



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 CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS
EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS AMBATILLO Y
QUISAPINCHA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

AUTOR:

LESLY SOFÍA GARZÓN ZAPATA

TUTOR:

ING. MG. FAVIO PORTILLA

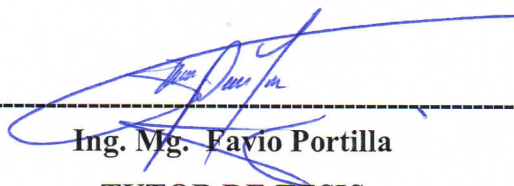
Ambato – Ecuador
2019

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Favio Portilla., certifico que el presente trabajo experimental bajo el tema: “CORRELACIÓN ENTRE CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS AMBATILLO Y QUISAPINCHA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.” Es de autoría de la Srta. Garzón Zapata Lesly Sofia, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Diciembre del 2019



Ing. Mg. Favio Portilla
TUTOR DE TESIS

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Garzón Zapata Lesly Sofia con C.I: 0504474669, 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 CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS AMBATILLO Y QUISAPINCHA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.” es de mi completa autoría.

Ambato, Diciembre del 2019



Egda. Lesly Sofia Garzón Zapata

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. Lesly Sofia Garzón Zapata

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

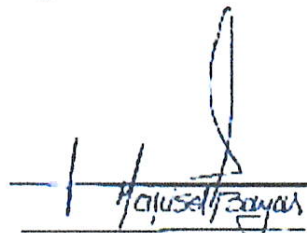
Los miembros del tribunal examinador aprueban el Trabajo Experimental, realizado por la Srta. Lesly Sofia Garzón Zapata, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato bajo el tema: "CORRELACIÓN ENTRE CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS AMBATILLO Y QUISAPINCHA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA".

Ambato, Diciembre 2019

Para constancia firman:



Ing. Mg. Alex López



Ing. Mg. Marisol Bayas

DEDICATORIA

A mami Mela (+) por confiar en mí, ser mi amiga y ahora el ángel que siempre me cuida y me protege.

A mis padres Edison y Mercedes por su gran fortaleza e infinito amor con el que siempre me han guiado, cuidado, y protegido toda la vida, gracias por sus sabios consejos y dedicación para poder alcanzar mis metas y sueños.

A mi hermano Enrique, por ser mi amigo y cómplice, gracias por el apoyo incondicional que siempre me brindas.

Lesly Sofía Garzón

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios y a la Santísima Virgen María en la invocación de la Dolorosa por siempre cuidar mi camino con amor y bendiciones para poder seguir adelante.

A mis padres, por el apoyo y amor incondicional que siempre me han brindado, por ser el pilar fundamental que me permitido cumplir mis sueños.

A mi tutor y docentes por sus conocimientos y experiencias impartidas.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
RESUMEN EJECUTIVO	XIV
ABSTRACT SUMMARY	XV
CAPITULO I.....	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 Suelos	4
1.1.3.2 Propiedades índice de los suelos	13
1.1.3.3 Propiedades mecánicas.....	25
1.1.3.4 Pavimentos	38
1.1.3.5 Diseño del Pavimento flexible.....	42
1.1.3.6 Correlaciones.....	56
1.1.4 Hipótesis.....	63
1.2 Objetivos.....	64
1.2.1 Objetivo General:.....	64

1.2.2	Objetivos Específicos:.....	64
CAPITULO II		65
2.1	Materiales y Equipos	69
2.2	Métodos	75
2.2.1	Plan de Recolección de Datos	75
2.2.2	Plan de Procesamiento y Análisis de Información.....	77
CAPITULO III.....		79
3.1	Análisis y discusión de los resultados.....	79
3.1.1.1	Correlaciones.....	88
3.1.1.2	Análisis del diseño del pavimento.....	110
3.2	Verificación de la hipótesis.....	119
CAPITULO IV.....		121
4.1	Conclusiones y recomendaciones	121
4.2	Recomendaciones	123
MATERIALES DE REFERENCIA		125
Referencia Bibliográfica		125
Anexos.....		1259

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de clasificación de suelos AASHTO	7
Tabla 2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	11
Tabla 3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	12
Tabla 4. Gravedad específica según el tipo de suelo.....	21
Tabla 5. Métodos de compactación estándar	24
Tabla 6. Métodos de compactación estándar	25
Tabla 7. Criterio de fallas Morh- Coulomb.....	27
Tabla 8. Relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción en suelos sin cohesión.....	28
Tabla 9. Valores de presión y penetración de la muestra patrón.....	32
Tabla 10. Clasificación de las capas el pavimento según el CBR%	33
Tabla 11. Factores de daño.....	44
Tabla 12. Factor de distribución por dirección (DD)	45
Tabla 13 Factor de distribución por carril.....	45
Tabla 14. Valores del nivel de confianza R de acuerdo al tipo de camino	46
Tabla 15. Desviación estándar normal	47
Tabla 16. Desviación estándar global	47
Tabla 17. Ecuaciones del módulo resiliente para la sub rasante	48
Tabla 18. Índice de serviciabilidad	49
Tabla 19. Calidad del drenaje.....	53
Tabla 20. Coeficientes de drenaje m ² , m ³	53
Tabla 21. Valores mínimos para la carpeta asfáltica y base.....	55
Tabla 22. Tabla del criterio de bondad de ajuste.....	58
Tabla 23. Ubicación geográfica de las calicatas	67
Tabla 24. Materiales, equipos y normas de los ensayos	69
Tabla 25. Ubicación geográfica de las vías en estudio	76
Tabla 26. Propiedades del suelo.....	82
Tabla 27. Propiedades del suelo.....	83
Tabla 28. Propiedades del suelo.....	84
Tabla 29. Correlaciones entre las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares.....	87

Tabla 30. Número de ejes equivalentes W18.....	111
Tabla 31. Datos para el cálculo del número estructural	112
Tabla 32. Valores para el diseño del pavimento flexible (CBR% laboratorio).....	113
Tabla 33. Cálculo de la estructura del pavimento	114
Tabla 34. Espesores de las capas del pavimento.....	115
Tabla 35. Datos para el cálculo del número estructural	116
Tabla 36. Valores para el diseño del pavimento flexible (CBR% obtenido con la correlación N°22).....	117
Tabla 37. Cálculo de las capas del pavimento	118
Tabla 38. Espesor de las capas del pavimento	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación del suelo según la AASHTO	6
Figura 2 Carta de plasticidad de la SUCS.....	10
Figura 3 Curva Granulométrica	17
Figura 4 Límite líquido y número de golpes.....	18
Figura 5 Envolvente de falla de Mohr y criterio de Mohr – Coulomb	27
Figura 6. Esquema del equipo DCP	34
Figura 7. Curva para una serie de datos, se aprecia tres capas diferentes.....	36
Figura 8 Composición del pavimento rígido.....	39
Figura 9. Estructura del pavimento flexible convencional	41
Figura 10. Clasificación funcional de las vías en base al TPDA	42
Figura 11. Monograma del coeficiente estructural a1.....	50
Figura 12. Monograma del coeficiente estructural a2.....	51
Figura 13. Monograma del coeficiente estructural a3.....	52
Figura 14. Números estructurales y espesores de las capas de un pavimento flexible	54
Figura 15. Relación entre dos variables, mediante una línea recta.....	57
Figura 16. Correspondencia entre dos variables descrita mediante una relación no lineal	57
Figura 17. D1 es la distancia del punto (X1, Y1) a la curva de mejor ajuste y Dn es la distancia del punto (Xn, Yn) a la curva de mejor ajuste	59
Figura 18. Pozo a cielo abierto.....	71
Figura 19. Densidad de Campo (Método del Cono y Arena de Ottawa).....	71
Figura 20. Dinamic Cone Penetrometer (DCP).....	72
Figura 21. Gravedad específica de sólidos.....	72
Figura 22. Granulometría.....	73
Figura 23. Límite Líquido (Copa Casagrande)	73
Figura 24. Límite Plástico.....	74
Figura 25. Proctor Modificado tipo B.....	74
Figura 26. California Bearing Ratio (CBR).....	75
Figura 27. Representación granulométrica de las muestras	85

Figura 28. Carta de plasticidad	86
Figura 29. Comparación entre las ecuaciones que relacionan el CBR y DCP.....	110
Figura 30. Ecuación de la AASHTO 93 (CBR% de laboratorio).....	112
Figura 31. Ecuación de la AASHTO 93 (CBR% obtenido por correlación).....	116

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: CORRELACIÓN ENTRE CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS AMBATILLO Y QUISAPINCHA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

AUTOR: Lesly Sofía Garzón Zapata

TUTOR: Ing. Favio Portillo

Se realizó el estudio de las propiedades físico mecánicas de los suelos granulares por medio de 12 calicatas realizadas en las parroquias Ambatillo y Quisapincha, en las cuales se efectuaron ensayos de campo Penetrometró Dinámico de cono (DCP) y densidad in situ, posterior a su ejecución se extrajo material para ser analizado en laboratorio.

A partir de los valores obtenidos de los ensayos se procedió a tabularlos de tal manera que nos permita plantar correlaciones de dos y tres variables (regresión lineal múltiple, regresión logarítmica múltiple y regresión potencial múltiple) entre el CBR en porcentaje respecto a las propiedades índice y mecánicas de los suelos, de las cuales serán presentadas las que proporcionen coeficientes de determinación superior al cincuenta por ciento.

El diseño de las capas del pavimento flexible será realizado mediante la norma AASHTO 93 con dos valores de CBR en porcentaje para la sub-rasante, el primero será el obtenido mediante el ensayo de laboratorio y otro con el determinado mediante la correlación entre el índice de penetración DN vs CBR en porcentaje

ABSTRACT SUMMARY

TEMA: CORRELATION BETWEEN INDEX AND MECHANICAL PROPERTIES WITH THE CBR OF GRANULAR SOILS FROM THE AMBATILLO AND QUISAPINCHA PARISHES, AMBATO CITY. TUNGURAHUA PROVINCE

AUTHOR: Lesly Sofía Garzón Zapata

TUTOR: Ing., Favio Portillo

The study of the physical and mechanical properties of the granular soils was carried out by 12 calicatas made in Ambatillo and Quisapincha parishes, that Penetrometro Dinamico de Cono (DCP) and in situ essays were made, subsequent his execution material was extracted to be analyzed in the lab.

From the essays values obtained it proceed to tab them in a way to let us saw correlations between 2 and 3 variables, (multiple linear regression, multiple logarithmic regression and multiple potencial regression) between CBR on percent respect index and soils mechanicals, of wich they onli will be presented those that provide 50 percent superior coeficent determination.

The flexible pavement layers design will be realized trough the AASHTO 93 norm with two CBR values in flush sub percent, the first is going to be obtained trough a lab essay and the other trough index DN vs CBR penetration in percent.

CAPITULO I.

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Antecedentes

Es importante tener en cuenta que las redes viales son uno de los pilares fundamentales para el desarrollo turístico, económico, social y productivo del país, permitiendo garantizar la competitividad y capacidad exportadora a su vez promover el desarrollo local y mejorar la calidad de vida para sus habitantes. [1]

Ecuador presenta limitaciones importantes en su infraestructura de transportes, ya que cuenta aproximadamente con el 36% de la red vial estatal y provincial pavimentada, y alrededor del 52% de la red vial nacional en condiciones sub óptimas de transitabilidad, que forman parte de los caminos terciarios y vecinales en su mayoría concentrados en la Sierra. [2]

Cabe recalcar que la infraestructura de transporte vial es la más utilizada en el movimiento de mercancías y personas en comparación con los otros medios disponibles en el país. [3]

En los últimos años algunos investigadores han correlacionado el valor del DCP respecto a las propiedades físico mecánicas de los suelos que permita determinar resultados confiables para el diseño de pavimentos, optimizando tiempo y recursos.

[4] a continuación se da a conocer algunas investigaciones que han realizado con el fin de establecer una correlación entre el CBR de laboratorio y DN.

El estudio realizado por Talal Al Refeai sobre la relación entre el CBR y el DCP revelo que existe un buen coeficiente de determinación (r^2) superior al 0,81 en los seis grupos de suelos, los mismo que se encuentran clasificados como CL, SM Y ML presentan un valor superior de r^2 sobre los suelos SP, y SP-SM, demostrando que el porcentaje de grave influye de manera directa sobre la correlación. [5]

La investigación realizada por Vuuren (1969) presenta una correlación amplia que es aplicable para todo tipo de suelos (granulares y cohesivos) así también existen expresiones enfocadas en un solo tipo de suelo como son las de Webter (1994) para suelos CH. [6]

1.1.2 Justificación

Ecuador dando cumplimiento al mandato de la constitución del 2008 a través del Ministerio de Transporte y Obras Públicas ha desarrollado e implementado planes estratégicos para su mejoramiento contando con una adecuada planificación, diseño, construcción y mantenimientos de redes viales, las que llegan a representar inversiones millonarias y se las lleva adelante con la aplicabilidad de normativas internacionales y naciones (Norma ecuatoriana vial NEVI-12) [7].

Bajo este contexto las Parroquias Rurales de Quisapincha y Ambatillo conjuntamente con las autoridades locales y provinciales se han enmarcado en el desarrollo comercial potenciando las redes viales como principal vinculo para la comercialización de los productos agropecuarios y ganaderos de la zona e impulsando el progreso urbano de sus cabeceras parroquiales.

