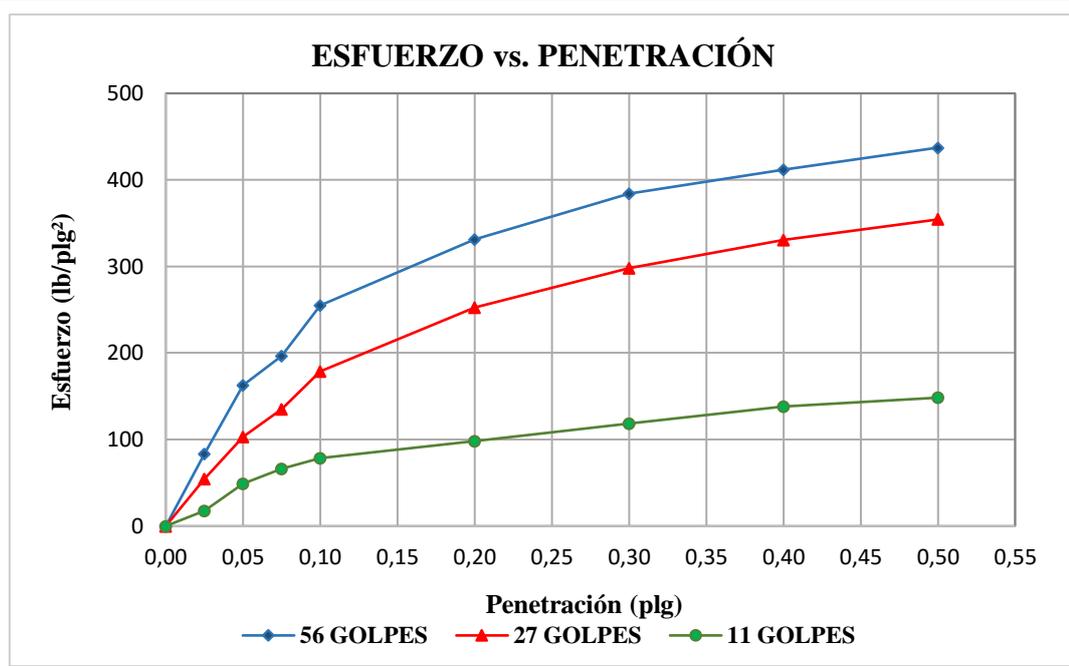
N° Golpe	Penetración		
	mm	mm	mm
0	101	110	81
1	125	130	106
2	146	152	129
3	167	175	148
4	189	196	166
5	206	214	186
6	223	229	207
7	236	248	220
8	252	263	230
9	273	284	241
10	294	306	266
11	318	330	286
12	340	354	310
13	361	378	331
14	384	401	353
15	404	419	372
16	423	440	390
17	441	456	405
18	456	476	415
19	470	485	433
20	481	491	443
21	493	510	461
22	503	531	473
23	513	550	492
24	523	573	510
25	531	601	523
26	543	630	550
27	550	660	572
28	565	685	598
29	576	703	625
30	591	714	655
31	603	730	686
32	626	745	715
33	653	750	741
34	678	758	759
35	698	764	773
36	715	773	
37	723	779	
38	738		
39	755		
40	763		
41			



DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	16,029	18,04
2	19,093	
3	18,99	

CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013						
MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	10635		10911		10594	
Masa molde (gr)	6681		6895		8298	
Masa muestra húmeda (gr)	3954		4016		2296	
Volúmen muestra (cm ³)	2268,24		2408,30		2377,52	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,74		1,67		0,97	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	75,20	60,80	86,50	80,20	91,60	75,60
Masa suelo seco + recip(gr)	62,80	49,80	69,80	66,20	74,30	62,50
Masa del agua (gr)	12,40	11,00	16,70	14,00	17,30	13,10
Masa del recip (gr)	8,30	7,60	7,30	7,50	7,60	7,80
Masa suelo seco	54,50	42,20	62,50	58,70	66,70	54,70
Contenido de humedad W(%)	22,75	26,07	26,72	23,85	25,94	23,95
W (%) Promedio	24,41		25,29		24,94	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,40		1,33		0,77	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	10914		11345		10925	
Masa molde (gr)	6681		6895		8298	
Masa muestra húmeda (gr)	4233		4450		2627	
Masa agua absorbida(gr)	279		434		331	
% Agua Absorbida	7,06		10,81		14,42	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	66,21	60,30	64,20	66,30	77,20	72,30
Masa del suelo seco+tarro (gr)	52,40	47,60	49,10	50,60	57,30	54,20
Masa del agua (gr)	13,81	12,70	15,10	15,70	19,90	18,10
Masa del tarro (gr)	7,20	7,50	7,20	7,30	7,20	7,10
Masa suelo seco	45,20	40,10	41,90	43,30	50,10	47,10
Contenido de agua (%)	30,55	31,67	36,04	36,26	39,72	38,43
W (%) Promedio	31,11		36,15		39,07	
ENSAYO						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	250	83,33	163	54,33	53	17,67
0,050	488	162,67	310	103,33	146	48,67
0,075	590	196,67	405	135,00	198	66,00
0,100	765	255,00	536	178,67	235	78,33
0,200	993	331,00	758	252,67	295	98,33
0,300	1152	384,00	894	298,00	356	118,67
0,400	1235	411,67	992	330,67	415	138,33
0,500	1312	437,33	1063	354,33	445	148,33

GRÁFICA ESFUERZO vs PENETRACIÓN



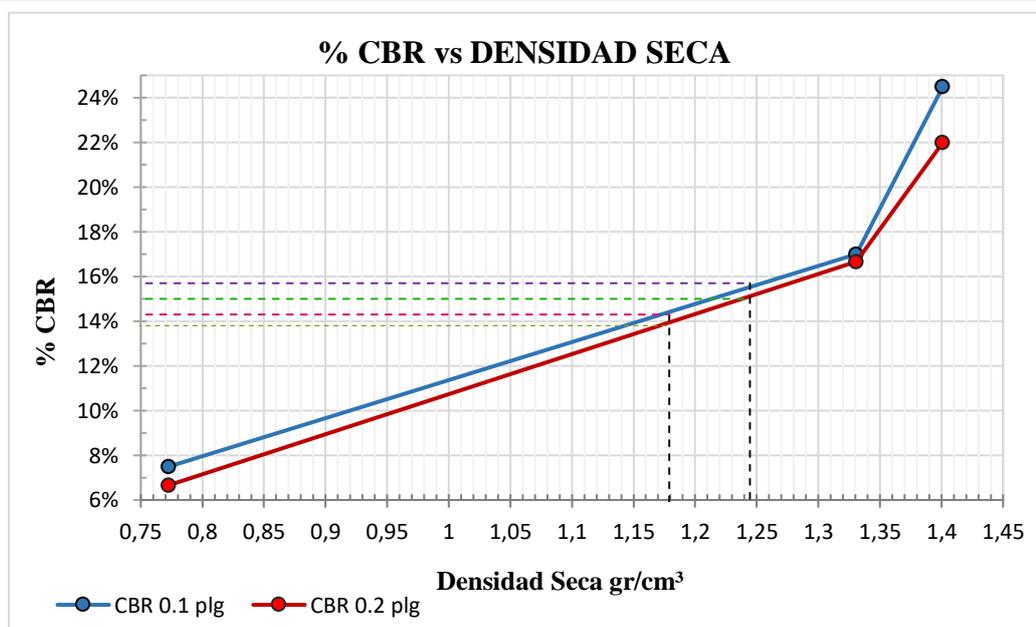
PORCENTAJES CBR (Corregidos)

MOLDE Nº	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	245,00	24,50%	1,401	330	22,00%	1,401
2	170,00	17,00%	1,331	250	16,67%	1,331
3	75,00	7,50%	0,773	100	6,67%	0,773

DENSIDAD SECA MÁXIMA

1,31 gr/cm³

DSM	%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,179	14,30%	14,30%
95%	1,245	15,70%	15,70%



Nota: El CBR para el diseño de pavimento es el 12,5%.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE TITULACIÓN



Proyecto: Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares, de las parroquias Cunchibamba y Unamuncho de Ambato

Provincia: Tungurahua **Número de Muestra:** 9
Cantón: Ambato **Coordenadas:** 17 S, 766256,86 ; 9870847,44
Parroquia: Unamuncho **Ensayado por:** Egda. María Mercedes Troya Jurado
Sector: La Dolorosa **Revisado por:** Ing. Favio Portilla

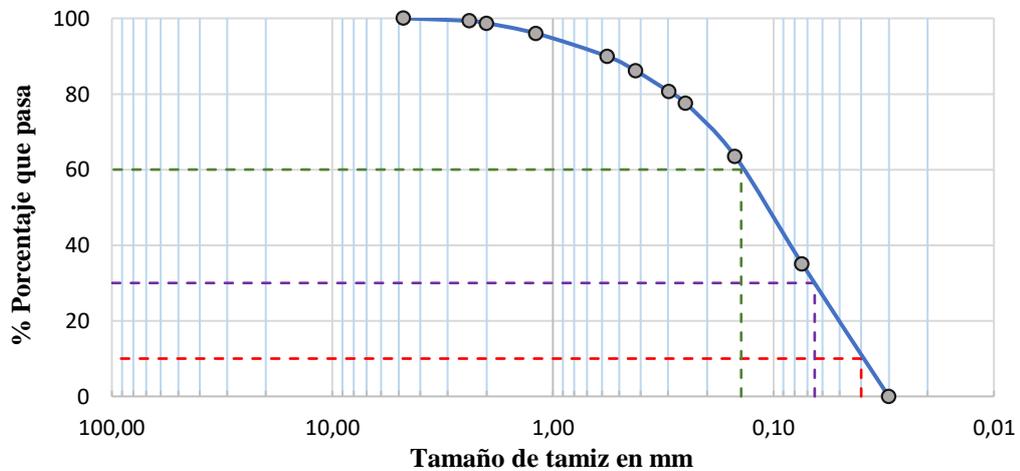
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
24,20	64,00	61,60	6,42	6,43
23,00	80,80	77,30	6,45	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

		W muestra seca (gr)		250	
# Tamiz	mm	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
# 4	4,760	0,0	0,0	0,0	100,0
# 8	2,380	1,70	1,70	0,68	99,32
# 10	2,000	1,50	3,20	1,28	98,72
# 16	1,190	6,80	10,00	4,00	96,00
# 30	0,565	15,20	25,20	10,08	89,92
# 40	0,420	9,60	34,80	13,92	86,08
# 50	0,297	13,70	48,50	19,40	80,60
# 60	0,250	7,60	56,10	22,44	77,56
# 100	0,149	35,20	91,30	36,52	63,48
# 200	0,074	71,20	162,50	65,00	35,00
fuelle	0,030	87,50	250,00	100,00	0,00

REPRESENTACIÓN GRANULOMÉTRICA



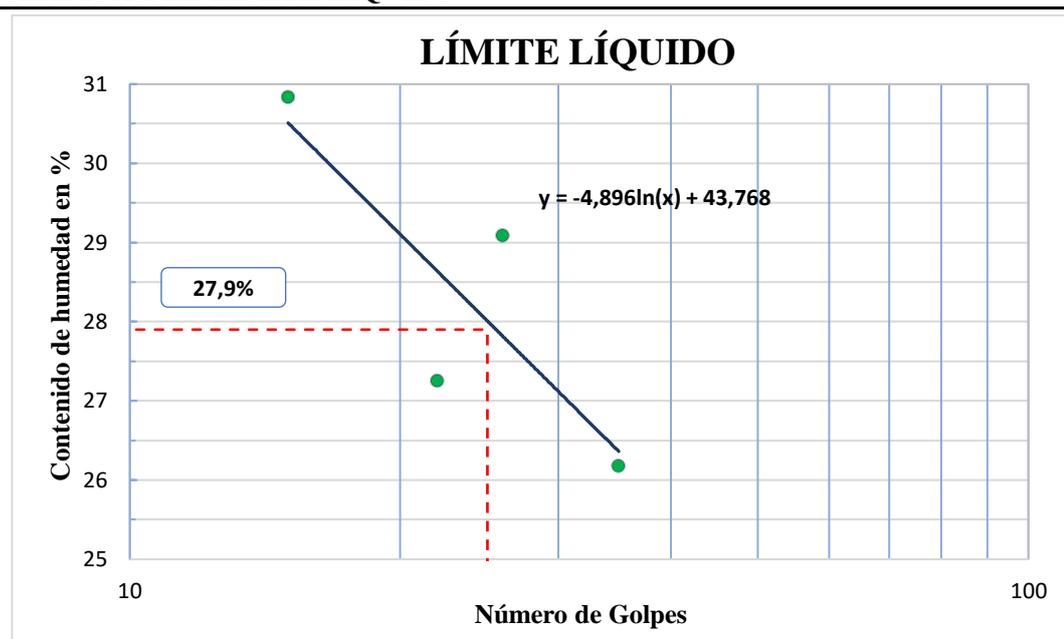
COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,04	Cu = D60/D10	3,50
D30 en mm	0,07	Cc = D30 ² /(D60*D10)	0,75
D60 en mm	0,14	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	0,420 mm

LÍMITE LÍQUIDO - Copa Casagrande - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
26	10,9	16,2	15,0	29,27	29,08
	11,3	17,1	15,8	28,89	
35	11,8	18,5	17,1	26,42	26,17
	10,8	17,6	16,2	25,93	
22	11,2	18,2	16,7	26,91	27,25
	11,2	18,6	17,0	27,59	
15	11,4	19,1	17,3	30,51	30,83
	11,4	19,4	17,5	31,15	
PROMEDIO LÍMITE LÍQUIDO					28,33

GRÁFICA DEL LÍMITE LÍQUIDO



En la gráfica se observa que el límite líquido a los 25 golpes en la copa de Casagrande es de 27,9 %.

LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
11	7,50	8,70	8,40	33,33	25,44
14	5,90	7,00	6,80	22,22	
16	10,60	11,30	11,20	16,67	
17	10,70	11,70	11,50	25,00	
5	10,80	12,10	11,80	30,00	

LÍMITES DE ATTERBERG

Límite líquido: 27,90 %
 Límite plástico: 25,44 %
 Índice Plástico: 2,46 %

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

SISTEMA	AASHTO	A-2-4 (Arena limosa)
	SUCS	ML (Suelo limo arcilloso)

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)			
Peso de la masa del suelo + funda gr.	Wm+Rec	914,10	
Peso de la funda gr.	Rec	0,70	
Peso de la masa del suelo gr,	Wm = Wm+Rec-Rec	913,40	
VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena			6300,00
Peso final frasco + cono + arena			5080,00
Peso arena en el cono (Calibración del cono)			343,00
Peso arena en la perforación			877,00
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)			1,582
Volumen de la perforación	Vm	554,36	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Recipiente número #		11	25
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	64,00	80,80
Peso seco + recipiente	Ws+rec	61,60	77,30
Peso recipiente	rec	24,20	23,00
Peso del agua	Ww	2,40	3,50
Peso de los sólidos	Ws	37,40	54,30
Contenido de humedad	w%	6,42	6,45
Contenido de humedad promedio	w% prom	6,43	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO			
		Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos	Vv =	14,59	-
Va =		Wa =	11,09
Vw =		Ww =	3,50
Vs =		Ws =	20,49
Vm =		Wm =	35,08
			57,80
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO			
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)		1,648	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)		1,548	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	6,43	%
Relación de vacíos	e= Vv/Vs	0,71	natural
Porosidad	n% = Vv/Vm*100	41,59	%
Grado de Saturación de agua	Gw%= Vw/Vv*100	23,99	%
Grado de Saturación de aire	Ga%	76,01	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015			
Peso picnómetro + agua	Wbw	648,8	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws	678,6	gr
Desplazamiento del agua	Ws + Wbw - Wbws	18,0	gr
Temperatura del agua y suelo en C°		19	C°
Factor de corrección por temperatura K		0,998	
Recipiente + peso suelo seco		156,8	gr
Peso recipiente		109,0	gr
Peso del suelo seco	Ws	47,8	gr
Gravedad Específica	Gs = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,650	gr

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	46 cm
VOLUMEN:	2124 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	16583 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO

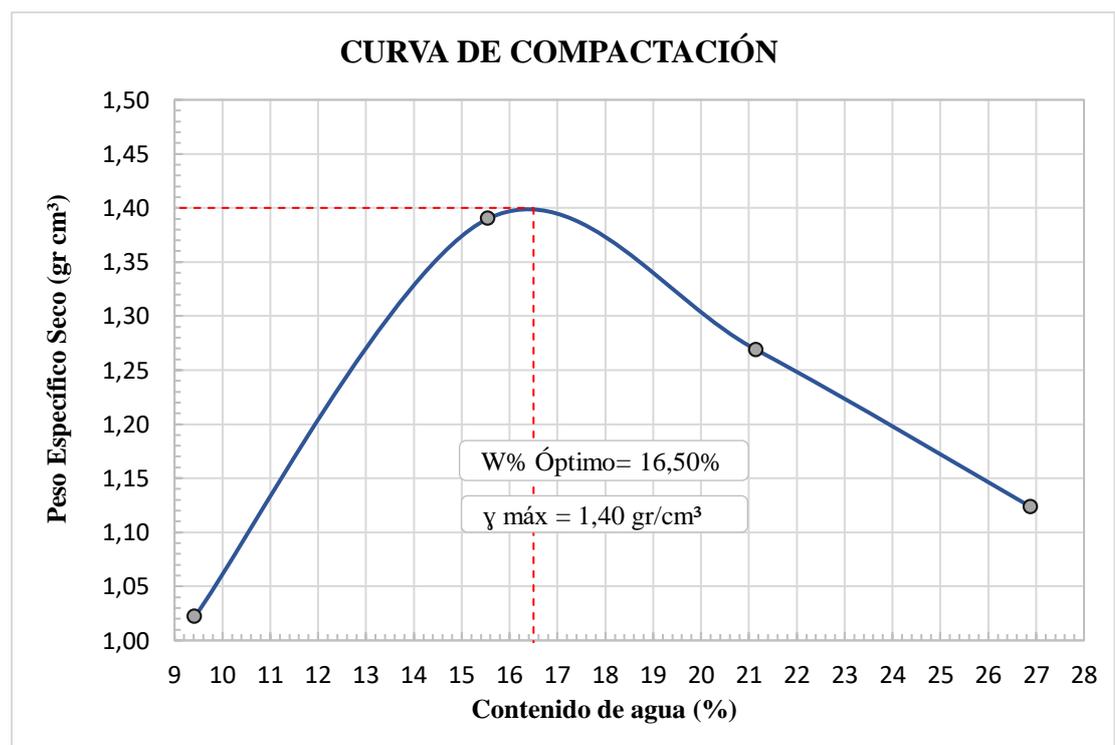
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	18959		19995		19848		19611	
Masa molde (gr)	16583		16583		16583		16583	
Masa suelo húmedo (gr)	2376		3412		3265		3028	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,119		1,606		1,537		1,426	
Masa del tarro (gr)	7,90	7,70	7,40	7,30	7,10	7,30	7,90	7,20
Masa suelo húm.+tarro (gr)	39,80	46,50	45,50	50,00	42,00	45,10	53,00	49,90
Masa suelo seco+tarro (gr)	37,10	43,10	40,60	44,00	36,00	38,40	43,50	40,80
Masa del agua (gr)	2,70	3,40	4,90	6,00	6,00	6,70	9,50	9,10
Masa suelo seco (gr)	29,20	35,40	33,20	36,70	28,90	31,10	35,60	33,60
Contenido de agua (%)	9,25	9,60	14,76	16,35	20,76	21,54	26,69	27,08
w (%) Promedio	9,43		15,55		21,15		26,88	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,02		1,39		1,27		1,12	

Densidad Seca Máxima (y máx): 1,400 gr/cm³

Humedad Óptima: 16,50 %

Grado de compactación: 110,58 %

GRÁFICA DE LA MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA



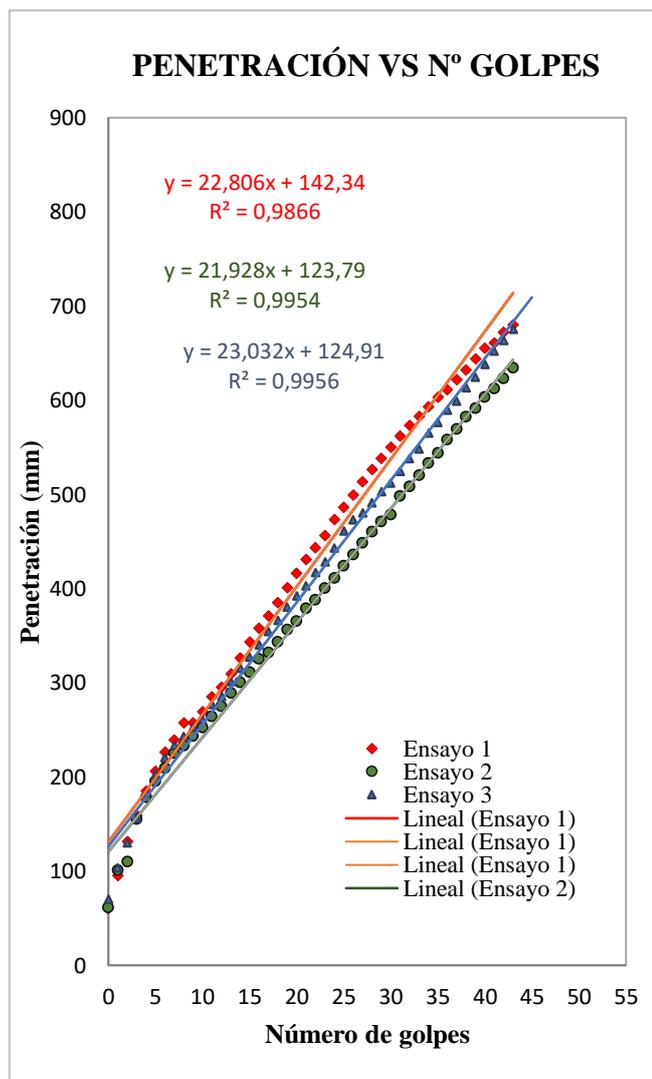
Descripcion del ensayo

La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,4 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 16,5%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

N° Golpe	Penetración		
	mm	mm	mm
0	60	61	70
1	95	101	103
2	131	110	130
3	159	155	156
4	185	178	183
5	206	195	203
6	226	209	220
7	239	225	233
8	257	233	243
9	257	243	253
10	269	252	261
11	285	264	277
12	295	275	285
13	309	289	301
14	326	300	315
15	343	311	327
16	358	325	340
17	371	332	354
18	385	343	366
19	401	356	380
20	416	365	392
21	431	379	403
22	443	388	417
23	456	400	428
24	473	411	443
25	486	424	461
26	499	436	473
27	513	448	480
28	526	460	491
29	538	471	503
30	550	478	512
31	562	498	524
32	573	508	538
33	583	520	548
34	593	533	565
35	603	544	576
36	611	558	589
37	622	569	599
38	632	582	613
39	644	591	624
40	655	603	638
41	661	612	652
42	672	623	663
43	680	634	675

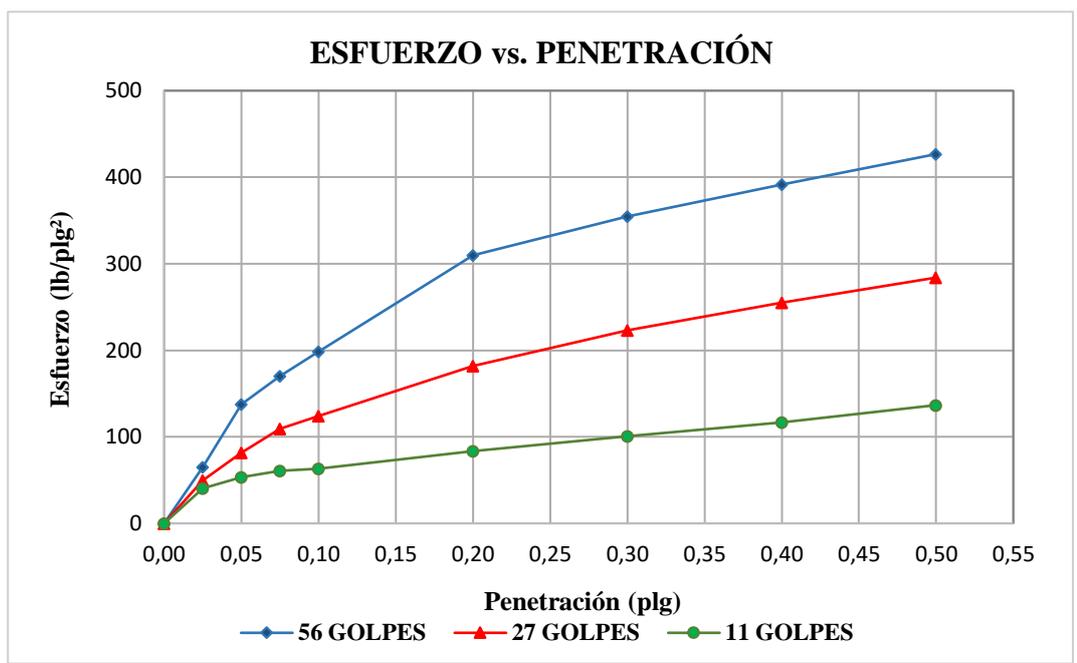
N° Golpe	Penetración		
	mm	mm	mm
44	685	643	690
45	697	654	705
46	708	661	723
47	719	673	746
48	731	687	759
49	743	701	780
50	758	713	
51	762	727	
52		740	
53		758	
54		773	



DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	22,806	
2	21,928	22,59
3	23,032	

CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013						
MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	14105		12251		12487	
Masa molde (gr)	9826		9581		9855	
Masa muestra húmeda (gr)	4025		2670		2632	
Volúmen muestra (cm ³)	2286,38		2041,50		2256,40	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,76		1,31		1,17	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	57,50	55,40	54,50	69,00	56,90	57,90
Masa suelo seco + recip(gr)	49,80	48,20	47,20	59,50	49,60	49,90
Masa del agua (gr)	7,70	7,20	7,30	9,50	7,30	8,00
Masa del recip (gr)	7,60	7,50	7,20	7,30	7,60	7,50
Masa suelo seco	42,20	40,70	40,00	52,20	42,00	42,40
Contenido de humedad W(%)	18,25	17,69	18,25	18,20	17,38	18,87
W (%) Promedio	17,97		18,22		18,12	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,49		1,11		0,99	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	14195		12493		12912	
Masa molde (gr)	9826		9581		9855	
Masa muestra húmeda (gr)	4369		2912		3057	
Masa agua absorbida(gr)	90		242		425	
% Agua Absorbida	2,24		9,06		16,15	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	65,30	59,30	64,20	67,50	79,60	75,20
Masa del suelo seco+tarro (gr)	55,10	50,80	52,30	55,80	61,80	59,20
Masa del agua (gr)	10,20	8,50	11,90	11,70	17,80	16,00
Masa del tarro (gr)	7,50	7,30	7,30	7,60	8,00	7,10
Masa suelo seco	47,60	43,50	45,00	48,20	53,80	52,10
Contenido de agua (%)	21,43	19,54	26,44	24,27	33,09	30,71
W (%) Promedio	20,48		25,36		31,90	
ENSAYO						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	196	65,33	149	49,67	122	40,67
0,050	412	137,33	245	81,67	161	53,67
0,075	510	170,00	328	109,33	183	61,00
0,100	596	198,67	373	124,33	190	63,33
0,200	930	310,00	545	181,67	250	83,33
0,300	1065	355,00	669	223,00	302	100,67
0,400	1175	391,67	765	255,00	350	116,67
0,500	1280	426,67	852	284,00	410	136,67

GRÁFICA ESFUERZO vs PENETRACIÓN



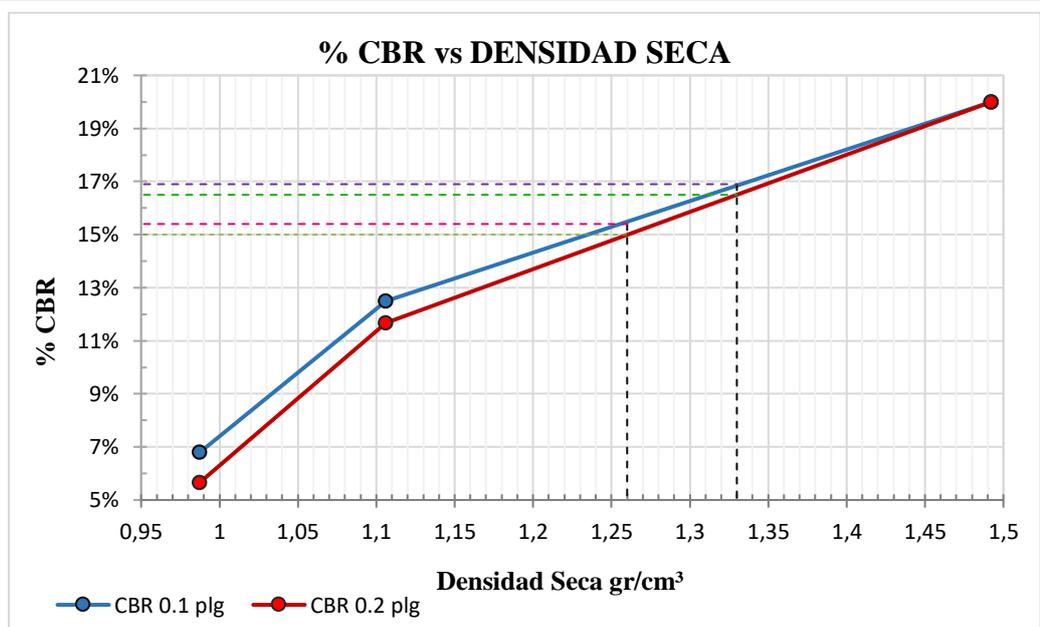
PORCENTAJES CBR (Corregidos)

MOLDE Nº	Presión (lb/plg²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	200	20,00%	1,492	300	20,00%	1,492
2	125	12,50%	1,106	175	11,67%	1,106
3	68	6,80%	0,987	85	5,67%	0,987

DENSIDAD SECA MÁXIMA

1,40 gr/cm³

DSM	%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,260	15,40%	15,40%
95%	1,330	16,90%	16,90%



Nota: El CBR para el diseño de pavimento es el 11%.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE TITULACIÓN



Proyecto: Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares, de las parroquias Cunchibamba y Unamuncho de Ambato

Provincia: Tungurahua **Número de Muestra:** 10
Cantón: Ambato **Coordenadas:** 17 S, 766947,79 ; 9871631,26
Parroquia: Unamuncho **Ensayado por:** Egda. María Mercedes Troya Jurado
Sector: La Dolorosa **Revisado por:** Ing. Favio Portilla

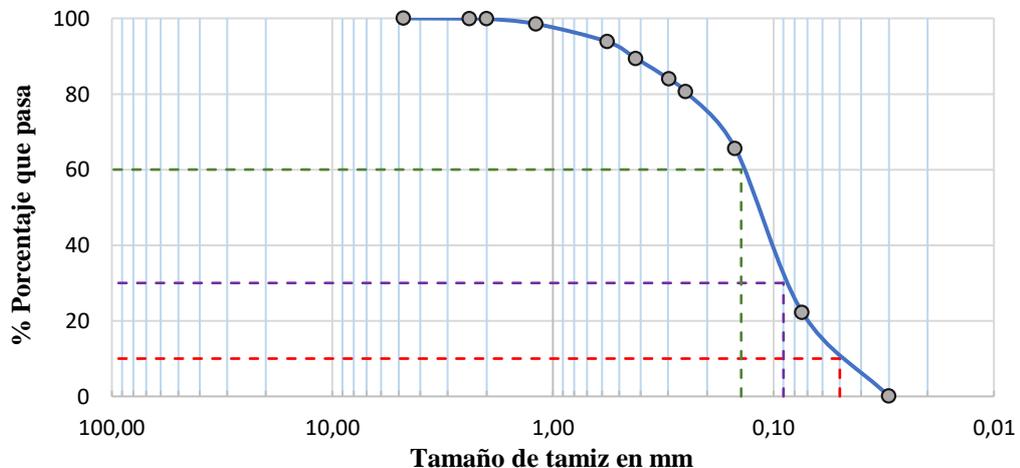
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
24,00	77,20	74,90	4,52	4,48
25,60	67,90	66,10	4,44	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

		W muestra seca (gr)		250	
# Tamiz	mm	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
# 4	4,760	0,0	0,0	0,0	100,0
# 8	2,380	0,20	0,20	0,08	99,92
# 10	2,000	0,10	0,30	0,12	99,88
# 16	1,190	3,40	3,70	1,48	98,52
# 30	0,565	11,80	15,50	6,20	93,80
# 40	0,420	11,00	26,50	10,60	89,40
# 50	0,297	13,60	40,10	16,04	83,96
# 60	0,250	8,40	48,50	19,40	80,60
# 100	0,149	37,40	85,90	34,36	65,64
# 200	0,074	108,50	194,40	77,76	22,24
fuelle	0,030	55,40	249,80	99,92	0,08

REPRESENTACIÓN GRANULOMÉTRICA



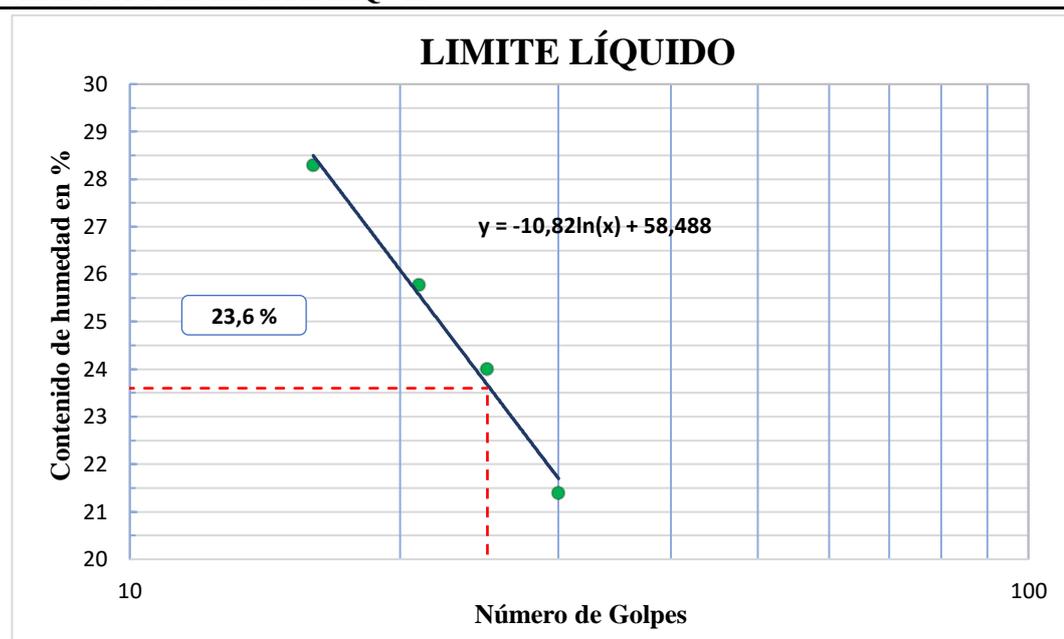
COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,05	Cu = D60/D10	2,80
D30 en mm	0,09	Cc = D30 ² /(D60*D10)	1,16
D60 en mm	0,14	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	0,565 mm

LÍMITE LÍQUIDO - Copa Casagrande - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
16	11,1	20,7	18,6	28,00	28,29
	11,3	21,2	19,0	28,57	
21	11,4	17,0	15,9	24,44	25,76
	11,5	17,6	16,3	27,08	
25	11,0	18,9	17,3	25,40	23,99
	10,9	18,5	17,1	22,58	
30	11,1	17,3	16,3	19,23	21,38
	11,3	17,6	16,4	23,53	
PROMEDIO LÍMITE LÍQUIDO					24,85

GRÁFICA DEL LÍMITE LÍQUIDO



En la gráfica se observa que el límite líquido a los 25 golpes en la copa de Casagrande es de 23,6 %.

LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
0,8	6,00	7,50	7,30	15,38	18,30
0,3	6,00	7,40	7,20	16,67	
0,6	6,00	7,70	7,40	21,43	
0,7	5,90	7,70	7,40	20,00	
11	10,50	16,40	15,50	18,00	

LÍMITES DE ATTERBERG

Límite líquido: 23,60 %
Límite plástico: 18,30 %
Índice Plástico: 5,30 %

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

SISTEMA	AASHTO	A-2-4 (Arena limosa o arcillosa)
	SUCS	SM-SC (Arena limosa o arcillosa)

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)			
Peso de la masa del suelo + funda gr.	Wm+Rec	797,30	
Peso de la funda gr.	Rec	0,70	
Peso de la masa del suelo gr,	Wm = Wm+Rec-Rec	796,60	
VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena	6280,00		
Peso final frasco + cono + arena	5098,00		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	343,00		
Peso arena en la perforación	839,00		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)	1,582		
Volumen de la perforación Vm	530,34		
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Recipiente número #		11	25
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	77,20	67,90
Peso seco + recipiente	Ws+rec	74,90	66,10
Peso recipiente	rec	24,00	25,60
Peso del agua	Ww	2,30	1,80
Peso de los sólidos	Ws	50,90	40,50
Contenido de humedad	w%	4,52	4,44
Contenido de humedad promedio	w% prom	4,48	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO			
		Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos	Vv =	12,88	-
Va =		Wa =	11,08
Vw =		Ww =	1,80
Vs =		Ws =	15,28
Vm =		Wm =	28,16
			42,30
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO			
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)		1,502	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)		1,438	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	4,48	%
Relación de vacíos	e= Vv/Vs	0,84	natural
Porosidad	n% = Vv/Vm*100	45,73	%
Grado de Saturación de agua	Gw%= Vw/Vv*100	13,98	%
Grado de Saturación de aire	Ga%	86,02	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015			
Peso picnómetro + agua	Wbw	648,8	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws	677,1	gr
Desplazamiento del agua	Ws + Wbw - Wbws	17,0	gr
Temperatura del agua y suelo en C°		19	C°
Factor de corrección por temperatura K		0,998	
Recipiente + peso suelo seco		180,1	gr
Peso recipiente		134,8	gr
Peso del suelo seco	Ws	45,3	gr
Gravedad Específica	Gs = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,659	gr