Dentro de los ensayos primordiales para el diseño de pavimentos flexibles tenemos la relación de soporte de California (CBR), método empírico, [8] que permite conocer la capacidad de carga del suelo y sub suelo, permitiendo clasificarlo como material base en la construcción [9] siendo un factor imprescindible para determinar el espesor de capas, teniendo en cuenta que un valor bajo del CBR implica mayor espesor del pavimento y viceversa. [10]

Debemos tener en cuenta que el proceso que se requiera para realizar el ensayo y obtener los correspondientes valores de CBR implica un alto costo y demanda de tiempo por tal motivo se realizó un intento de correlacionar las propiedades del suelo y CBR a través de un análisis de regresión único y múltiple entre las propiedades índice del suelo y las características de compactación. [11]

El estudio realizado por Talukdar (2014) estableció una relación del valor de CBR del suelo en función de sus propiedades índices. Los valores de CBR con respecto a las propiedades del suelo reflejaron que su valor disminuye a medida que aumenta su índice de plasticidad y su valor se incrementa con el aumento del valor de la densidad seca máxima. Teniendo en cuenta que el margen de error registrado entre las correlaciones se encuentra entre 3.67% y 6.3%. [12]

El ensayo de cono dinámico de penetración (DCP) permite conocer la resistencia del suelo inalterado in situ, a través del índice de penetración definida por el grado de resistencia alcanzada en cada golpe. La norma colombiana ha adoptado una ecuación general que permita establecer una correlación teórica entre el DCP obtenido por cada golpe y el CBR, en base a la expresión recomendada por el cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de Norte América, permitiendo de esta manera economizar gastos en el diseño de pavimentos. [13]

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 Quisapincha y Ambatillo. Contribuyendo de esta forma a completar 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 Suelos

La tierra se encuentra formada por corteza de rocas geológicas proceso que han tomado algunos millones de años, el mismo que durante el transcurso del tiempo se ha desintegrado y descompuesto a causa de procesos de meteorización ocasionado por agentes atmosféricos entre ellos vientos fuertes, inundaciones y actividad glacial.

Secundario a los cambios climáticos, fluctuaciones de los niveles medios del mar, los periodos de erosión y transporte se ha producido la formación de depósitos que han sido renovados, repetidos e interrumpidos incontables veces en el transcurso de miles de años.

Por lo que se debe tener en cuenta que el lecho rocoso de nuestro planeta se encuentra cubierto por una acumulación de materiales sin cementación de espesores y naturalezas variables denominado suelo, en el estudio de la ingeniería.

El suelo superficial según su ubicación, características y proceso de meteorización ha logrado tener altos contenidos de humos lo que le permite resistir el crecimiento de

vegetación, este estrato es conocido como capa vegetal la misma que llega a alcanzar una profundidad de 50cm, que es retirada antes de realizar los trabajos ingenieriles. [14]

Clasificación de los suelos

Debido a la diversidad de suelos y su aplicabilidad, la mecánica de suelos los ha clasificado según el tamaño de sus partículas, cabe recalcar que no existe solo un sistema de clasificación, debido que el suelo es analizado de diferentes puntos de vista según el área de aplicación. [15]

Los sistemas de clasificación de la Asociación Americana de Funcionarios de Caminos Públicos (A.A.S.H.T.O) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S) son los más usados en la aplicación ingenieril la similitud de ambos sistemas, es que se basan [16] en los límites de Atterberg con respecto a sus límites líquido y plástico y un análisis granulométrico

Sistema de clasificación de la A.A.S.H.T.O.

Este sistema de clasificación fue desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928, se enfoca en el ámbito vial, diseño de subrasante, subbase, bases de carreteras y terraplenes.

La clasificación de los suelos se lo realiza mediante un índice de grupo, que nos permite conocer si el material es apto o no para la construcción de carreteras, a su vez los suelos son clasificados en 7 grupos, los tres primeros A-1, A-2, A-3 conocidos como materiales granulares son los que el 35% o menos de partículas pasan el tamiz

Nº200, los grupos A-4, A-5, A-6, A-7 conocidos como material fino (limo y arcilla) son suelos que más de su 35% de partículas pasan el tamiz Nº 200.

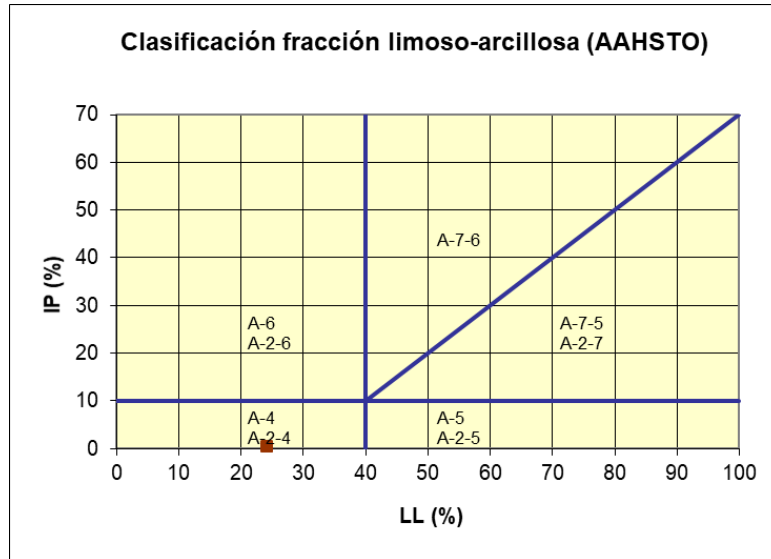


Figura 1. Clasificación del suelo según la AASHTO

Fuente: Geólogo Jordi González Boada

Los suelos orgánicos son los que se encuentran constituidos principalmente por la materia orgánica, este suelo forma parte del grupo A-8 que no se indica en la tabla Nº 1

Tabla 1. Sistema de clasificación de suelos AASHTO

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2-4				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentaje que pasa:											
N° 10 (2mm)	50 máx	-	-	-				-			
N° 40 (0,425mm)	30 máx	50 máx	51 mín	-				-			
N° 200 (0,075mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx				36 min			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40											
Límite líquido	-	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				

Fuente: Geólogo Jordi González Boada

Criterios de clasificación:

1. Tamaño del grano

Cantos Rodados: Son partículas de rocas producidos por abrasión, no pasan el tamiz de 3" (75mm).

Grava: Fracción que pasa el tamiz de 75mm y retenida en el N°10 (2mm)

Arena: Fracción que pasa el tamiz N°10 (2mm) y retenido en el tamiz N°200 (0,075mm)

Limo y Arcilla: Partículas que pasa el tamiz N° 200 (0,075mm)

2. Plasticidad:

Existe un rango de plasticidad que permite diferenciar los suelos limosos de los arcillosos, son considerados como limos cuando su índice de plasticidad es menor o igual a 10, si su valor es igual o mayor a 11 se denomina arcilla

- 3.** El suelo a considerar debe pasar por el tamiz 3" (75mm), si existe la presencia de partículas de mayor tamaño deben ser retiradas de la muestra, pero su porcentaje debe ser tomado en cuenta

Índice de grupo (IG)

Su valor permite valorar la calidad del suelo, se encuentra escrito entre paréntesis posterior de la designación del grupo o subgrupo.

La ecuación empírica del índice de grupo es:

$$IG = (F_{200} - 35) - [0.2 + 0.005 * (LL - 40)] + 0.01 * (F_{200} - 15) * (IP - 10)$$

Donde:

F₂₀₀ = Porcentaje que pasa el tamiz N° 200

LL = Límite líquido

IP = Índice de plasticidad

Si el valor del índice de grupo es igual a cero, se considera que el suelo es bueno para la construcción de carreteras, si su valor es igual o mayor a 20 se considera malo [16]

Sistema unificado de clasificación de suelos S.U.C.S.

La clasificación fue presentada por Arthur Casagrande, dividiendo principalmente en dos grupos el primero correspondiente a los suelos gruesos son los que más del 50% del material quedan retenidos en el tamiz N°200 por consiguiente los suelos finos son los que más del 50% de sus partículas son menores al tamiz N° 200.

Los suelos son designados por símbolos de grupo, el mismo que consta de prefijo y sufijo. Los prefijos corresponden a las iniciales de los 6 principales tipos de suelo que son: grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turba, los sufijos corresponden a las subdivisiones en los grupos [15].

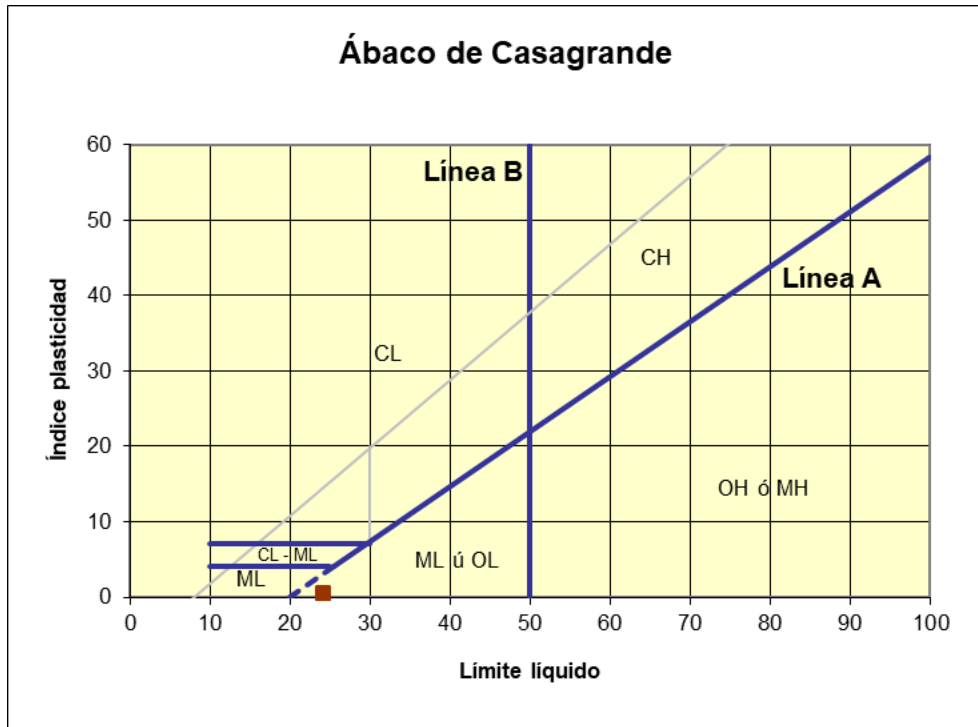


Figura 2 Carta de plasticidad de la SUCS

Fuente: Geólogo Jordi González Boda

Tabla 2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

DIVISIONES PRINCIPALES			SÍMBOLOS DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
VBNMSU ELOS 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.	Cu=D ₆₀ /D ₁₀ >4 Cc=(D ₃₀) ² /D ₁₀ xD 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.		Cu=D ₆₀ /D ₁₀ >6 Cc=(D ₃₀) ² /D ₁₀ xD 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.	

Fuente: Manual de Laboratorio de Joseph Bowles

Tabla 3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

DIVISIONES PRINCIPALES		SÍMBOLOS DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS
SUELOS DE GRANO FINO Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	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 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.
Suelos muy orgánicos		PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.

Fuente: Manual de Laboratorio de Joseph Bowles

1.1.3.2 Propiedades índice de los suelos

Contenido de Humedad (W%)

Es la relación entre el peso del agua del suelo y el peso de su fase sólida, su valor se lo expresa en porcentaje.

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

$$w\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde

w% = Contenido de Humedad

W_w = Peso del agua

W_s = Peso de sólidos

El contenido de humedad no tiene como límite el 100%, [17] en suelos arenosos y gravas su valor oscila entre el 15 y 20%, en las arcillas y limos es de 50 a 80%, en turbas y suelos orgánicos alcanzan el 500% [16].

Grado de saturación de agua (Gw%)

Es la relación entre el volumen de agua y el volumen de sus vacíos, su valor es expresado en porcentaje.

$$Gw\% = \frac{V_w}{V_v} * 100$$

Donde

$G_w\%$ = *Grado de saturación de agua en porcentaje*

V_w = *Volumne de agua*

V_v = *Volumen de vacíos*

Su valor se encuentra entre cero (0%) en suelos totalmente secos y cien (100%) en suelos totalmente saturados [17]

Porosidad (n)

Es la relación que existe entre el volumen de vacíos y el volumen total del suelo [18] su valor es adimensional y se expresa en porcentaje, el mismo que no debe pasar del 100 % [14].

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

Donde:

V_v = *Volumen de vacíos*

V = *Volumen total del suelo*

Relación de vacíos

Es la relación que existe entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos, su valor es adimensional y se expresa en porcentaje [18].

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

Donde:

V_v = Volumen de vacíos

V_s = Volumen de sólidos

Las propiedades de porosidad y relación de vacíos se encuentran definidas por las siguientes correlaciones:

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

$$e = \frac{n}{1 - n}$$

En suelos granulares existen rangos en lo referente a la relación de vacíos y porosidad que dependen la organización de las partículas del suelo. El máximo volumen de vacíos es $e = 0,91$ y porosidad $n = 47,6\%$ correspondiente al estado más suelto; y su volumen mínimo es $e = 0,35$ y porosidad $n = 26\%$ presente en el estado más denso teniendo en cuenta que la relación máxima de vacíos es obtenida en laboratorio. [14]

Granulometría

Los suelos gruesos como gravas y arenas inciden de manera directa con las propiedades índices e hidráulicas, por lo que es necesario conocer la distribución de partículas a través de tamices.

El método de análisis granulométrico consiste en seleccionar una muestra representativa del suelo en estudio, el mismo que será separado por rangos de tamaño que nos permitirá obtener una información técnica y completa del material como son:

Tamaño nominal máximo (TNM): Es el grupo de partículas que alcanzó el 5% del total de la muestra

Diámetro efectivo (D10): Es representado en milímetros y corresponde al tamaño del grupo de partículas que representa el 10% del material que pasa

Diámetro equiparable (D30): Es representado en milímetros y representa el 30% del material que pasa.