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	46 cm
VOLUMEN:	2124 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	16638 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO

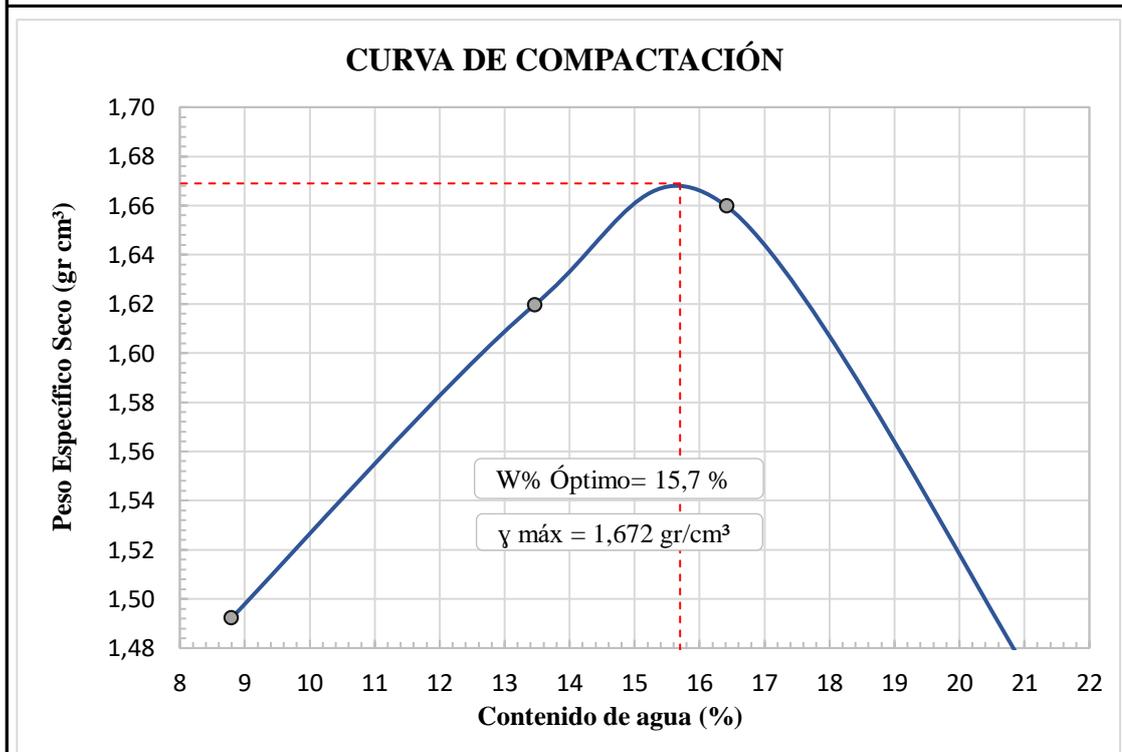
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	20086		20541		20742		20416	
Masa molde (gr)	16638		16638		16638		16638	
Masa suelo húmedo (gr)	3448		3903		4104		3778	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,623		1,838		1,932		1,779	
Masa del tarro (gr)	7,60	7,50	8,00	7,40	7,90	7,90	7,20	7,70
Masa suelo húm.+tarro (gr)	49,90	51,80	55,50	52,60	49,50	48,60	53,40	47,60
Masa suelo seco+tarro (gr)	46,50	48,20	49,80	47,30	43,80	42,70	45,30	40,70
Masa del agua (gr)	3,40	3,60	5,70	5,30	5,70	5,90	8,10	6,90
Masa suelo seco (gr)	38,90	40,70	41,80	39,90	35,90	34,80	38,10	33,00
Contenido de agua (%)	8,74	8,85	13,64	13,28	15,88	16,95	21,26	20,91
w (%) Promedio	8,79		13,46		16,42		21,08	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,49		1,62		1,66		1,47	

Densidad Seca Máxima (y máx): 1,669 gr/cm³

Humedad Óptima: 15,70 %

Grado de compactación: 86,137 %

GRÁFICA DE LA MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA

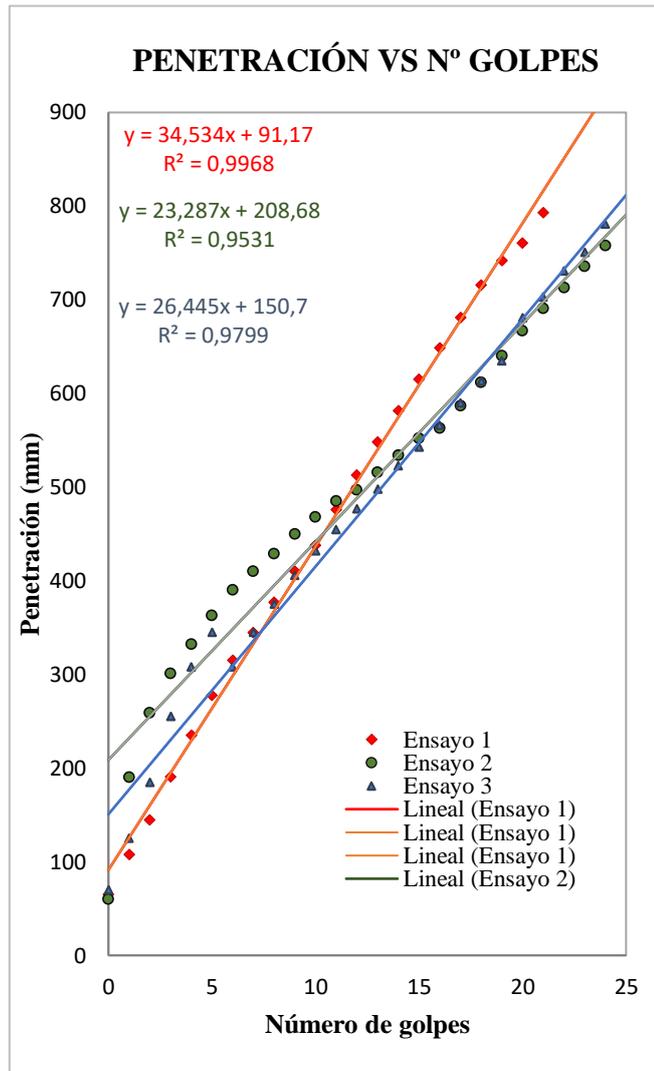


Descripcion del ensayo

La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,669 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 15,7%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

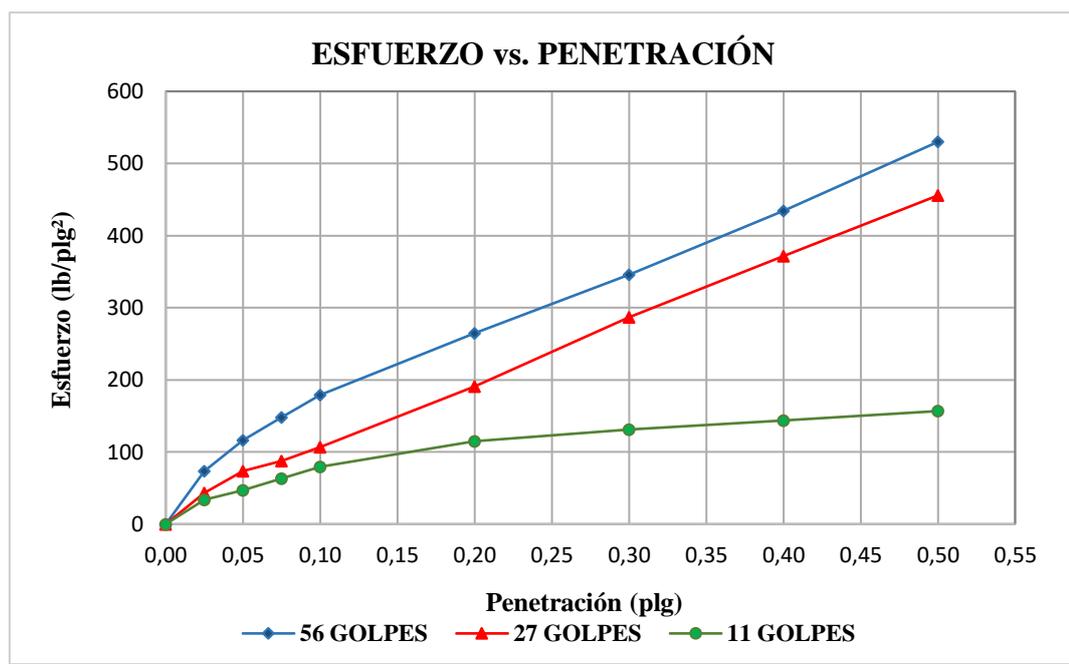
N° Golpe	Penetración		
	mm	mm	mm
0	65	60	70
1	108	190	125
2	145	259	185
3	191	301	255
4	235	332	308
5	278	363	345
6	315	390	308
7	345	410	345
8	377	429	375
9	410	450	406
10	438	468	432
11	476	485	455
12	513	497	477
13	548	516	498
14	582	534	523
15	615	552	543
16	649	563	566
17	681	587	590
18	716	612	613
19	742	640	635
20	761	667	681
21	793	691	703
22		713	731
23		736	751
24		758	781
25			



DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	34,534	28,09
2	23,287	
3	26,445	

CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013						
MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	14195		12251		12487	
Masa molde (gr)	9635		8391		8636	
Masa muestra húmeda (gr)	4560		3860		3851	
Volúmen muestra (cm ³)	2286,38		2041,50		2256,40	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,99		1,89		1,71	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	57,50	55,40	54,50	69,00	56,90	57,90
Masa suelo seco + recip(gr)	49,50	48,20	47,10	59,40	49,10	49,80
Masa del agua (gr)	7,50	7,30	7,30	7,80	8,00	7,10
Masa del recip (gr)	7,60	7,50	7,10	7,20	7,50	7,20
Masa suelo seco	41,90	40,70	40,00	52,20	41,60	42,60
Contenido de humedad W(%)	17,90	17,94	18,25	14,94	19,23	16,67
W (%) Promedio	17,92		16,60		17,95	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,691		1,622		1,447	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	14276		12436		12782	
Masa molde (gr)	9635		8391		8636	
Masa muestra húmeda (gr)	4641		4045		4146	
Masa agua absorbida(gr)	81		185		295	
% Agua Absorbida	1,78		4,79		7,66	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	62,10	57,80	58,20	62,60	64,70	68,10
Masa del suelo seco+tarro (gr)	52,20	49,60	49,20	52,20	53,24	56,89
Masa del agua (gr)	9,90	8,20	9,00	10,40	11,46	11,21
Masa del tarro (gr)	7,50	7,30	7,30	7,80	8,00	7,10
Masa suelo seco	44,70	42,30	41,90	44,40	45,24	49,79
Contenido de agua (%)	22,15	19,39	21,48	23,42	25,33	22,51
W (%) Promedio	20,77		22,45		23,92	
ENSAYO						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	221	73,67	130	43,33	101	33,67
0,050	350	116,67	221	73,67	140	46,67
0,075	445	148,33	263	87,67	189	63,00
0,100	537	179,00	321	107,00	238	79,33
0,200	795	265,00	572	190,67	345	115,00
0,300	1038	346,00	861	287,00	393	131,00
0,400	1303	434,33	1116	372,00	431	143,67
0,500	1590	530,00	1367	455,67	470	156,67