Diámetro dimensional (D60): Es representado en milímetros y corresponde al 60% del material que pasa.

Coefficiente de uniformidad (Cu) Si su valor es superior a 3 el suelo se encuentra bien graduado, si resulta menor a 3 significa que el material no se está bien graduado o resulta ser uniforme [17]

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

Cu = Coeficiente de uniformidad

D₆₀ = Diámetro dimensional

D₁₀ = Diámetro efectivo

Coefficiente de curvatura (Cc) Es el coeficiente que nos permite establecer la graduación del suelo, su valor debe oscilar entre 1 y 3; si se encuentra fuera de lo establecido revela que el material se encuentra uniformemente distribuido o mal graduado.

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Donde:

Cc = Coeficiente de curvatura

D_{30} = Diámetro equiparable

D_{60} = Diámetro dimensional

D_{10} = Diámetro efectivo

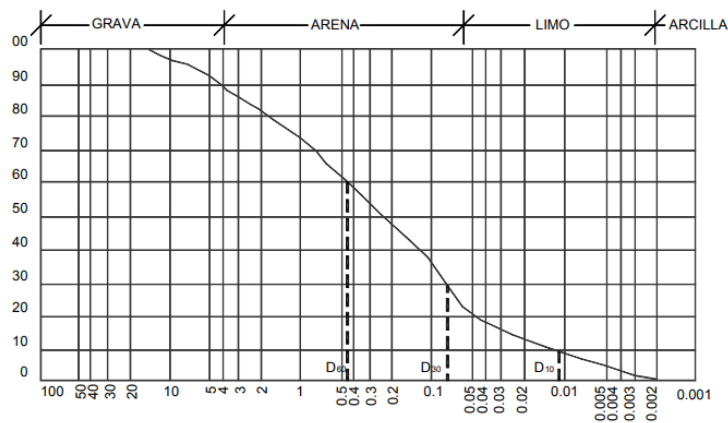


Figura 3 Curva Granulométrica

Fuente: Juan Pérez Valcárcel

Densidad seca máxima – Humedad óptima

La compactación es un proceso dinámico que permite incrementar la resistencia del suelo disminuyendo su compresibilidad, teniendo en cuenta que el peso volumétrico varía según su contenido de humedad. [19]

El grado de compactación del suelo es medido en términos de su peso unitario seco, los ensayos de Proctor Estándar y Modificado son los más utilizados para establecer el peso volumétrico máximo o máxima densidad y el contenido de humedad óptimo. [16]

Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg permiten delimitar los estados de consistencia entre los límites líquidos, plásticos y de retracción del suelo en función del contenido de humedad permitiendo de esta manera su identificación y clasificación

Límite líquido (L_I)

Es el contenido de humedad del suelo en relación con el peso de la muestra secada en el horno, el límite se encuentra entre los estados semilíquido y plástico. [18]

La determinación del límite líquido se lo realiza en laboratorio con el método de la copa de Casagrande, el ensayo se basa en determinar la cantidad mínima de agua que puede tener el suelo seco que pasa el tamiz N° 40, el mismo que nos permitirá graficar la curva de escurrimiento, en el eje de las abscisas se representa el número de golpes en escala logarítmica y en el eje de las ordenadas el contenido de humedad en escala aritmética, se debe trazar una línea recta que pasa a través de los 3 o más puntos obtenidos. [17]

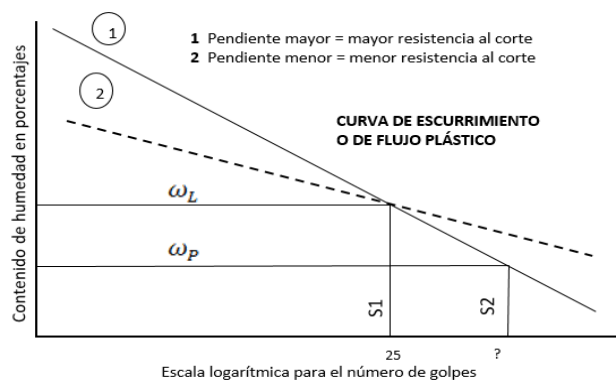


Figura 4 Límite líquido y número de golpes

Fuente: Mecánica de suelos de Juárez Badillo

El límite líquido es el contenido de humedad que corresponde a la ordenada de los 25 golpes; lo que indica que el suelo alcanza su resistencia al corte. El número de golpes debe encontrarse en el rango de 10 a 50, pero nunca a los 25 golpes.

$$0 < S \leq 0,25 \frac{gr}{cm^2}$$

La pendiente formada por los puntos indica la resistencia al corte de los suelos finos, una pendiente pronunciada revela una alta resistencia mientras la pendiente mínima indica una menor resistencia. [17]

Límite plástico (L_p)

Es el contenido de agua promedio de la muestra de suelo que se determina al realizar pequeños cilindros que alcancen un diámetro de 3mm, y los mismo empiecen a resquebrajarse. [19] el ensayo se lo realiza de manera manual sobre una placa de vidrio. El límite plástico se encuentra entre los estados plásticos y semisólidos.

Índice plástico (I_p)

Es la diferencia numérica entre los límites líquido y plástico de un suelo cohesivo

$$I_p = L_l - L_p$$

Donde:

I_p = Índice plástico

L_l = Límite líquido

L_p = Límite plástico

Se debe tener en consideración las siguientes excepciones:

1. Si el límite líquido o plástico no puede ser determinado, se considera al Ip no plástico (NP).
2. En el caso de que el suelo sea muy arenoso, primero se debe calcular el límite plástico, si su valor no puede ser determinado se indica al suelo como no plástico.
3. Si el límite plástico es igual o mayor al límite líquido se determina el Ip como no plástico.

Gravedad específica (Gs)

Es la relación entre los pesos específicos de los sólidos y el agua; conocido como densidad específica de sólidos, la misma que es determinada experimentalmente mediante procedimientos normados por la ASTM D 854-92 [20]

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

En la tabla N°4 se encuentran valores típicos correspondiente a diferentes tipos de suelos

Tabla 4. Gravedad específica según el tipo de suelo

Tipo de Suelo		Gravedad específica Gs
Inorgánico	Grava	2,65
	Arena gruesa media	2,65
	Arena fina (limosa)	2,65
	Loess, polvo de piedra y limo arenoso	2,67
Inorgánico	Arena algo arenosa	2,65
	Limo arenoso	2,66
	Arena arcillosa	2,66-2,70
	Limo arcillo arenoso	2,67
	Arcilla arenosa	2,67
	Arcilla limosa	2,75
	Arcilla	2,72 - 2,80
Orgánico	Limos con trazos de materia orgánica	2,30
	Lodos aluviales orgánicos	2,13 - 2,60
	Turba	1,50 - 2,15

Fuente: Djoenaidi(1985) apud Bardet 1997

Densidad de campo

El ensayo de cono y arena es un método destructivo que permite determinar las densidades húmedas, secas y el contenido de humedad del suelo compactado con la finalidad de establecer el grado de compactación al ser comparado con la densidad máxima de laboratorio. [16]

Compactación

La compactación del suelo es el proceso de densificación del mismo a través de medios mecánicos, el mismo que toma importancia en el año de 1906 con la aplicación del

rodillo pata de cabra. El ensayo de compactación tiene como fin mejorar las propiedades ingenieriles como son:

- ✓ El incremento de la resistencia a corte, mejorando la estabilidad de terraplenes y su capacidad de carga en cimentaciones y pavimentos
- ✓ Reducción de asentamientos por medio de la disminución de su compresibilidad
- ✓ Reducción de permeabilidad al reducir la relación de vacíos
- ✓ Reducción del potencial de expansión y contracción por congelamiento [14]

Con el paso de los años y la importancia del ensayo las organizaciones enfocadas al diseño y construcción de terraplenes han establecido normas para la ejecución de la prueba de compactación dinámica variando el número de golpes, número de capas de suelos en su interior y altura de caída del pistón entre otros.

La modificación del ensayo y su normalización han dado como resultado diferentes pesos volumétricos máximos y humedades optimas, correspondiente a la energía de compactación por unidad de volumen del suelo. [15]

Energía de compactación

Es la energía dinámica específica que recibe el suelo, se debe tener en consideración que el incremento de la energía de compactación proporciona un aumento en el peso volumétrico seco máximo y a su vez disminución en el contenido óptimo de humedad por tal motivo es necesario especificar el estándar de compactación en la realización del ensayo.

$$E = \frac{W * H * N * n}{V}$$

Donde:

E = Energía específica de compactación kg – cm/cm³

W = Peso del pistón en Kg

H = altura de caída

N = Número de golpes por capa

n = número de capas

V = volumen del suelo compactado

Compactación en laboratorio

La compactación del suelo en laboratorio radica en compactar un suelo con una determinada humedad en moldes cilíndricos normalizados con una energía de compactación especificada. Entre los diferentes ensayos de compactación que se puede realizar tres son basadas en normas británicas y dos en normas de Estados Unidos [14]

Prueba del proctor

El ensayo permite replicar en laboratorio la compactación uniforme del suelo desde su capa inferior a la superior, permitiendo de esta manera determinar el peso volumétrico máximo del suelo y su humedad óptima, a la misma que se debe procurar realizar la compactación en campo ya que facilita el acomodo de las partículas del suelo con el menor trabajo del equipo de compactación.

El ensayo se encuentra limitado a los suelos que pasan totalmente el tamiz N°4 o el porcentaje máximo retenido sea del 10% el mismo que debe pasar en su totalidad el tamiz 3/8”, si el suelo no cumple con las condiciones mencionadas su humedad óptima y peso volumétrico máximo serán determinadas por medio del ensayo de Porter estándar. [15]

Proctor estándar

El ensayo de Proctor estándar es el más utilizado en suelos friccionantes, grava – arenosos, arena – limosos y limosos no plásticos, se compone de cuatro métodos descritos en la tabla N°5

Norma: Proctor Estándar AASHTO T -99

Pison: Martillo cilíndrico de 5,5lb

Impacto: Altura de caída de 12"

Tabla 5. Métodos de compactación estándar

Métodos	A	B	C	D
Material que pasa	Tamiz N° 4	Tamiz N° 4	Tamiz 3/4"	Tamiz 3/4"
Diámetro del molde	4"	6"	4"	6"
Número de capas	3	3	3	3
Número de golpes	25	56	25	56
Volumen estándar	1/30 pie ³	1/13,33 pie ³	1/30 pie ³	1/13,33 pie ³
Energía de compactación	12,375 lb pie/pie ³			

Fuente: Mecánica de suelos Ing. Lorena Perez Maldonado

Proctor Modificado

El ensayo de Proctor modificado tiene cuatro métodos que son descritos en la tabla N° 6, se usa en suelos friccionantes grava – arenosos, arena – limosos y limosos no plásticos.

Norma: Proctor Estándar AASHTO T -180

Pison: Martillo cilíndrico de 10 lb

Impacto: Altura de caída de 18"

Tabla 6. Métodos de compactación estándar

Métodos	A	B	C	D
Material que pasa	Tamiz N° 4	Tamiz N° 4	Tamiz 3/4"	Tamiz 3/4"
Diámetro del molde	4"	6"	4"	6"
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes	25	56	25	56
Volumen estándar	1/30 pie ³	1/13,33 pie ³	1/30 pie ³	1/13,33 pie ³

Fuente: Mecánica de suelos Ing. Lorena Perez Maldonado

Cabe recalcar que entre los ensayos de compactación Proctor estándar y modificado es que para el primero se requiere un contenido de humedad más alto para alcanzar la humedad óptima y su máxima densidad en comparación con el Proctor modificado. [17]

1.1.3.3 Propiedades mecánicas

Resistencia mecánica del suelo

Es la resistencia interna por unidad de área que la masa del suelo presenta al deslizamiento y falla a lo largo de cualquier plano en su interior.

Los principios de la resistencia al cizallamiento del suelo permiten analizar problemas como [21]:

- Estabilidad de taludes de origen humano o natural

- Capacidad de carga de pozos perforados y pilotes
- Capacidad de carga de cimentaciones superficiales

Las principales pruebas para la resistencia al corte del suelo determinada en laboratorio son:

- Prueba de corte directo
- Prueba triaxial

Falla de Mohr – Coulomb

La teoría presentada por Mohr en 1900 sobre la ruptura de los materiales define que la falla es producto de la combinación crítica del esfuerzo normal y cortante, la relación funcional entre los esfuerzo normal y cortante en un plano de falla es:

$$T_f = f(\sigma)$$

Donde:

T_f = Esfuerzo cortante en el plano de fallo

σ = Esfuerzo normal en el plano de falla

En mecánica de suelos la ecuación que se utiliza es el criterio de falla de Mohr-Coulomb la misma que describe el esfuerzo cortante sobre un plano de falla en función lineal del esfuerzo normal:

$$T_f = c + \sigma * \tan \phi$$

Donde:

c = cohesión

ϕ = ángulo de fricción interna

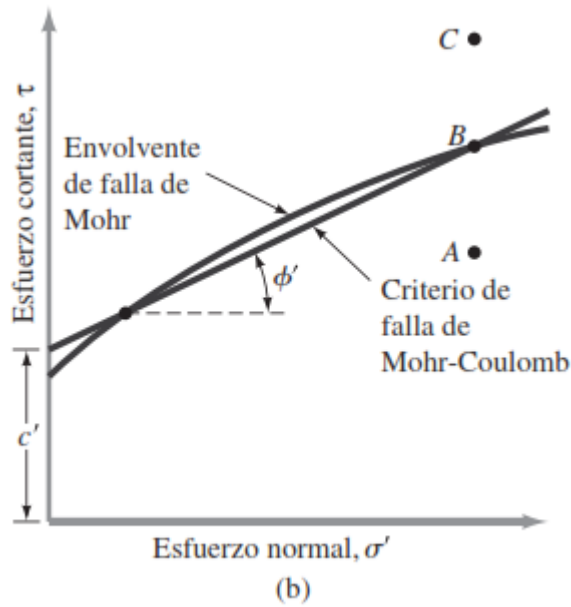


Figura 5 Envolvente de falla de Mohr y criterio de Mohr – Coulomb

Fuente: Fundamentos de ingeniería Geotécnica Braja M. DAS

Tabla 7. Criterio de fallas Morh- Coulomb

Puntos	Significado
A	La falla de cizalla o corte es produce a lo largo del plano
B	La falla se encuentra sobre la envolvente
C	La de corte ya se ha producido sobre el terreno

Fuente: Lesly Garzón

La tabla 8, establece la relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción en suelos sin cohesión [21]

Tabla 8. Relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción en suelos sin cohesión

Estado de empaquetamiento	Densidad relativa (%)	Ángulo de fricción ϕ (grados)
Muy suelto	< 20	< 30
Suelto	20 - 40	30 - 35
Compacto	40 - 60	35 - 40
Denso	60 - 80	40 - 45
Muy denso	> 80	> 45

Fuente: Fundamentos de ingeniería Geotécnica Braja M. DAS

Según las características de corte de los suelos están clasificados en:

- Suelos friccionantes
- Suelos cohesivos

Resistencia al corte de suelos friccionantes

Los suelos que se encuentran en esta categoría son las gravas, arenas y limos no plásticos, que se encuentran expresados por la ecuación:

$$s = \sigma * \tan \phi$$

Donde:

s = resistencia al corte

σ = Esfuerzo normal en el plano de falla

ϕ = ángulo de fricción interna

La expresión establece que la resistencia en un plano hipotético de falla es proporcional al esfuerzo normal efectivo actuante en el plano. [19] El valor del ángulo ϕ depende principalmente de la densidad relativa del suelo, de su distribución

granulométrica y la forma de sus granos, teniendo en cuenta que la resistencia al corte proviene del enlace entre sus granos los valores ϕ muestran pequeñas variaciones entre el suelo seco y húmedo. En la tabla N°9 se presenta valores característicos de ϕ para presiones efectivas (ρ) menores a 5 kg/cm^2 [18]

Tabla 9. Valores de ϕ

Materiales	Grados	
	Suelto	Denso
Arena, granos redondos, uniformes	27,5	34
Arena, granos angulares, bien graduados	33	45
Gravas arenosas	35	50
Arena limosa	27 - 33	30 - 34
Limo inorgánico	27 -30	30 - 35

Fuente: Fundamentos de ingeniería Geotécnica Braja M. DAS

Resistencia al corte de suelos cohesivos

Los suelos que se encuentran en la presente categoría son las arcillas y limos plásticos [18], los mismos que al encontrarse sin presión normal exterior apreciable presentan características de resistencia a los esfuerzos cortantes. [19]

El ingeniero francés Coulomb en 1776 estable la ecuación que permite calcular la resistencia al corte en suelos que presentan una relación de resistencia cohesiva y friccionante.

$$s = c' + \sigma' * (\tan \phi')$$

Donde:

s = resistencia al corte

c' = cohesión efectiva

σ' = Esfuerzo normal efectivo de corte

ϕ' = ángulo de fricción efectivo

Existen dos tipos de cohesión:

- Cohesión verdadera
- Cohesión aparente

Se refiere a cohesión verdadera cuando el vínculo entre las partículas del suelo depende de la atracción electrostática y cementación.

La cohesión aparente es la resistencia adicional al corte originado por el fenómeno de capilaridad que presentan los suelos sobre el nivel freático, la presión que se presenta lo poros incrementa su resistencia al corte, la misma que desaparece cuando el suelo sumergido o desecado en su totalidad. [16]

Relation de soporte de california CBR

El ensayo de california (CBR) fue planteado en el año de 1929 por el ingeniero O. J. Portere y adoptado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de Norteamérica, el Departamento de Carreteras de California y algunos organismos técnicos de carreteras, por motivo de que su valor es imprescindible en el diseño de pavimentos flexibles.

En los pavimentos flexibles gran parte de fallas son originadas por desplazamientos, conocido como falla a corte de los materiales que conforman las capas del mismo, por tal motivo se debe realizar ensayos que nos permita conocer la resistencia a corte del suelo a través de un ensayo de corte directo de prueba triaxial con la medición de la resistencia a la penetración del material. [22]

El ensayo C.B.R. permite conocer la resistencia al esfuerzo cortante que presenta el suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, su valor es expresado en porcentaje como la razón de la carga unitaria requerida para introducir un pistón dentro del suelo, [23] es importante mencionar que es un método empírico que se encuentra sustentado por trabajos investigativos desarrollados en laboratorio y en sitio permitiendo considerar al ensayo de CBR como uno de los mejores métodos prácticos. [22]

$$\%CBR = \frac{\text{Carga unitaria de ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} * 100$$

El comportamiento de los suelos se encuentra en función de su granulometría, características físicas y grado de alteración por lo cual el método para determinar el C.B.R. varía según el tipo de suelo. [16]

- Suelos perturbados y remoldeados
- Gravas y Arenas
- Suelos cohesivos poco plásticos y poco o nada plásticos
- Suelos cohesivos y expansivos
- Suelos inalterados
- CBR in-situ

El valor de CBR utilizado en el diseño es el obtenido para la penetración 0,1 o de 0,2 pulgadas; entre los dos valores se elige el mayor. [24]

Tabla 10. Valores de presión y penetración de la muestra patrón

Penetración (<i>plg</i>)	Carga Unitaria Patrón (<i>lb/ plg²</i>)
0,1	1000
0,2	1500
0,3	1900
0,4	2300
0,5	2600

Fuente: Pavimentos Materiales Construcción y Diseño, Bogotá: ECOE, 2015.

Las muestras a ensayarse para determinar el valor de CBR deben ser sumergidas en agua mínimo por un periodo de 96 horas, a las que se les coloca pesas con el fin de simular las cargas vehiculares y de la estructura del pavimento que debe soportar el suelo obteniendo de esta manera el valor del ensayo de california en condiciones de saturación a los cuales van a estar sometidos los suelos de la sub-rasante de la carretera. [25]

El ensayo C.B.R. permite establecer una relación entre el comportamiento de los suelos y la utilización del mismo como sub-rasante o base en pavimentos y aeropistas. [15]

Tabla 11. Clasificación de las capas el pavimento según el CBR%

C.B. R.	Clasificación
0-5	Sub-rasante muy mala
5-10	Sub-rasante mala
10-20	Sub-rasante regular a buena
20-30	Sub-rasante muy buena
30-50	Sub base buena
50-80	Base buena
80-100	Base muy buena

Fuente: Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2010

El ensayo de penetración sobre la muestra saturada tiene como finalidad:

- Conocer la expansión esperada del suelo saturado bajo la estructura del pavimento
- Indicar la pérdida de resistencia a causa de la saturación en el campo

El ensayo de penetración es realizado en la máquina de compresión utilizando una tasa de deformación unitaria de 0,5 plg/min [16]

Penetrometró Dinámico de cono DCP

Dynamic Cone Penetrometer conocido por sus siglas en ingles DCP es un ensayo no destructivo, de naturaleza empírica, desarrollado en Sudáfrica en los años 70, los trabajos de Kleyn, Savage, Maree, Van Heerden y Rossouw presentaron el ensayo a la comunidad internacional de Europa en los años 1981 y 1982.

El método valora de manera indirecta la capacidad de soporte en-situ de los suelos de sub-rasante y de los materiales de sub-base, también permite valorar la resistencia de materiales ligeramente cementados.

El ensayo DCP mide la resistencia que opone el material a la penetración de un cono de acero con un diámetro de 20 mm, el mismo que se introduce en el pavimento o la sub-rasante a base de golpes con un martillo a una altura especificada, la penetración se registra por golpe (mm/golpe).

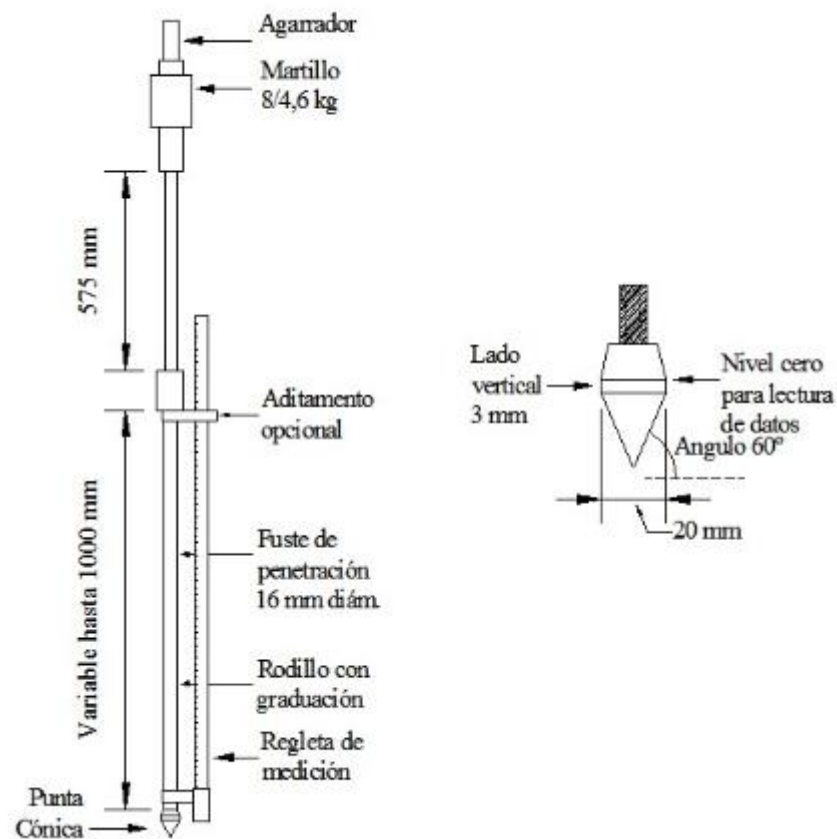


Figura 6. Esquema del equipo DCP

Fuente: ASTM D 6951-03

Aplicaciones del ensayo de penetración dinámica de cono DCP.

- Evaluación de las capas de pavimento y sub rasante.
- Control de la construcción de las capas del pavimento y mejoramiento de la sub rasante.
- Comprobación de la eficiencia de los equipos de compactación en obra.
- Permite evaluar la capacidad de soporte in-situ de la capa construida.
- Evaluación de la resistencia de suelos compactados o inalterados.
- Identificación de tramos homogéneos con características estructurales similares. [26]

Entre las ventajas del ensayo DCP se encuentra su bajo costo de operación y la alta repetibilidad de los resultados. [27]

El ensayo permite conocer las propiedades del material hasta una profundidad de 1000mm (1m) por debajo de la superficie, el DCP de 8kg es utilizado para estimar parámetros de soporte de suelos finos, gruesos, estabilizaciones pobres y materiales granulares de construcción, se debe tener en cuenta que el DCP de 8kg no puede ser utilizado en materiales granulares con un alto porcentaje de agregados mayores a 50mm (2") en materiales altamente estabilizados o cementados.

Los datos obtenidos por medio del DCP en campo permiten llegar a una estimación del CBR in-situ a través de correlaciones establecidas, se debe tener en cuenta que no existe una correlación directa con el CBR de laboratorio en condición saturada. Por tanto, el ensayo permite evaluar la resistencia de los materiales en el sitio bajo las condiciones existentes. [28]

Los resultados obtenidos del ensayo de campo DCP se los analiza por medio de la curva DCP, índice de Penetración o número DN, y el diagrama estructural.

Curva DCP

Es la representación gráfica del número de golpes acumulados en el eje de las abscisas en función de la penetración acumulada en el eje de las ordenadas. La curva representa el número de capas y el cambio de su pendiente indica la resistencia de cada una de ella. [28]

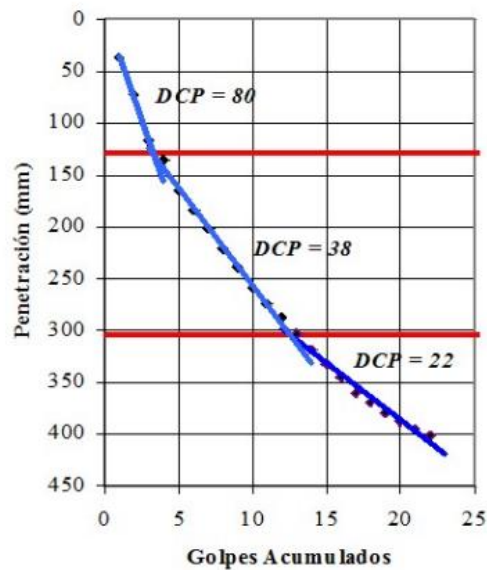


Figura 7. Curva para una serie de datos, se aprecia tres capas diferentes

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

Número DCP o índice de penetración (DN)

El índice de penetración representa la pendiente de la recta, mientras menor sea esta indica mayor resistencia del suelo. Este número define la penetración del DCP a través de una capa específica que se expresa en mm/golpe

Diagrama estructural

Se encuentra deriva de la curva DCP, la profundidad se encuentra representada en las ordenadas y el valor del DN en las abscisas, si su número es constante representa una uniformidad de las propiedades del suelo entre ellas se encuentra la densidad y contenido de humedad, la variación representa un cambio de capa o de material.