GRÁFICA ESFUERZO vs PENETRACIÓN



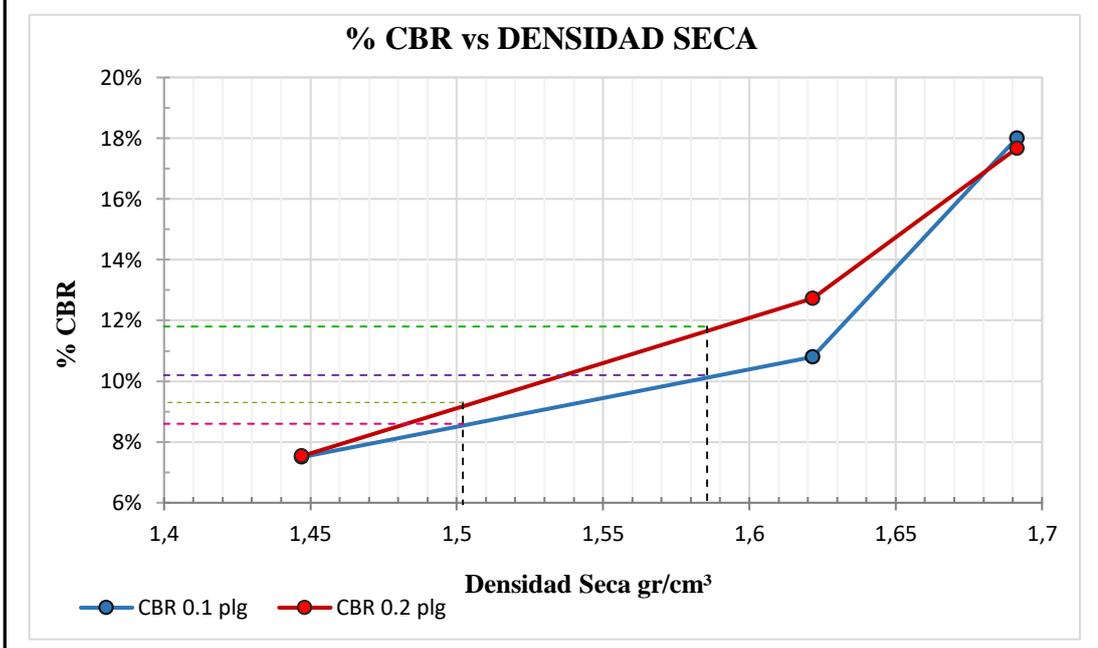
PORCENTAJES CBR (Corregidos)

MOLDE Nº	Presión (lb/plg²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	180,00	18,00%	1,691	265	17,67%	1,691
2	108,00	10,80%	1,622	191	12,73%	1,622
3	75,00	7,50%	1,447	113	7,53%	1,447

DENSIDAD SECA MÁXIMA

1,67 gr/cm3

DSM	%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,502	8,60%	9,30%
95%	1,586	10,20%	11,80%



Nota: El CBR para el diseño de pavimento es el 11,8%.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE TITULACIÓN



Proyecto: Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares, de las parroquias Cunchibamba y Unamuncho de Ambato

Provincia: Tungurahua **Número de Muestra:** 11
Cantón: Ambato **Coordenadas:** 17 S, 768553,53 ; 9870374,48
Parroquia: Unamuncho **Ensayado por:** Egda. María Mercedes Troya Jurado
Sector: La Dolorosa **Revisado por:** Ing. Favio Portilla

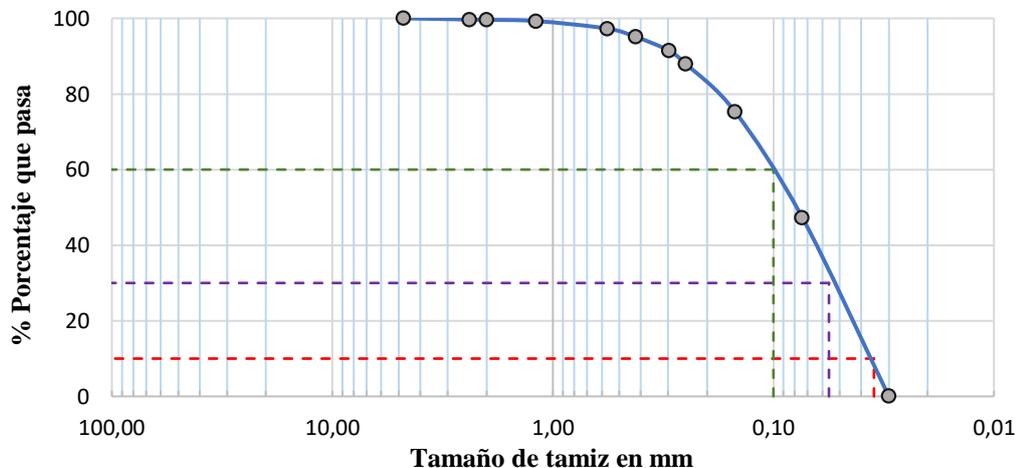
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
24,60	66,40	62,10	11,47	10,87
24,10	71,30	66,90	10,28	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

		W muestra seca (gr)		250	
# Tamiz	mm	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
# 4	4,760	0,0	0,0	0,0	100,0
# 8	2,380	0,80	0,80	0,32	99,68
# 10	2,000	0,20	1,00	0,40	99,60
# 16	1,190	0,80	1,80	0,72	99,28
# 30	0,565	5,00	6,80	2,72	97,28
# 40	0,420	5,50	12,30	4,92	95,08
# 50	0,297	9,10	21,40	8,56	91,44
# 60	0,250	8,60	30,00	12,00	88,00
# 100	0,149	31,90	61,90	24,76	75,24
# 200	0,074	69,80	131,70	52,68	47,32
fuelle	0,030	118,10	249,80	99,92	0,08

REPRESENTACIÓN GRANULOMÉTRICA



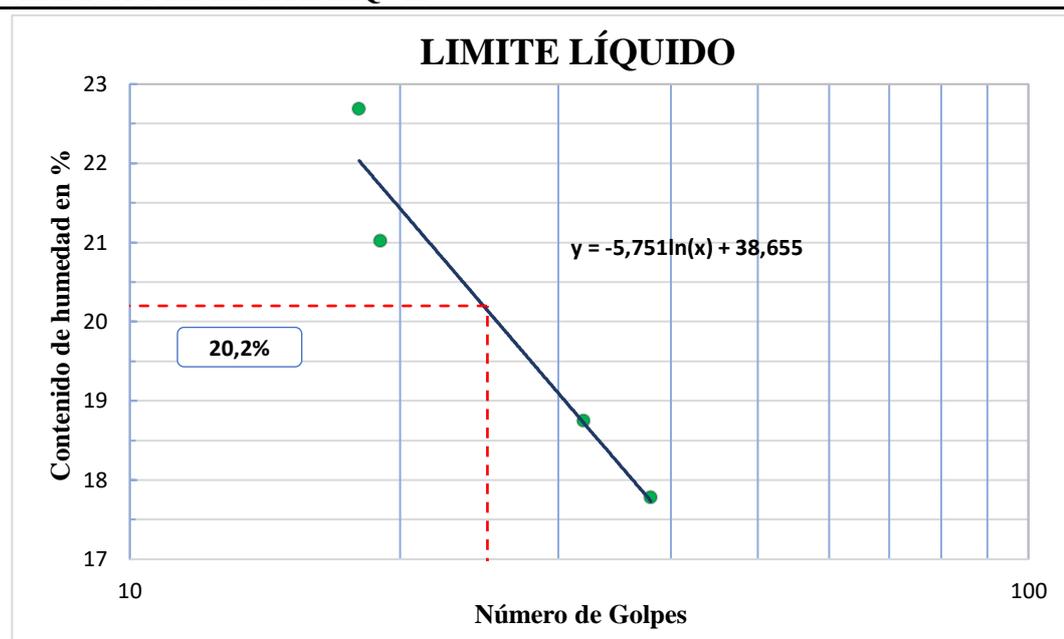
COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,04	$Cu = D_{60}/D_{10}$	2,86
D30 en mm	0,06	$Cc = D_{30}^2/(D_{60}*D_{10})$	0,90
D60 en mm	0,10	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	0,250 mm

LÍMITE LÍQUIDO - Copa Casagrande - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
19	11,7	17,4	16,4	21,28	21,02
	11,5	17,9	16,8	20,75	
38	11,5	18,8	17,8	15,87	17,77
	11,1	18,4	17,2	19,67	
18	10,8	17,9	16,6	22,41	22,68
	11,3	18,8	17,4	22,95	
32	12,1	18,9	17,8	19,30	18,74
	11,6	18,1	17,1	18,18	
PROMEDIO LIMITE LÍQUIDO					20,05

GRÁFICA DEL LÍMITE LÍQUIDO



En la gráfica se observa que el límite líquido a los 25 golpes en la copa de Casagrande es de 20,2 %.

LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
14	6,00	7,10	6,90	22,22	17,24
15	6,20	7,20	7,00	25,00	
11	6,10	7,10	7,00	11,11	
12	6,10	7,00	6,90	12,50	
13	7,30	8,80	8,60	15,38	

LÍMITES DE ATTERBERG

Límite líquido: 20,20 %
Límite plástico: 17,24 %
Índice Plástico: 2,96 %

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

SISTEMA	AASHTO	A-4 (Suelo limoso)
	SUCS	ML-CL (Limo y arcilla)

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)			
Peso de la masa del suelo + funda gr.	Wm+Rec	878,30	
Peso de la funda gr.	Rec	0,70	
Peso de la masa del suelo gr,	Wm = Wm+Rec-Rec	877,60	
VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena	6310,00		
Peso final frasco + cono + arena	5250,00		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	343,00		
Peso arena en la perforación	717,00		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)	1,582		
Volumen de la perforación Vm	453,22		
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Recipiente número #		11	25
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	66,40	71,30
Peso seco + recipiente	Ws+rec	62,10	66,90
Peso recipiente	rec	24,60	24,10
Peso del agua	Ww	4,30	4,40
Peso de los sólidos	Ws	37,50	42,80
Contenido de humedad	w%	11,47	10,28
Contenido de humedad promedio	w% prom	10,87	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO			
		Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos	Vv =	8,22	-
Va =		3,82	0,00
Vw =		4,40	4,40
Vs =		16,15	42,80
Vm =		24,38	47,20
Wa =			
Ww =			
Ws =			
Wm =			
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO			
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)		1,936	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)		1,746	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	10,87	%
Relación de vacíos	e= Vv/Vs	0,51	natural
Porosidad	n% = Vv/Vm*100	33,74	%
Grado de Saturación de agua	Gw%= Vw/Vv*100	53,50	%
Grado de Saturación de aire	Ga%	46,50	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015			
Peso picnómetro + agua	Wbw	648,8	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws	676,9	gr
Desplazamiento del agua	Ws + Wbw - Wbws	17,0	gr
Temperatura del agua y suelo en C°		19	C°
Factor de corrección por temperatura K		0,998	
Recipiente + peso suelo seco		179,9	gr
Peso recipiente		134,8	gr
Peso del suelo seco	Ws	45,1	gr
Gravedad Específica	Gs = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,648	gr

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	46 cm
VOLUMEN:	2124 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	16583 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO

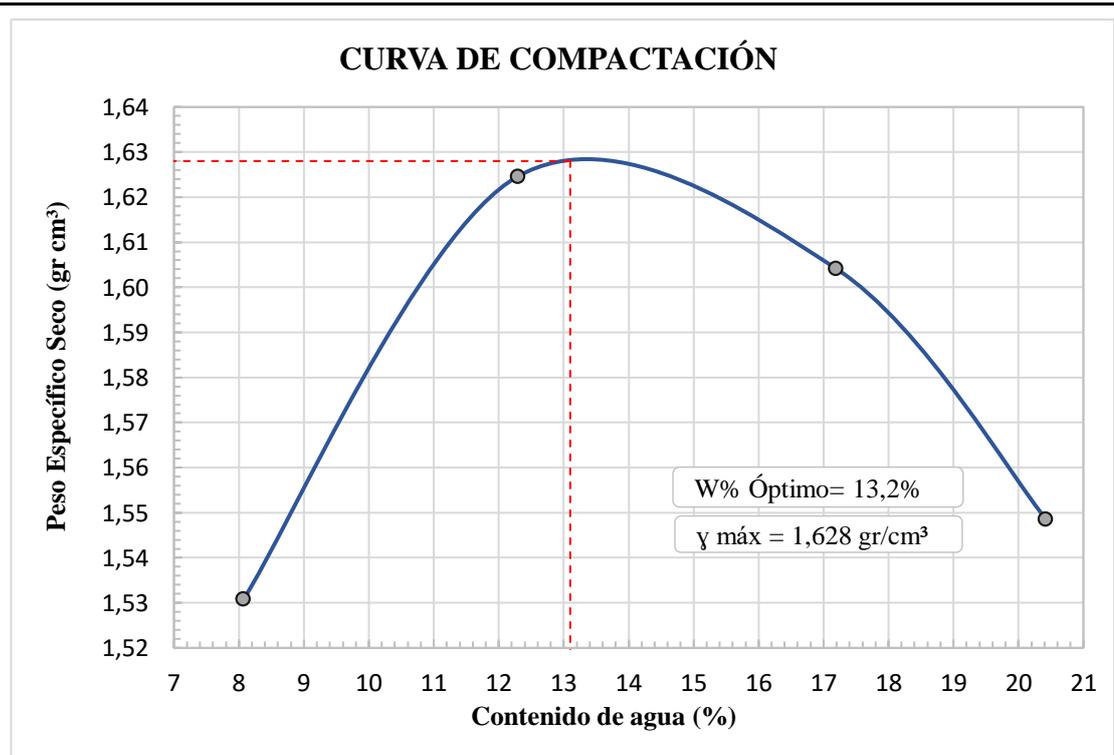
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	20097		20458		20576		20544	
Masa molde (gr)	16583		16583		16583		16583	
Masa suelo húmedo (gr)	3514		3875		3993		3961	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,65		1,82		1,88		1,86	
Masa del tarro (gr)	7,30	6,80	7,80	7,60	7,30	7,30	7,70	7,50
Masa suelo húm.+tarro (gr)	56,10	59,70	54,40	48,90	54,10	48,40	55,80	56,70
Masa suelo seco+tarro (gr)	52,50	55,70	49,50	44,20	47,20	42,40	47,60	48,40
Masa del agua (gr)	3,60	4,00	4,90	4,70	6,90	6,00	8,20	8,30
Masa suelo seco (gr)	45,20	48,90	41,70	36,60	39,90	35,10	39,90	40,90
Contenido de agua (%)	7,96	8,18	11,75	12,84	17,29	17,09	20,55	20,29
w (%) Promedio	8,07		12,30		17,19		20,42	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,53		1,62		1,60		1,55	