Con la finalidad de los datos ser aplicados en el diseño de pavimentos en 1978 Transvaal Roads Department -TPA desarrollo un conjunto de curvas directrices que sean capaces de indicar la capacidad soportante de pavimentos sometidos a diferentes condiciones de tráfico como son ligera, mediana y severa para al ser comparadas con los sondeos del DCP se pueda estimar la profundidad a la cual el material natural pueda actuar como elemento estructural del pavimento. [28]

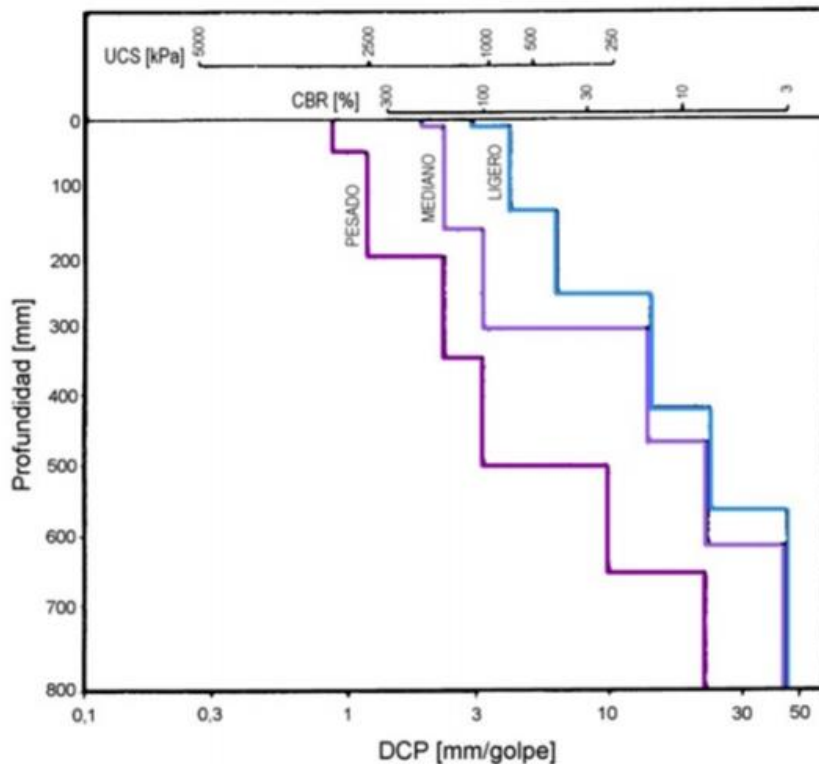


Figura 8. Curvas estructurales DCPs, para tráfico liviano, mediano y pesado

Fuente: Transvaal Roads Department – TPA, 1978

1.1.3.4 Pavimentos

Es la superficie de la carretera por la que se circula, debe ofrecer confort y seguridad al usuario independientemente de la condición climática, [7] la finalidad de su estructura es absorber y disipar las cargas vehiculares evitando de esta manera que se afecte el comportamiento de la sub rasante.

La capa de rodadura puede ser rígida o flexible, que se encuentra sobre capas de material granular el espesor de la estructura del pavimento pende de la resistencia y calidad de la sub rasante. [29]

Los pavimentos se clasifican en:

- Pavimentos rígidos
- Pavimentos semirrígidos
- Pavimentos flexibles

Pavimentos Rígidos

Se encuentra formado por losas de hormigón simple o reforzado sobre una capa de material granular denominada sub base, debido a su alta rigidez las losas de hormigón resisten a flexión las cargas vehiculares disipando su efecto en el suelo bajo la sub rasante.

El pavimento rígido se encuentra formado de la siguiente manera [30]:

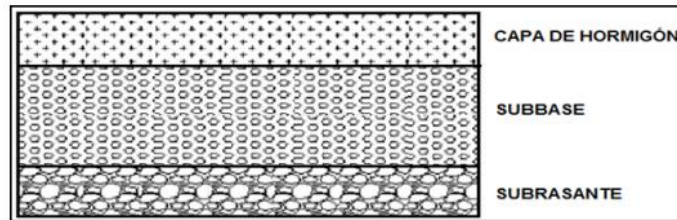


Figura 8 Composición del pavimento rígido

Fuente: Metodologías de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo tránsito

Pavimentos semirrígidos

Conocido también como pavimento compuesto, se encuentra formado por pavimentos rígido y flexible, por lo general la superficie de rodadura es de concreto asfáltico y su base es de cemento portland o concreto.

Los ligantes hidráulicos de cemento utilizados para la estabilidad del suelo facilita la obtención de materiales con alta capacidad de soporte permitiendo que la estructura del pavimento esté sujeta a cargas pesadas como son camiones y aeronaves. [31]

Pavimentos Flexibles

Se encuentra formada por una mezcla bituminosa apoyada sobre dos capas no rígidas conocidas como base y sub base [29], soportando las solicitaciones del tránsito, los esfuerzos horizontales y parte de los verticales son absorbidos por la carpeta asfáltica.

El pavimento flexible se encuentra formado por la carpeta asfáltica, base y sub base las que se encuentran construidas sobre la capa sub rasante.

Carpeta Asfáltica

El revestimiento asfáltico o capa de rodadura cumple con las siguientes funciones:

- Impermeabilizar el pavimento evitando que las capas subyacentes pierdan la capacidad de soporte.
- Proveer que la superficie de rodadura sea resistente a los deslizamientos.
- Disminuir las tensiones verticales ejercidas por la carga sobre la capa base permitiendo de esta manera controlar la acumulación de deformaciones plástica que se presentan en la misma. [30]

Base

La capa base está ubicada por debajo de la capa de rodadura y cumple con las siguientes funciones:

- Permite el drenaje del agua infiltrado en el pavimento por medio de drenajes laterales longitudinales.
- Reducción de deformaciones de tracción.
- Reducción de las tensiones verticales ejercidas por las cargas sobre las capas de sub-base y suelo natural.

Sub-base

Se encuentra ubica sobre la capa sub-rasante y debajo de la base, su función es brindar un apoyo permanente y uniforme al pavimento, su capacidad de soporte es superior a

la del suelo compactado, permitiendo de esta manera la reducción del espesor de la capa base [30]



Figura 9. Estructura del pavimento flexible convencional

Fuente: Metodologías de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo tránsito

Clasificación Funcional de las vías

Las carreteras del país se encuentran clasificadas por:

- Capacidad (Función del TPDA)
- Jerarquía de la red vial
- Condiciones Orográficas
- Número de calzadas
- Función de la superficie de rodamiento

Clasificación por capacidad funcional del TPDA

Las carreteras han sido clasificadas de acuerdo al volumen de tráfico que se estima procesar o el año de diseño u horizonte, las mismas que deberán ser diseñadas según sus características funcionales y geométricas. [32]

Clasificación Funcional de las Vías en base al $TPDA_d$			
Descripción	Clasificación Funcional	Tráfico Promedio Diario Anual ($TPDA_d$) al año de horizonte	
		Limite Inferior	Limite Superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovia o Carretera Multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

Figura 10. Clasificación funcional de las vías en base al TPDA

Fuente: Manual NEVI-12-volumen 2^a

Donde:

$TPDA_d$ = Años de inicio de estudio + años de licitación, construcción + años de operación.

C1 = Carretera de mediana capacidad

C2 = Carretera convencional básica y camino básico

C3 = Camino agrícola / forestal

1.1.3.5 Diseño del Pavimento flexible

Los métodos de diseño de un pavimento flexible se encuentran basados en ensayos de suelo de la sub rasante, la influencia de factores atmosféricos (lluvia, clima, altitud, etc.), la calidad de los materiales de afirmado y el análisis del tráfico presente y futuro.

Método de la AASHTO 93

El método se basa en determinar el número estructural (SN) que debe soportar el nivel de carga requerido por el proyecto, su valor permite definir el espesor total de la estructura y los espesores individuales de cada una de sus capas (superficie, base y sub base) a través de coeficientes de la resistencia relativa de los materiales de construcción. [33]

Ecuación de la AASHTO

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_0 + 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,2 + \frac{\log_{10} * \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1090}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} M_R - 8,07$$

Dónde:

W18 = Número de cargas de ejes equivalentes de 18 kips (80 kN) calculadas conforme al tránsito vehicular.

Z_R = Factor de desviación estándar para un nivel de confiabilidad R

S₀ = Desviación estándar

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

M_R = Módulo de resiliencia efectivo de la sub rasante

SN = Número estructural

Variables del método de la AASHTO

Periodo de Diseño

Es el tiempo en el que la estructura del pavimento va a satisfacer las exigencias de servicio sin requerir actividades de rehabilitación, el periodo de diseño recomendado por la AASHTO se encuentra 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, pavimentación con grava	10.- 20

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

El periodo de diseño de la vía en estudio es de 20 años, ya que es de baja intensidad.

Factores de daño

La norma MOP 2003 establece los factores de daño que ocasiona los diferentes tipos de vehículos.

Tabla 12. Factores de daño

Tipo	Simple		Simple Doble		Factor de daño
	Tons	(P/6,6)⁴	Tons	(P/8,2)⁴	
BUS	4	0,13	8	0,91	1,04
2DA- Camión de dos ejes mediano	7	1,26			1,31
	3	0,04			
2DB- Camión de dos ejes grande	7	1,27	11	3,24	4,51

Fuente: Norma de diseño Geométrico de Carreteras MOP (2003)

Factor de distribución por dirección (DD)

Es el factor de flujo vehicular, en la mayoría de los casos su valor es de 0,5 debido a que los vehículos circulan de manera proporcional en ambas direcciones.

Tabla 13. Factor de distribución por dirección (DD)

Número de carriles en ambas direcciones	Dd
2	50%
4	45%
6 o más	40%

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

Factor de distribución por carril (DC)

Es el carril que recibe el mayor número de carga de eje equivalente simple (Equivalent Single Axle Load)

Tabla 14 Factor de distribución por carril

Número de carriles en una sola dirección	Dc
1	1,00
2	0,80 - 1,00
3	0,60 - 0,80
4	0,50 - 0,75

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

El número de ejes equivalentes es calculado:

$$W18_{CARRIL DE DISEÑO} = W18_{ACUMULADO} * DD * DC$$

Datos para el diseño del pavimento flexible

Confiabilidad

La confiabilidad de diseño (R), es la probabilidad de que el número de repeticiones de carga (Nt) no sea excedido por el número de cargas que realmente son aplicadas (Wt) sobre el pavimento. Los niveles de confiabilidad sugeridos están clasificados de acuerdo a la función de la vía.

Tabla 15. Valores del nivel de confianza R de acuerdo al tipo de camino

Tipo de camino	Zonas urbanas	Zonas rurales
Autopistas	85 - 99,9	80 - 99,9
Carreteras de primer orden	80 - 99	75 - 95
Carreteras de primer orden	80 - 95	75 - 95
Caminos vecinales	50 - 80	50 - 80

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

El valor de R se encuentra asociado estadísticamente con el coeficiente Z_r (desviación estándar normal) el que permite determinar el factor S_o (desviación estándar global)

Tabla 16. Desviación estándar normal

Confiabilidad	Zr	Confiabilidad	Zr
50	0	92	-1,405
60	-0,253	94	-1,555
70	-0,524	95	-1,645
75	-0,674	96	-1,751
80	-0,841	97	-1,881
85	-1,037	98	-2,054
90	-1,282	99	-2,327

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

Desviación estándar global

Su valor es representativo a las condiciones locales de la vía

Tabla 17. Desviación estándar global

Condición de diseño	Desviación estándar global
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento (sin error)	0,25
Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y en la estimación del tráfico	0,35- 0.50 (0,45 valor recomendado)

Fuente: Lesly Garzón

Módulo de resiliencia (M_R)

Es el resultado de un ensayo dinámico, es la relación entre el esfuerzo repetido masivo (\emptyset) y su deformación axial recuperable (Σa). El método de la AASHTO 93 permite la caracterización de los materiales de las capas que forman la estructura del pavimento a través del módulo elástico o de resiliencia [34]

Las ecuaciones de correlación recomendadas son:

Tabla 18. Ecuaciones del módulo resiliente para la sub rasante

Sub rasante	Ecuación
$CBR \leq 7,2\%$	$M_R = 1500 * CBR$
$CBR > 7,2\% \text{ y } \leq 20\%$	$M_R = 3000 * CBR^{(0,65)}$
$CBR > 20\%$	$M_R = 4326 * \ln(CBR) + 241$

Fuente: Maestría en vías Terrestres, Diseño de Pavimentos I

Las unidades de las ecuaciones indicadas se expresa en $lb/pulg^2$ (psi)

Índice de serviciabilidad

Es la condición necesaria de un pavimento que tiene que proveer a los usuarios un manejo confortable y seguro en un determinado momento. El índice de serviciabilidad (PSI) se encuentra entre una vía intraficable (0) y un pavimento perfecto (5).

Índice de servicapabilidad inicial (po) está en función del diseño del pavimento y el grado de calidad durante la construcción, su valor en pavimentos flexibles es de 4,2.

Índice de servicapabilidad final (pt) Es el valor mínimo que puede ser tolerado por los usuarios viales antes de su intervención (rehabilitación, reconstrucción o repavimentación) y se encuentra en función a su importancia y clasificación funcional.

Tabla 19. Índice de serviciabilidad

Tipo de vía	pt
Autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico	2,5 - 3,0
Autopistas urbanas y troncales con intensidad de tráfico normal y autopistas interurbanas	2,0 – 2,5
Vías locales, ramales, secundarias y agrícolas	1,8 – 2,0

Fuente: Lesly Garzón

Coefficientes estructurales (a_1, a_2, a_3)

Coefficiente estructural de la carpeta asfáltica (a_1)

Se utilizará un módulo de elasticidad de la mezcla asfáltica $4,3E05 \text{ PSI} = 430 \text{ Ksi}$, con el que se podrá obtener el valor de a_1 en la figura N°11.

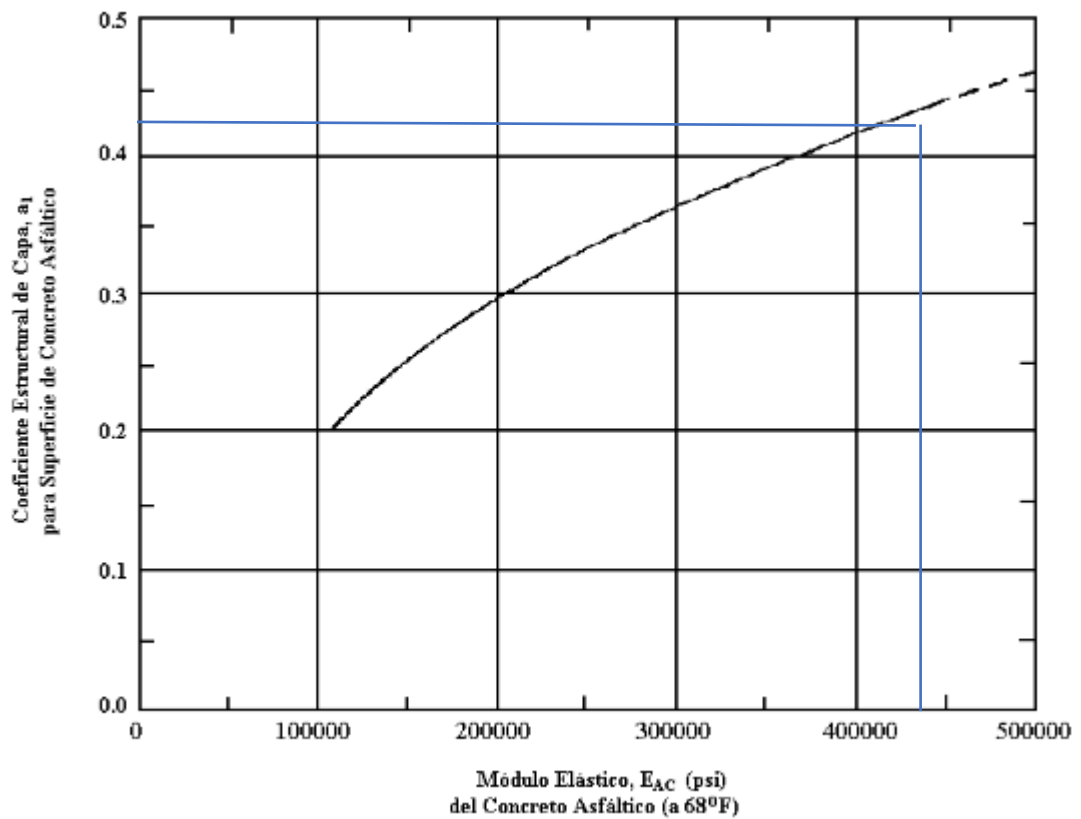


Figura 11. Monograma del coeficiente estructural a_1

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

Se determinó el valor del coeficiente estructural $a_1 = 0,436$

Coefficiente estructural de la capa granular (a_2)

Las especificaciones del MTOP establece que el valor mínimo de $CBR \geq 80\%$, en el presente proyecto se trabajará con $CBR=80\%$ a partir del cual se establecerán mediante la figura N°12 los valores a_2 y el módulo de elasticidad de la base granular. [32]

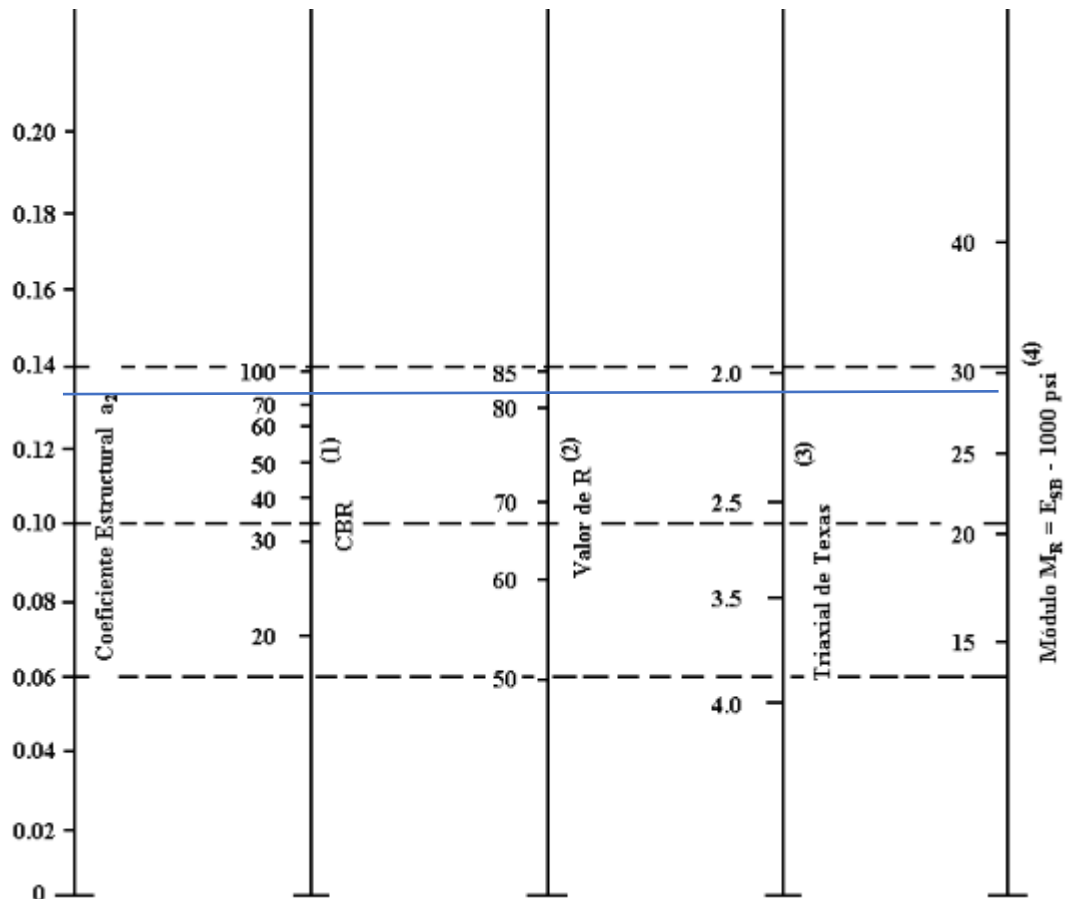


Figura 12. Monograma del coeficiente estructural a_2

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

El coeficiente estructural $a_2 = 0,133$ y un módulo de elasticidad de $28,7E03 = 28,7$ psi.

Coeficiente estructural de la capa Sub-base granular (a_3)

Las especificaciones del MTOP establece que el valor mínimo de $CBR \geq 30\%$, en el presente proyecto se trabajará con $CBR=30\%$ a partir del cual se establecerán mediante la figura N°13 los valores a_3 y el módulo de elasticidad de la sub-base granular. [32]

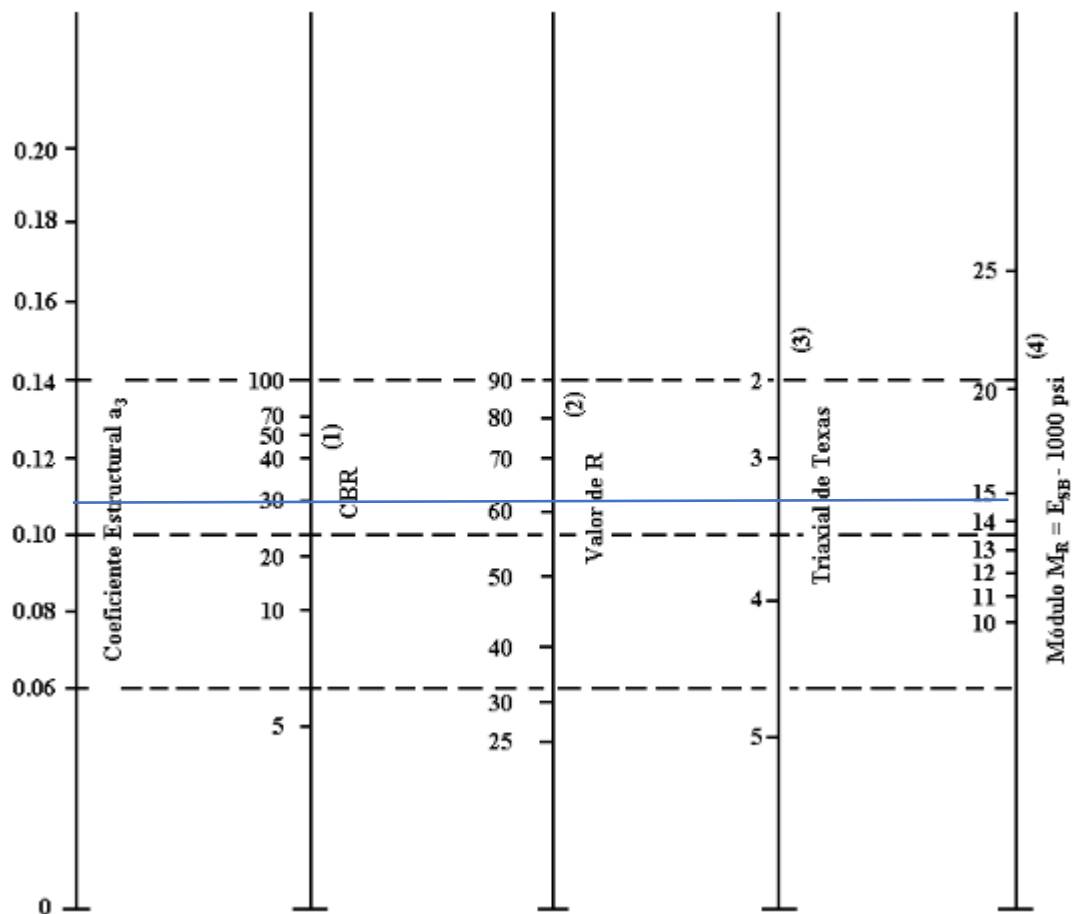


Figura 13. Monograma del coeficiente estructural a_3

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

El coeficiente estructural $a_3 = 0,108$ y un módulo de elasticidad de $14,8E03 = 14,8$ psi.

Coefficientes de drenaje (m_2, m_3)

La calidad del drenaje se encuentra definido en base al tiempo que el agua se demora en ser eliminada de las capas granulares (base y sub base).

Tabla 20. Calidad del drenaje

Calidad del drenaje	Agua elimina en:
Excelente	2 horas
Buena	1 Día
Regular	1 Semana
Pobre	1 Mes
Deficiente	Agua no drenada

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

En la tabla N°20 se presentan los valores recomendados para m_2 y m_3 los mismos que están en función de la calidad de drenaje y el porcentaje de tiempo a lo largo de 1 año, en el cual la estructura del pavimento puede estar expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla 21. Coeficientes de drenaje m_2 , m_3

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura está expuesta a			
	Menos del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más del 25%
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Buena	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Regular	1,25 - 1,15	1,25 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Pobre	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Deficiente	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

Diseño de la estructura del pavimento flexible

El número estructural (SN) permite determinar los espesores mínimos (D_1, D_2, D_3), que son los encargados de proteger las capas granulares no tratadas de las tensiones verticales excesivas que podrán causar deformaciones permanentes.

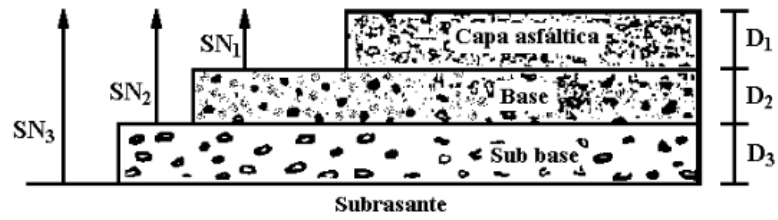


Figura 14. Números estructurales y espesores de las capas de un pavimento flexible

Fuente: Libro de pavimentos 2004

El espesor de cada capa es determinado por el número estructural necesario para proteger la capa y el módulo resiliente de la capa inmediata inferior.

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

El valor del espesor D_1 debe ser levemente mayor al calculado y el número estructural absorbido por esta capa es:

$$SN_1 = a_1 * D_1$$

El espesor de la capa base se calcula a través del módulo resiliente de la sub base y el número estructural absorbido por la carpeta y la capa base:

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2} \geq \frac{SN_b}{a_2 * m_2}$$

El número estructural absorbido por la capa base es:

$$SN_b = a_2 * m_2 * D_2$$

El espesor de la sub base es calcula con el módulo resiliente de la sub rasante y se obtiene $SN_3 = SN$ para todo el paquete estructural.

$$D_3 \geq \frac{SN - (SN_1 - SN_2)}{a_3 * m_3} \geq \frac{SN_{sb}}{a_3 * m_3}$$

El número estructural absorbido por la sub base es:

$$SN_3 = a_3 * m_3 * D_3$$

La suma de los números estructurales de las capas que constituyen el pavimento debe cumplir con la siguiente expresión: [30]

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

Espeores D_1 y D_2

La norma AASHTO recomienda espesores mínimos para la carpeta asfáltica y capa base en función al número de ejes equivalentes sencillos acumulados.