Densidad Seca Máxima (y máx): 1,628 gr/cm³

Humedad Óptima: 13,10 %

Grado de compactación: 107,28 %

GRÁFICA DE LA MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA

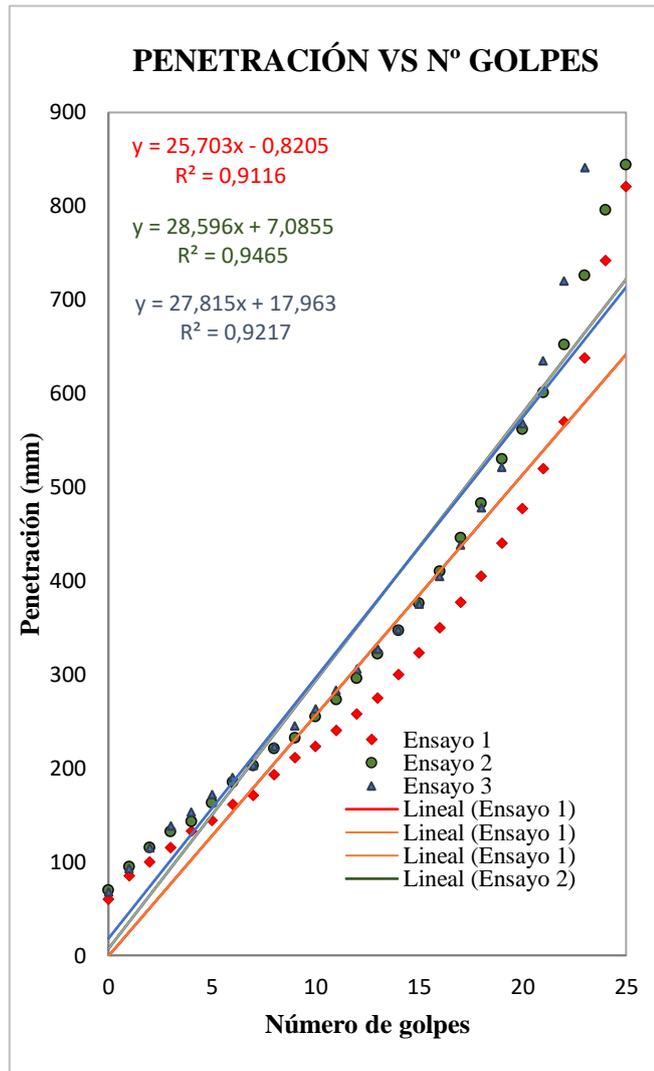


Descripcion del ensayo

La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 13,1 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de %.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

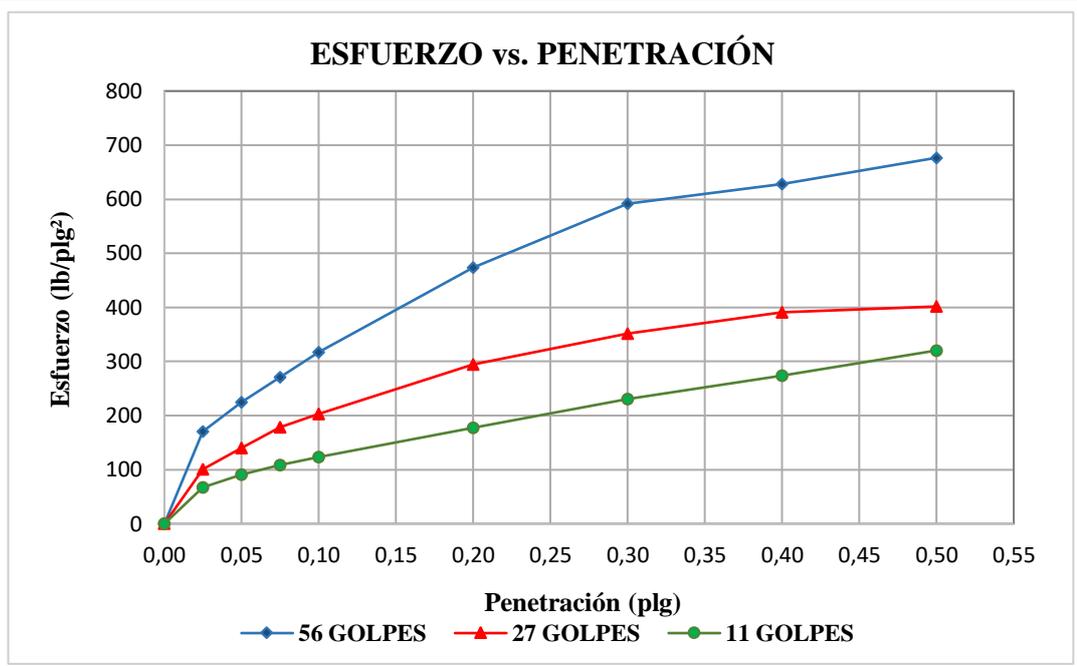
N° Golpe	Penetración		
	mm	mm	mm
0	60	70	68
1	85	95	93
2	100	115	115
3	115	132	138
4	133	143	153
5	144	163	172
6	161	185	190
7	171	203	203
8	193	221	223
9	211	232	245
10	223	255	263
11	240	273	283
12	258	296	306
13	275	322	327
14	300	347	348
15	323	376	375
16	350	410	405
17	377	446	438
18	405	483	478
19	440	530	521
20	477	562	568
21	520	601	635
22	570	652	720
23	638	726	841
24	742	796	
25	821	844	



DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	25,703	19,60
2	17,521	
3	15,578	

CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013						
MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	14047		12582		12089	
Masa molde (gr)	9574		8347		8796	
Masa muestra húmeda (gr)	4473		4235		3293	
Volúmen muestra (cm ³)	2334,95		2286,38		2068,63	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,92		1,85		1,59	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	76,60	74,00	68,20	62,80	69,60	70,80
Masa suelo seco + recip(gr)	68,90	66,70	61,00	56,40	62,40	63,20
Masa del agua (gr)	7,70	7,30	7,20	6,40	7,20	7,60
Masa del recip (gr)	7,60	7,50	7,10	7,20	7,50	7,20
Masa suelo seco	61,30	59,20	53,90	49,20	54,90	56,00
Contenido de humedad W(%)	12,56	12,33	13,36	13,01	13,11	13,57
W (%) Promedio	12,45		13,18		13,34	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,704		1,637		1,404	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	14256		12826		12532	
Masa molde (gr)	9574		8347		8796	
Masa muestra húmeda (gr)	4682		4479		3736	
Masa agua absorbida(gr)	209		244		443	
% Agua Absorbida	4,67		5,76		13,45	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	64,50	71,40	59,80	65,10	67,40	60,40
Masa del suelo seco+tarro (gr)	55,50	62,00	51,70	55,40	57,40	50,90
Masa del agua (gr)	9,00	9,40	8,10	9,70	10,00	9,50
Masa del tarro (gr)	7,20	7,50	7,70	7,60	7,20	7,10
Masa suelo seco	48,30	54,50	44,00	47,80	50,20	43,80
Contenido de agua (%)	18,63	17,25	18,41	20,29	19,92	21,69
W (%) Promedio	17,94		19,35		20,80	
ENSAYO						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	510	170,00	301	100,33	201	67,00
0,050	675	225,00	421	140,33	272	90,67
0,075	812	270,67	536	178,67	325	108,33
0,100	952	317,33	610	203,33	371	123,67
0,200	1421	473,67	884	294,67	532	177,33
0,300	1775	591,67	1056	352,00	692	230,67
0,400	1885	628,33	1172	390,67	821	273,67
0,500	2030	676,67	1205	401,67	961	320,33

GRÁFICA ESFUERZO vs PENETRACIÓN



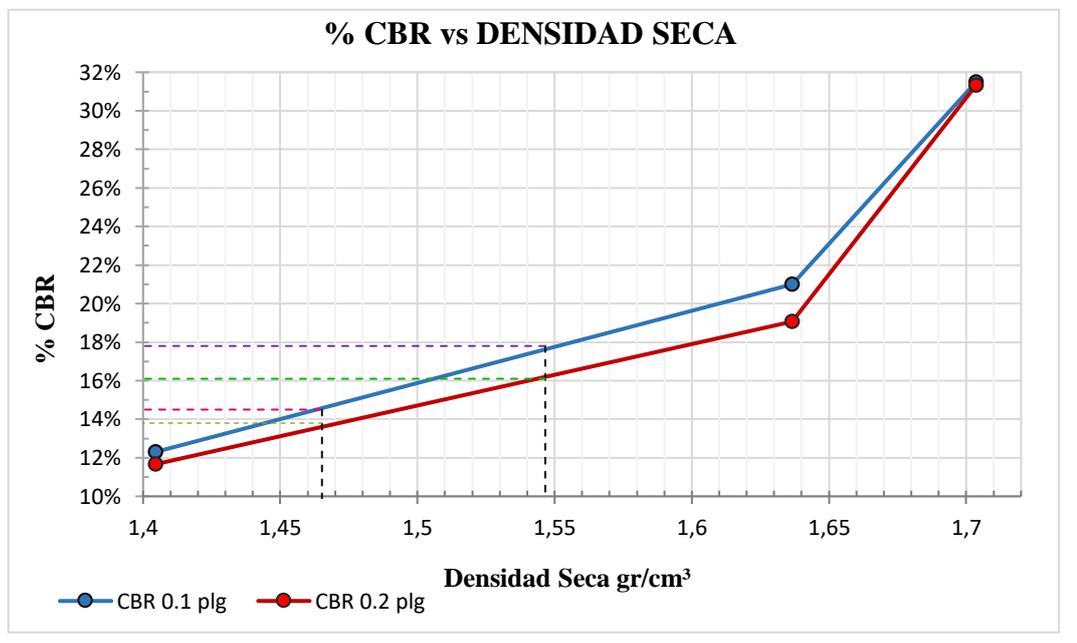
PORCENTAJES CBR (Corregidos)

MOLDE Nº	Presión (lb/plg²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	315	31,50%	1,704	470	31,33%	1,704
2	210	21,00%	1,637	286	19,07%	1,637
3	123	12,30%	1,404	175	11,67%	1,404

DENSIDAD SECA MÁXIMA

1,63 gr/cm3

DSM	%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,465	14,50%	14,50%
95%	1,547	17,80%	17,80%



Nota: El CBR para el diseño de pavimento es el 17,8%.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE TITULACIÓN



Proyecto: Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en los suelos granulares, de las parroquias Cunchibamba y Unamuncho de Ambato

Provincia: Tungurahua **Número de Muestra:** 12

Cantón: Ambato **Coordenadas:** 17 S, 766905,76 ; 9870374,48

Parroquia: Unamuncho **Ensayado por:** Egda. María Mercedes Troya Jurado

Sector: La Dolorosa **Revisado por:** Ing. Favio Portilla

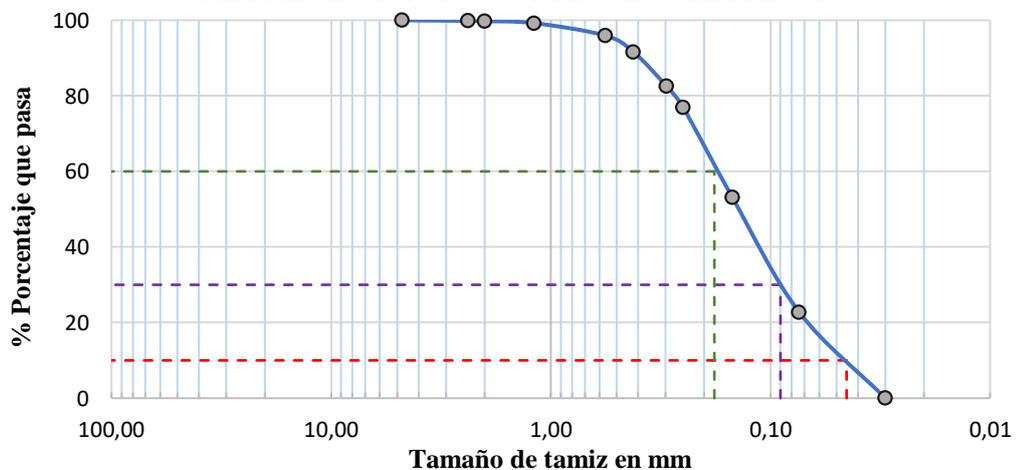
HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
30,80	70,90	66,80	11,39	11,08
31,10	82,50	77,50	10,78	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

		W muestra seca (gr)		250	
# Tamiz	mm	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
# 4	4,760	0,0	0,0	0,0	100,0
# 8	2,380	0,40	0,40	0,16	99,84
# 10	2,000	0,20	0,60	0,24	99,76
# 16	1,190	1,30	1,90	0,76	99,24
# 30	0,565	8,20	10,10	4,04	95,96
# 40	0,420	10,90	21,00	8,40	91,60
# 50	0,297	22,70	43,70	17,48	82,52
# 60	0,250	13,80	57,50	23,00	77,00
# 100	0,149	59,70	117,20	46,88	53,12
# 200	0,074	75,90	193,10	77,24	22,76
fuate	0,030	56,80	249,90	99,96	0,04

REPRESENTACIÓN GRANULOMÉTRICA



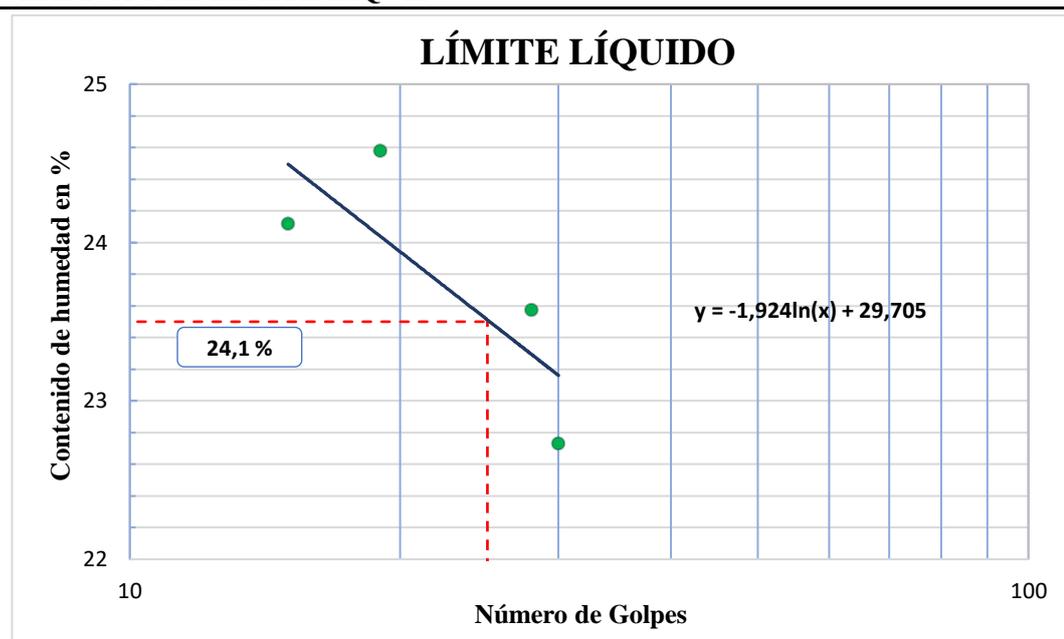
COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,05	Cu = D60/D10	4,00
D30 en mm	0,09	Cc = D30 ² /(D60*D10)	1,00
D60 en mm	0,18	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	0,420 mm

LÍMITE LÍQUIDO - Copa Casagrande - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
15	11,4	18,2	16,9	23,64	24,11
	10,8	18,4	16,9	24,59	
28	11,0	18,4	17,0	23,33	23,57
	10,8	18,6	17,1	23,81	
30	10,6	18,4	17,1	20,00	22,73
	11,0	17,9	16,5	25,45	
19	10,9	18,5	17,0	24,59	24,58
	11,4	18,5	17,1	24,56	
PROMEDIO LÍMITE LÍQUIDO					23,75

GRÁFICA DEL LÍMITE LÍQUIDO



En la gráfica se observa que el límite líquido a los 25 golpes en la copa de Casagrande es de 23,5 %.

LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
14	6,10	7,20	7,00	22,22	21,30
15	6,10	7,70	7,40	23,08	
11	6,10	8,10	7,80	17,65	
12	7,10	8,90	8,60	20,00	
13	4,15	5,20	5,00	23,53	

LÍMITES DE ATTERBERG

Límite líquido: 23,50 %
 Límite plástico: 21,30 %
 Índice Plástico: 2,20 %

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

SISTEMA	AASHTO	A-2-4 (Arena limosa o arcillosa)
	SUCS	SM (Arenas limosas, mezcla de arena y limo)

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014			
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)			
Peso de la masa del suelo + funda gr.	Wm+Rec	1292,30	
Peso de la funda gr.	Rec	0,70	
Peso de la masa del suelo gr,	Wm = Wm+Rec-Rec	1291,60	
VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)			
Peso inicial frasco + cono + arena	6300,00		
Peso final frasco + cono + arena	4765,00		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)	343,00		
Peso arena en la perforación	1192,00		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)	1,582		
Volumen de la perforación	Vm	753,48	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Recipiente número #		11	25
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec	70,90	82,50
Peso seco + recipiente	Ws+rec	66,80	77,50
Peso recipiente	rec	30,80	31,10
Peso del agua	Ww	4,10	5,00
Peso de los sólidos	Ws	36,00	46,40
Contenido de humedad	w%	11,39	10,78
Contenido de humedad promedio	w% prom	11,08	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO			
		Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos	Vv =	12,48	-
Va =		Wa =	7,48
Vw =		Ww =	5,00
Vs =		Ws =	17,51
Vm =		Wm =	29,99
			51,40
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO			
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_h)		1,714	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)		1,543	gr/cm ³
Contenido de humedad	w%	11,08	%
Relación de vacíos	e= Vv/Vs	0,71	natural
Porosidad	n% = Vv/Vm*100	41,61	%
Grado de Saturación de agua	Gw%= Vw/Vv*100	40,08	%
Grado de Saturación de aire	Ga%	59,92	%
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015			
Peso picnómetro + agua	Wbw	648,8	gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws	676,8	gr
Desplazamiento del agua	Ws + Wbw - Wbws	17,0	gr
Temperatura del agua y suelo en C°		19	C°
Factor de corrección por temperatura K		0,998	
Recipiente + peso suelo seco		179,9	gr
Peso recipiente		134,9	gr
Peso del suelo seco	Ws	45,0	gr
Gravedad Específica	Gs = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,642	gr

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	46 cm
VOLUMEN:	2124 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	16583 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO

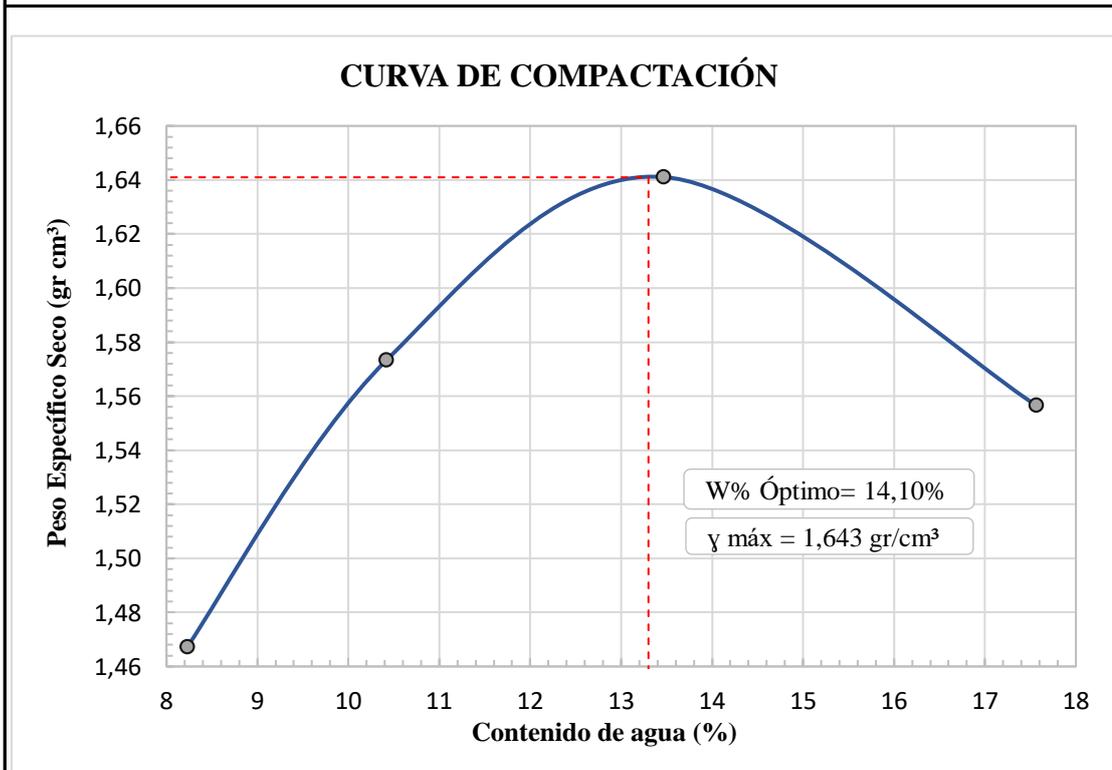
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	19956		20273		20538		20470	
Masa molde (gr)	16583		16583		16583		16583	
Masa suelo húmedo (gr)	3373		3690		3955		3887	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,59		1,74		1,86		1,83	
Masa del tarro (gr)	7,70	7,20	7,90	8,00	7,40	7,10	7,40	7,30
Masa suelo húm.+tarro (gr)	51,10	45,50	53,80	47,20	49,80	53,10	54,90	53,50
Masa suelo seco+tarro (gr)	47,90	42,50	48,90	44,00	44,90	47,50	47,80	46,60
Masa del agua (gr)	3,20	3,00	4,90	3,20	4,90	5,60	7,10	6,90
Masa suelo seco (gr)	40,20	35,30	41,00	36,00	37,50	40,40	40,40	39,30
Contenido de agua (%)	7,96	8,50	11,95	8,89	13,07	13,86	17,57	17,56
w (%) Promedio	8,23		10,42		13,46		17,57	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,47		1,57		1,64		1,56	

Densidad Seca Máxima (y máx): 1,641 gr/cm³

Humedad Óptima: 13,30 %

Grado de compactación: 94,038 %

GRÁFICA DE LA MÁXIMA DENSIDAD Y HUMEDAD ÓPTIMA

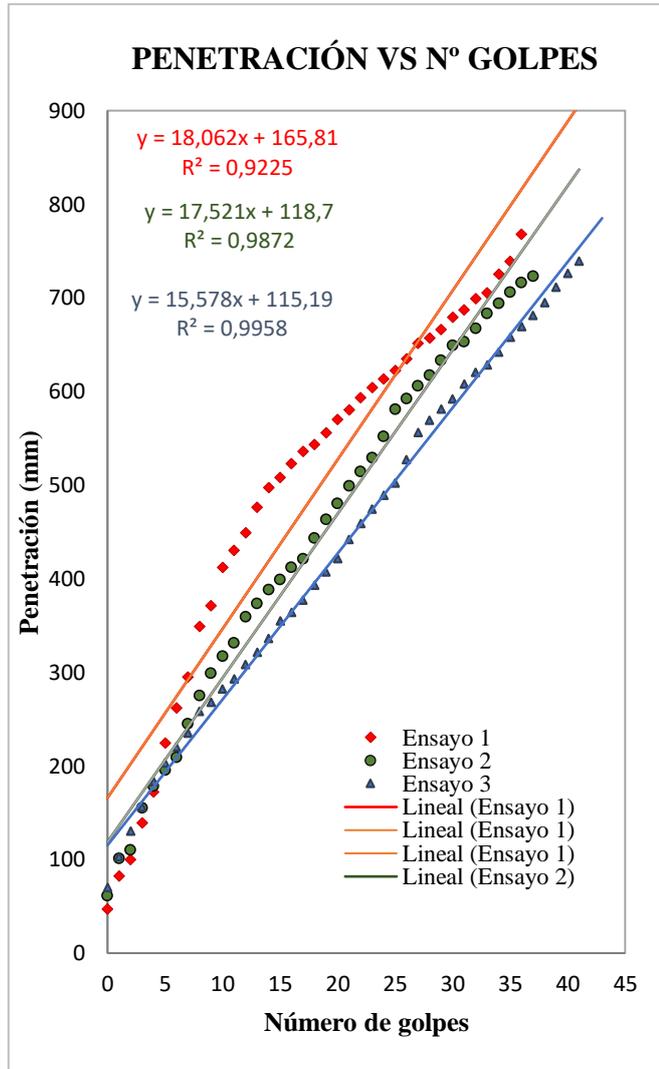


Descripcion del ensayo

La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,641 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 13,3%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