Tabla 22. Valores mínimos para la carpeta asfáltica y base

Tráfico W 18	Concreto asfáltico, D1 (pulg)	Capa Base, D2 (pulg)
< 50000	1 ó tratamiento superficial	4
50001 a 150000	2	4
150001 a 500000	2,5	4
500001 a 200000	3	6
2000001 a 7000000	3,5	6
7000000	4	6

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

1.1.3.6 Correlaciones

La correlación es el grado de relación que existe entre las variables, busca determinar la ecuación que permita describir o explicar la relación entre ellas. Si todos los valores de las variables satisfacen con exactitud a la ecuación se habla de una de una correlación perfecta.

Existen dos tipos de correlaciones, la primera es simple y de regresión simple es en la que interviene dos variables, la segunda es múltiple y de regresión múltiple es en la que intervienen más de dos variables.

Curva de ajustes

Permite encontrar la ecuación que se ajuste al conjunto de datos, para lo cual se debe graficar los puntos $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots \dots (X_N, Y_N)$ en un sistema de coordenadas rectangulares, denominado diagrama de dispersión permitiendo visualizar la curva cuya forma se aproxime a los datos, llamada curva de aproximación.

Si los datos se aproximan mediante una línea recta (figura N° 15) se dice que entre las variables existe una relación lineal, y si la relación que se presenta entre las variables no es una recta (figura N° 16) se la denomina como relación no lineal [35]

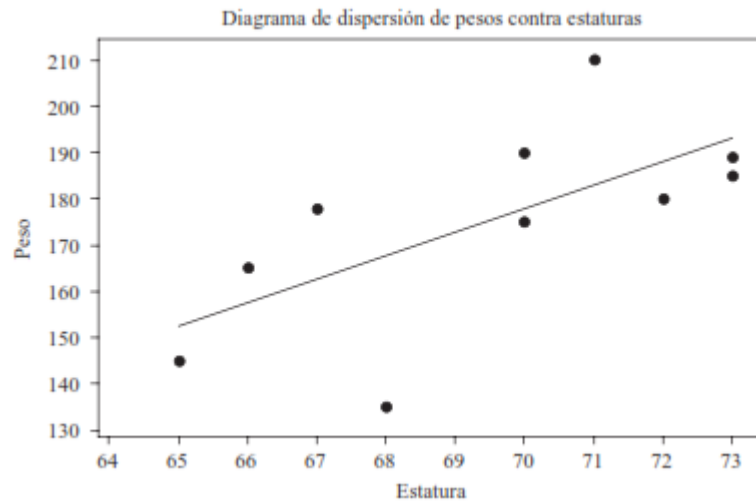


Figura 15. Relación entre dos variables, mediante una línea recta

Fuente: Estadística de Schaum cuarta edición

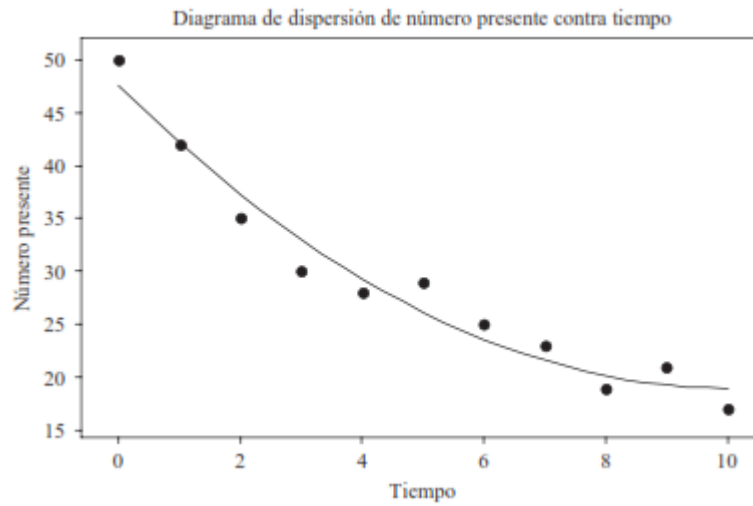


Figura 16. Correspondencia entre dos variables descrita mediante una relación no lineal

Fuente: Estadística de Schaum cuarta edición

Tabla 23. Tabla del criterio de bondad de ajuste

Criterio	R^2
Excelente	$\geq 0,90$
Buena	0,70 – 0,89
Aceptable	0,40 – 0,69
Pobre	0,20 – 0,39
Muy pobre	$\geq 0,19$

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

Ecuaciones de las curvas de aproximación

Las siguientes ecuaciones son las más comunes de las curvas de aproximación, las letras X y Y, son variables independientes y las otras letras son constantes (variable dependiente). [35]

Línea recta	$Y = a_0 + a_1X$
Parábola o curva cuadrática	$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2$
Curva cúbica	$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3$
Curva cuadrática	$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 + a_4X^4$
Curva de grado n	$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 \dots \dots + a_NX^N$

Métodos de mínimos cuadrados

La posibilidad de construir rectas, parábolas o curvas a partir de un diagrama de dispersión son diversas, teniendo en cuenta que solo una será la que mejor se ajuste al conjunto de puntos y se encuentra determinada por el método de mínimos cuadrados. [16]

Para lo cual los datos que forman el diagrama de dispersión son los puntos $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots \dots (X_N, Y_N)$. Dado un valor a X, por ejemplo X_1 entre el valor de Y_1 y su correspondiente calculado respecto a la curva, habrá una diferencia, la que se denota con la letra D, y se conoce como desviación, error o residuo, y puede ser positivo, negativo o cero. Análogamente asociados a los datos $X_2, \dots \dots X_N$ se obtiene desviaciones $D_2, \dots \dots D_N$.

La medida de la bondad de ajuste a la curva de los datos es la cantidad de: $D_1^2 + D_2^2 + \dots \dots D_N^2$; si su valor es pequeño, el ajuste es bueno y viceversa.

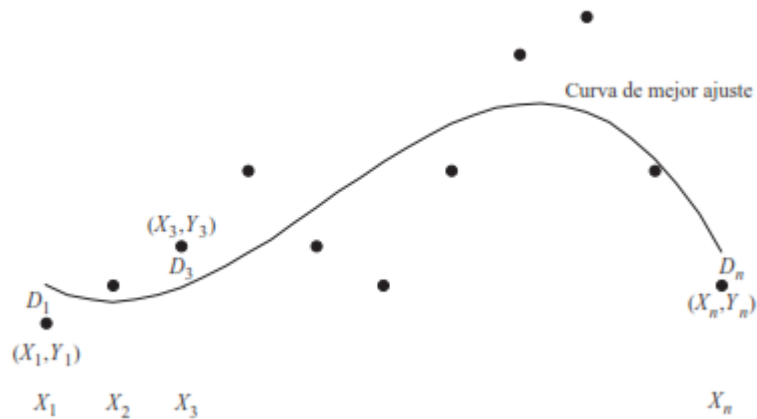


Figura 17. D1 es la distancia del punto (X_1, Y_1) a la curva de mejor ajuste y Dn es la distancia del punto (X_n, Y_n) a la curva de mejor ajuste

Fuente: Estadística de Schaum cuarta edición

La curva que presente esta propiedad se dice que se ajusta a los datos en el sentido de mínimos cuadrados y se le llama curva de mínimos cuadrados; de tal manera la recta que presente esta propiedad se dice que es una recta de mínimos cuadrados, la parábola que presente esta propiedad es una parábola de mínimos cuadrados, etc.

La presente definición es empleada cuando X es la variable independiente y Y es la variable dependiente. Si X pasa a ser variable dependiente la definición se modifica considerando desviaciones horizontales en lugar de desviaciones verticales. [35]

Recta de regresión de mínimos cuadrados

La recta de regresión de mínimos cuadrados podrá ser utilizada dependiendo de la relación que explique entre las dos variables el conjunto de puntos $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots \dots (X_N, Y_N)$

Si la recta de regresión es de Y sobre X la ecuación es:

$$Y = a_0 + a_1 * X$$

Donde a_0 y a_1 son constante y se determinan mediante las siguientes ecuaciones.

$$\Sigma Y = a_0 N + a_1 \Sigma X$$

$$\Sigma Y = a_0 \Sigma X + a_1 \Sigma X^2$$

Si la recta de regresión es de X sobre Y la ecuación es:

$$X = b_0 + b_1 * Y$$

Las ecuaciones de regresión son idénticas si y solo si todos los puntos del diagrama de dispersión se encuentran en una recta, en ese caso se presenta una correlación lineal perfecta entre X y Y.

Regresión múltiple

Es la relación que existe entre tres o más variables, se resuelven de manera análoga y su relación es descrita por la ecuación lineal en las variables X, Y y Z.

$$Z = a_0 + a_1 * X + a_2 * Y$$

La ecuación presenta en un plano de aproximación los puntos muestrales (X_1, Y_1, Z_1) , (X_2, Y_2, Z_2) (X_N, Y_N, Z_N) los mismo que no se encuentran muy dispersos. El método de mínimos cuadrados permite hablar de un plano de mínimos cuadrados que se aproximen a los datos, donde el valor de Z se aproxima a partir de X y Y a este plano se lo denomina plano de regresión de Z en X y Y.

Las ecuaciones normales correspondientes al plano de mínimos cuadrados son:

$$\begin{aligned}\Sigma Z &= a_0 N + a_1 \Sigma X + a_2 \Sigma Y \\ \Sigma XZ &= a_0 \Sigma X + a_1 \Sigma X^2 + a_2 \Sigma XY \\ \Sigma YZ &= a_0 \Sigma Y + a_1 \Sigma XY + a_2 \Sigma Y^2\end{aligned}$$

Se debe considerar que cuando el número de variables es mayor a tres se pierde la intuición geométrica debido a que se requieren espacios de cuatro, cinco o n dimensiones.

Error estándar de estimación

El error estándar de estimación análogo para la recta de regresión de Y sobre X y X sobre Y son los siguientes valores

$$s_{Y*X} = \sqrt{\frac{\sum(Y - Y_{est})^2}{N}}$$

La ecuación también puede ser expresada como:

$$s^2 = \frac{\sum Y^2 - a_0 \sum Y - a_1 \sum XY}{N}$$

Error estándar de desviación X sobre Y

$$s_{X*Y} = \sqrt{\frac{\sum(X - X_{est})^2}{N}}$$

En regresiones lineales múltiples el error típico de estimación de Z sobre X y Y se expresa como:

$$s_{Z.XY} = \sqrt{\frac{\sum(Z - Z_{est})^2}{N}}$$

Coefficiente de Correlación

Es el cociente entre la variación explicada y la variación total conocido como coeficiente de determinación; si la variación explicada es igual a cero (0) su cociente es cero (0) y si la variación no explicada es cero (0) su cociente es uno (1), en el resto

de casos su valor se encuentra entre 0 y 1, su valor no es negativo y se encuentra denotado por r^2 el coeficiente de correlación es el valor de r que está dado por:

$$r = \pm \sqrt{\frac{\text{variación explicada}}{\text{variación total}}}$$
$$r = \pm \sqrt{\frac{\sum(y_{est} - \bar{Y})^2}{\sum(Y - \bar{Y})^2}}$$

Su valor se encuentra entre -1 y +1; los signos + y - son utilizados en las correlaciones positivas y negativas respectivamente cabe recalcar que r es una cantidad adimensional. [35]

1.1.4 Hipótesis

Hipótesis nula

No existe una directamente correlación entre el CBR% y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Ambatillo y Quisapincha, cantón Ambato, Provincia de Tungurahua.

Hipótesis alternativa

Existe correlación entre el CBR% y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Ambatillo y Quisapincha, 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 Ambatillo y Quisapincha del Cantón Ambato. Provincia de Tungurahua.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Determinar las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de las Parroquias Ambatillo y Quisapincha 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 Ambatillo y Quisapincha.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

La metodología a desempeñar en el presente proyecto es experimental a continuación, se describen los tipos de investigación utilizados.

Investigación exploratoria

Se realizará un reconocimiento de las parroquias Ambatillo y Quisapincha, que nos permita la selección de vías que formaran parte del estudio.

Investigación correlacional

En función a los ensayos realizados en campo y laboratorio se obtendrán correlaciones que permitan determinar valores de CBR confiables para el diseño de pavimentos flexibles. De manera adicional se determinarán correlaciones entre las diferentes propiedades de los suelos analizados.

Investigación descriptiva

El ensayo Penetrómetro Dinámico de cono (DCP) permite valorar de manera indirecta la capacidad de soporte de los suelos de la subrasante y materiales de la sub base mediante la resistencia que opone el material a la penetración de un cono de acero.

Investigación explicativa

El proyecto al ser de carácter experimental se realizará en campo los ensayos de Penetrómetro Dinámico de cono (DCP) y densidad en campo, así como una recolección de muestras de suelo, las mismas que serán analizadas en laboratorio

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 cada una de las doce calicatas realizadas en las seis vías rurales pertenecientes a las parroquias de Ambatillo y Quisapincha del cantón Ambato, de las cuales serán analizadas sus propiedades índice y mecánicas.