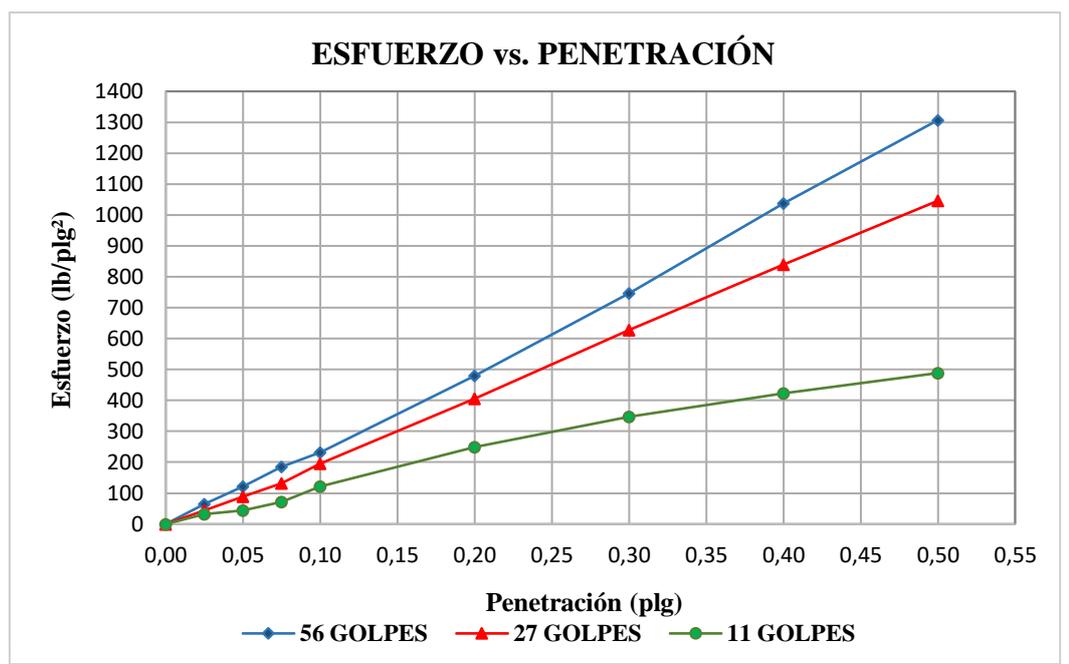
N° Golpe	Penetración		
	mm	mm	mm
0	47	61	70
1	82	101	103
2	100	110	130
3	139	155	156
4	172	178	183
5	224	195	203
6	262	209	220
7	295	245	235
8	349	275	258
9	371	299	268
10	412	317	282
11	430	331	293
12	449	359	308
13	476	373	321
14	497	388	336
15	508	399	355
16	523	412	364
17	536	421	377
18	543	443	393
19	556	463	407
20	570	480	421
21	580	499	442
22	593	514	459
23	604	529	474
24	613	552	489
25	622	581	502
26	635	592	527
27	651	606	556
28	657	617	569
29	666	633	581
30	679	649	592
31	687	653	608
32	699	667	620
33	705	683	628
34	725	694	642
35	739	706	658
36	768	716	669
37		723	681
38			695
39			711
40			726
41			739



DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	18,062	17,05
2	17,521	
3	15,578	

CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013						
MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	12335		10425		10011	
Masa molde (gr)	8300		6725		6682	
Masa muestra húmeda (gr)	4035		3700		3329	
Volúmen muestra (cm ³)	2256,40		2304,53		2238,49	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,79		1,61		1,49	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	101,11	96,41	75,60	85,21	101,30	87,92
Masa suelo seco + recip(gr)	80,90	77,65	62,59	68,25	82,51	69,90
Masa del agua (gr)	20,21	18,76	13,01	16,96	18,79	18,02
Masa del recip (gr)	7,30	7,20	7,60	7,50	7,90	7,10
Masa suelo seco	73,60	70,45	54,99	60,75	74,61	62,80
Contenido de humedad W(%)	27,46	26,63	23,66	27,92	25,18	28,69
W (%) Promedio	27,04		25,79		26,94	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,41		1,28		1,17	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	12410		10769		10519	
Masa molde (gr)	8300		6725		6682	
Masa muestra húmeda (gr)	4110		4044		3837	
Masa agua absorbida(gr)	75		344		508	
% Agua Absorbida	1,86		9,30		15,26	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	72,54	84,15	106,54	96,15	95,21	94,36
Masa del suelo seco+tarro (gr)	55,93	64,18	81,69	71,02	69,25	68,25
Masa del agua (gr)	16,61	19,97	24,85	25,13	25,96	26,11
Masa del tarro (gr)	7,10	7,30	7,20	7,60	7,80	7,10
Masa suelo seco	48,83	56,88	74,49	63,42	61,45	61,15
Contenido de agua (%)	34,02	35,11	33,36	39,62	42,25	42,70
W (%) Promedio	34,56		36,49		42,47	
ENSAYO						
MOLDE N°	1		2		3	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)	dial	Presión (lb/plg²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	305	101,67	265	88,33	158	52,67
0,050	467	155,67	396	132,00	263,5	87,83
0,075	503	167,67	461	153,67	321	107,00
0,100	573	191,00	518	172,67	365	121,67
0,200	873	291,00	735,5	245,17	415	138,33
0,300	1189	396,33	976,5	325,50	556	185,33
0,400	1475	491,67	1155	385,00	621	207,00
0,500	1783	594,33	1330	443,33	685	228,33

GRÁFICA ESFUERZO vs PENETRACIÓN



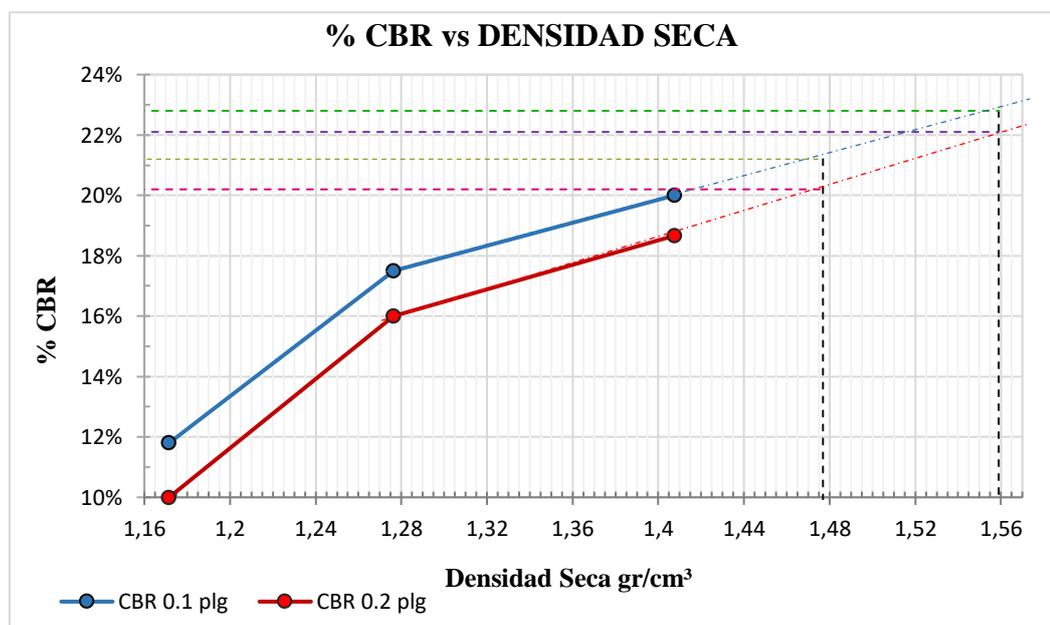
PORCENTAJES CBR (Corregidos)

MOLDE N°	Presión (lb/plg²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	200,00	20,00%	1,408	280	18,67%	1,408
2	175,00	17,50%	1,276	240	16,00%	1,276
3	118,00	11,80%	1,172	150	10,00%	1,172

DENSIDAD SECA MÁXIMA

1,64 gr/cm³

DSM	%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,477	21,20%	21,20%
95%	1,559	22,80%	22,80%



Nota: El CBR para el diseño de pavimento es el 19,80%.

ANEXO C

CALIBRACIÓN DEL PECNÓMETRO

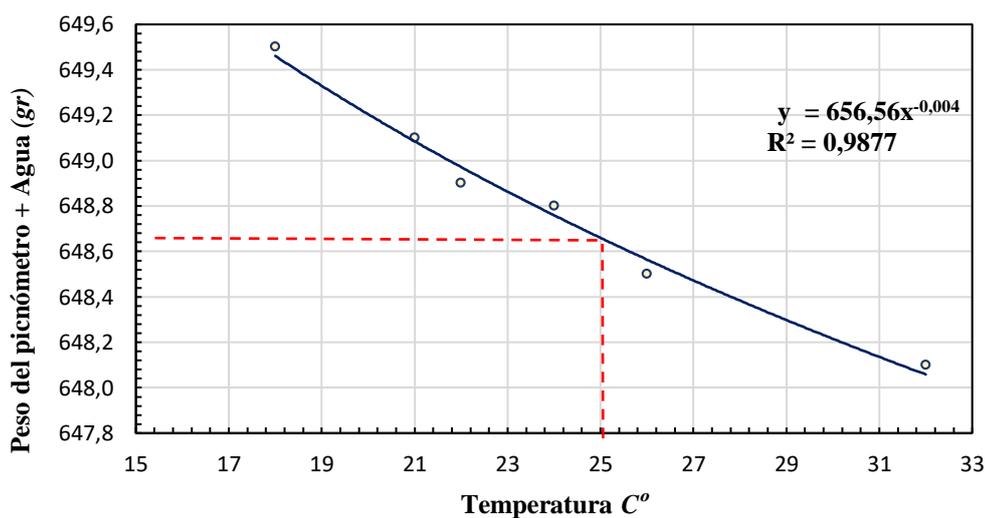
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015

Número de la muestra	1	
Número de picnómetro	1	
Pg + agua hasta la marca de aforo Wbw	648,9	gr
Pg + agua + suelo sumergido Wbws	679,8	gr
Desplazamiento del agua $W_s + W_{bw} - W_{bws}$	18,6	gr
Temperatura del agua y suelo en C°	22	C°
Factor de corrección por temperatura K	0,9978	
Número de recipiente	1	
Recipiente + peso suelo seco	151,8	gr
Peso recipiente	102,3	gr
Peso del suelo seco W_s	49,5	gr
Gravedad Específica = $(W_s \cdot K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$	2,655	gr

CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO

N°	Temperatura °C	Masa (gr)
1	18	649,50
2	21	649,10
3	22	648,90
4	24	648,80
5	26	648,50
6	32	648,10

CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO



Nota: El peso del picnómetro de acuerdo a la gráfica a una temperatura de 22 C° es de 648,62 gr.

ANEXO D

TABLA NACIONAL DE PESOS Y DIMENSIONES DE VEHÍCULOS

PESOS Y DIMENSIONES DE LA TABLA NACIONAL

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2 D			7	5,00	2,60	3,00
2DA			10	7,50	2,60	3,50
2DB			18	12,20	2,60	4,10
3-A			27	12,20	2,60	4,10
4-C			31	12,20	2,60	4,10
4-0 OCTOPUS			32	12,20	2,60	4,10
V2DB			18	12,20	2,60	4,10
V3A			27	12,20	2,60	4,10
VZS			27	12,20	2,60	4,10
T2			18	8,50	2,60	4,10
T3			27	8,50	2,60	4,10
S3			24	13,00	2,60	4,10
S2			20	13,00	2,60	4,10
S1			11	13,00	2,60	4,10
R2			22	10,00	2,60	4,10
R3			31	10,00	2,60	4,10
B1			11	10,00	2,60	4,10
B2			20	10,00	2,60	4,10
B3			24	10,00	2,60	4,10

Para las unidades de carga (Remolques, semiremolques y remolques balanceados) en la combinación se restará el largo del traslape.

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2S1			29	20,50	2,60	4,30
2S2			38	20,50	2,60	4,30
2S3			42	20,50	2,60	4,30
3S1			38	20,50	2,60	4,30
3S2			47	20,50	2,60	4,30
3S3			48	20,50	2,60	4,30
2R2			40	20,50	2,60	4,30
2R3			48	20,50	2,60	4,30
3R2			48	20,50	2,60	4,30
3R3			48	20,50	2,60	4,30
2B1			29	20,50	2,60	4,30
2B2			38	20,50	2,60	4,30
2B3			42	20,50	2,60	4,30
3B1			38	20,50	2,60	4,30
3B2			47	20,50	2,60	4,30
3B3			48	20,50	2,60	4,30