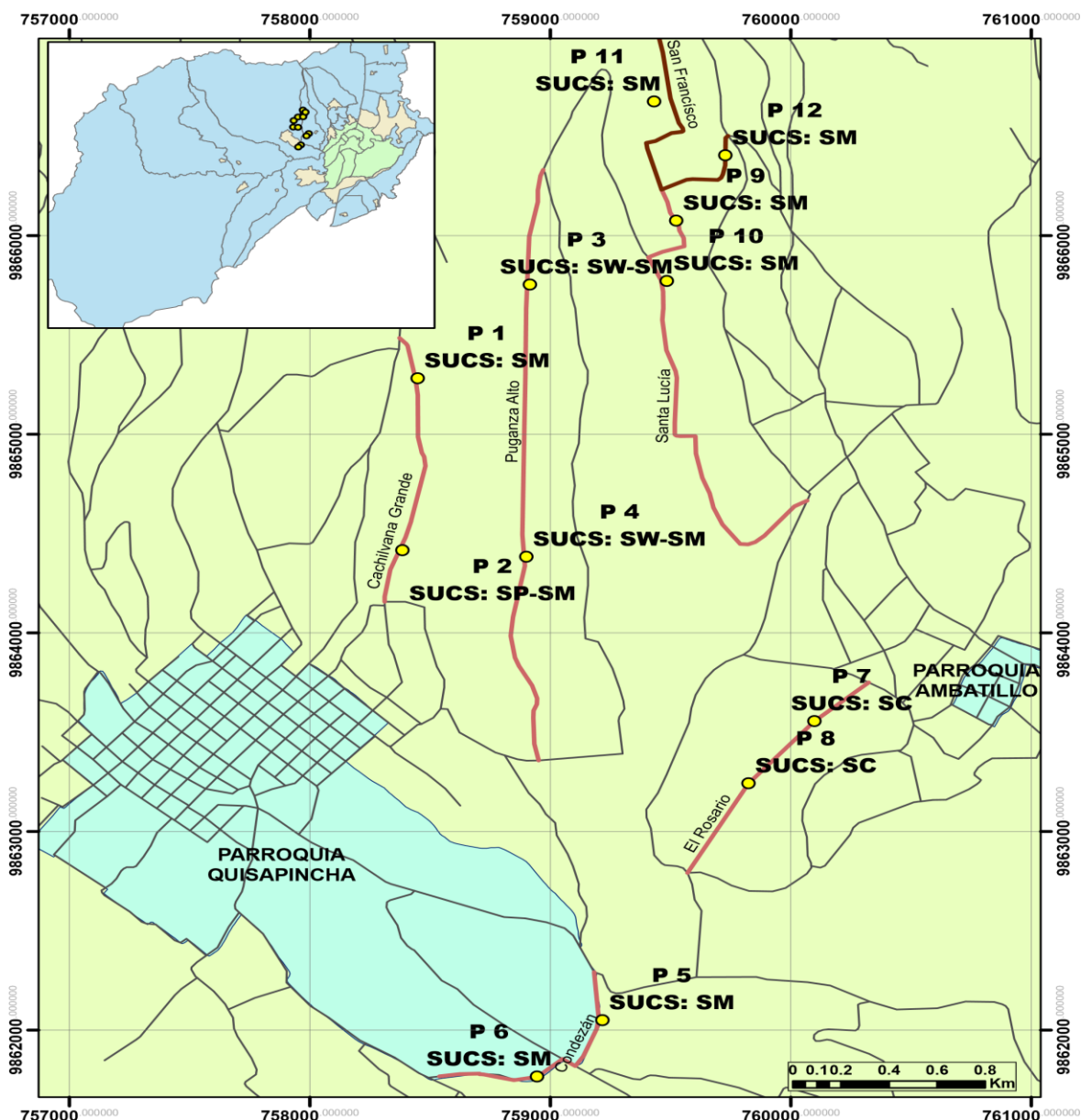
Al ser parte la presente investigación de un macro-proyecto abarca una totalidad de ciento ocho muestras correspondientes a las nueve parroquias rurales del cantón Ambato de la provincia de Tungurahua, de las cuales se extraerán aleatoriamente 6 muestras de cada parroquia

Tabla 24. Ubicación geográfica de las calicatas

Parroquia	Vías	Calicata	Coordenadas	
			E	S
Ambatillo	Cachilvana Grande	1	758448.42	9865281.32
		2	758385.01	9864415.55
	Puganza Alto	1	758915.63	9865753.05
		2	758901.15	9864382.67
	Condezán	1	759217.39	9862048.91
		2	758945.06	9861765.42
Quisapincha	El Rosario	1	60098.77	9863555.77
		2	759824.41	9863241.90
	Sta. Lucía	1	759523.60	9866075.39
		2	759484,62	9865771.32
	San Francisco	1	759432.07	9866675.59
		2	759728.66	9866404.47

Fuente: Lesly Garzón

UBICACIÓN DE LOS POZOS DEL PROYECTO



Vías	Pozo	Coordenadas (UTM)		CLASIFICACIÓN
		Norte	Este	SUCS
Cachilvana Grande	1	9865281.3	758448.4	SM
	2	9864415.6	758385.0	SP-SM
Puganza Alto	3	9865753.1	758915.6	SW-SM
	4	9864382.7	758901.2	SW-SM
Condezán	5	9862048.9	759217.4	SM
	6	9861765.4	758945.1	SM
El Rosario	7	9863555.8	760098.8	SC
	8	9863241.9	759824.4	SC
Santa Lucía	9	9866075.4	759523.6	SM
	10	9865771.3	759484.6	SM
San Francisco	11	9866675.6	759432.1	SM
	12	9866404.5	759728.7	SM

Universidad Técnica de Ambato
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
Carrera de Ingeniería Civil

CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS AMBATILLO Y QUISAPINCHA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

Autor:	Lesly Garzón Zapata	Lámina:	A4
Fecha:	nov-19	Escala:	1:25000

2.1 Materiales y Equipos

Los equipos, materiales y normas empleados en el desarrollo de la presente investigación serán descritos en la tabla N°25.

Tabla 25. Materiales, equipos y normas 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	18 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 Moldes metálicos y pesas	AASHTO T 193 2013

Fuente: Lesly Garzón



Figura 18. Pozo a cielo abierto

Fuente: Lesly Garzón



Figura 19. Densidad de Campo (Método del Cono y Arena de Ottawa)

Fuente: Lesly Garzón



Figura 20. Dinamic Cone Penetrometer (DCP)

Fuente: Lesly Garzón



Figura 21. Gravedad específica de sólidos

Fuente: Lesly Garzón



Figura 22. Granulometría

Fuente: Lesly Garzón



Figura 23. Límite Líquido (Copa Casagrande)

Fuente: Lesly Garzón



Figura 24. Límite Plástico

Fuente: Lesly Garzón



Figura 25. Proctor Modificado tipo B

Fuente: Lesly Garzón



Figura 26. California Bearing Ratio (CBR)

Fuente: Lesly Garzón

2.2 Métodos

2.2.1 Plan de Recolección de Datos

Para determinar las correlaciones entre el CBR% y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares en las parroquias Ambatillo y Quisapincha se realizará:

Ensayos de campo del 16 de junio al 07 de julio

- Densidad de Campo (Método del Cono y Arena de Ottawa)
- Dinamic Cone Penetrometer (DCP)

Las mismas que se encuentran ubicadas en las siguientes coordenadas

Tabla 26. Ubicación geográfica de las vías en estudio

Parroquia	Vías	Coordenadas		Longitud Km
		E	S	
Quisapincha	Chachilvana Grande	758361,12	9865518,19	2,36
	Puganza Alto	758907,13	9866089,21	2,10
	Condezán	759188,46	9862285,43	1,16
Ambatillo	El Rosario	760137,57	9863736,05	1,30
	Sta. Lucía	759484,62	9866203,92	1,71
	San Francisco	759578,36	9867191,95	1,80

Fuente: Lesly Garzón

Ensayos de laboratorio serán realizados 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, del 08 de julio al 05 de septiembre.

- Gravedad específica de sólidos
- Granulometría
- Límite líquido (Copa Casagrande)
- Límite plástico
- Proctor modificado tipo B
- California Bearing Ration (CBR)

Las técnicas de recolección de datos empleadas son:

- Retirar la capa vegetal y se proceder a realizar el ensayo DCP bajo la norma ASTM D 6951-03 y la Densidad de Campo por el método de Cono y Arena bajo la norma AASHTO T 191, ambos ensayos realizados en situ.

- Posterior a ello se toma la muestra de suelo aproximadamente 50 kg, esto para los ensayos de laboratorio. La muestra de suelo es pasada a través del tamiz rectangular # 4 y colocada en la bandeja para su secado.
- Para el análisis granulométrico se toma una muestra representativa de suelo, la misma que debe estar totalmente seca y se la coloca en la tamizadora con el juego de tamices en forma descendente como lo establece la norma AASHTO T 88 2013.
- Los límites de Atterberg son realizados bajo las normas AASHTO T 89 2013 y AASHTO T 90 2016, la gravedad específica 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 es utilizado para realizar el ensayo de relación de soporte de California (CBR) este último normado mediante AASHTO T 193 2013

2.2.2 Plan de Procesamiento y Análisis de Información

Plan de procesamiento

- Inspección de las vías de las parroquias Quisapincha y Ambatillo del cantón Ambato, para la selección de seis vías que forman parte del estudio.

- Realización de los ensayos de campo y recolección de muestras para ser analizadas en laboratorio en las 12 calicatas
- Tabulación de resultados de los diferentes ensayos realizados a través del Excel
- Elaboración de las tablas que presentas las variables a ser a correlacionadas.
- Presentación de los resultados obtenidos mediante gráficas y ecuaciones afines a la investigación.

Plan de análisis de la información

- Interpretar y analizar las correlaciones obtenidas mediante el coeficiente de determinación r^2 , que nos permite conocer el grado de ajuste alcanzado mediante diferentes modelos matemáticos (ecuaciones).
- Realizar correlaciones entre las propiedades índice y mecánicas del suelo con el propósito de conocer la influencia de los diversos factores en la obtención de coeficientes. Las que superen al 50% formarán parte del análisis y discusión.
- Evaluar la diferencia entre los valores de Relación de soporte de california (CBR) de laboratorio respecto al obtenido mediante las correlaciones para el diseño de un pavimento flexible.
- Establecer conclusiones y recomendaciones en base a las correlaciones obtenidas entre las propiedades índice y mecánicas de los suelos en estudio.

CAPITULO III

3.1 Análisis y discusión de los resultados

Los datos que se presentan a continuación corresponden a las 12 muestras en estudio:

- Las 12 muestras de suelos según la clasificación de AASHTO pertenecen al grupo A-2-4 (grava y arena limosa o arcillosa).
- La humedad natural de los suelos de las parroquias Ambatillo y Quisapincha oscilan entre el 13 y 31%.
- La granulometría de las muestras analizadas indica que el suelo no presenta grava, su porcentaje de arena se encuentra entre el 72% y 94% y su contenido de finos oscilan entre el 5% y 30%.
- Los valores de la densidad seca en campo obtenidos mediante el ensayo de cono y arena se encuentran entre 1450 y 1870 kg/m^3 .
- Los valores del límite líquido realizados mediante la copa de Casagrande se encuentran entre el 22% y 40%; y el rango del límite plástico esta entre el 16% -30%.
- Los valores del índice plástico no presentan una amplia variación los mismos que se encuentran entre el 5% y 10%.
- Los valores de la gravedad específica de los sólidos oscilan entre 2,65 y 2,67 característicos de los suelos granulares.
- Los valores de la relación de vacíos se encuentran entre 0,42 y 0,83.

- Los valores de la porosidad del suelo se encuentran entre el 29% y 46%.
- Los valores del grado de saturación del agua se oscilan entre el 54% y 99% indicando que el suelo se encuentra en estado saturado.
- Los valores del grado de saturación del aire se encuentran en el rango de 0% y 46%.
- Mediante el ensayo del proctor modificado tipo B se obtuvo los valores de densidad seca máxima en un rango de 1410 y 1660 kg/m^3 ; y su respectiva humedad óptima las mismas que oscilan entre 17% y 29%.
- Los valores de la relación de soporte de california (CBR_{mayor}) obtenidos en laboratorio oscilan entre el 9% y 15%.
- Los valores del índice de penetración (DN) obtenidos mediante el ensayo DCP para una profundidad de 800 mm varían entre 3(mm/golpe) y 28 (mm/golpe)

Nomenclatura

CBR	Relación de soporte de California mayor entre 0,1 - 0,2"	%
DN	Índice de penetración	(mm/golpe)
Gs	Gravedad específica de sólidos	
Ga	Grado de saturación del aire	%
Gw	Grado de saturación del agua	%
LP	Límite Plástico	%
LL	Límite Líquido	%

IP	Índice plástico	%
W nat	Humedad Natural	%
W ópt	Humedad óptima	%
γd in situ	Densidad seca in situ	Kg/m^3
γd máx	Densidad seca máxima	Kg/m^3

La estimación de valores mediante las presentes ecuaciones se debe utilizar las unidades descritas en esta sección.

Tabla 27. Propiedades del suelo

Ubicación	N° Muestra	Humedad Natural %	Granulometría			Limite Líquido %	Índice Plástico %	Límite Plástico %	Gravedad específica (gr)
			G (%)	A (%)	F (%)				
			Grava	Arena	Fino				
Chachilvana Grande	1	30,37	0,00	86,44	13,56	23,60	6,69	16,91	2,655
	2	28,44	0,00	94,84	5,16	37,20	8,32	28,88	2,667
Puganza Alto	3	25,79	0,00	91,32	8,68	39,20	9,90	29,30	2,669
	4	29,10	0,00	90,08	9,92	32,10	9,88	22,22	2,652
Condezán	5	13,56	0,00	72,08	27,92	24,30	5,69	18,61	2,663
	6	16,36	0,00	76,32	23,68	27,20	5,76	21,44	2,658
El Rosario	7	18,55	0,00	79,48	20,52	26,60	8,60	18,00	2,661
	8	16,96	0,00	78,36	21,64	29,60	9,96	19,64	2,665
Sta. Lucía	9	31,03	0,00	87,64	12,36	37,10	9,96	27,14	2,657
	10	29,88	0,00	78,72	21,28	28,20	6,20	22,00	2,667
San Francisco	11	28,46	0,00	79,44	20,56	35,80	9,37	26,43	2,660
	12	25,47	0,00	80,48	19,52	35,80	8,37	27,43	2,668

Fuente: Lesly Garzón

Tabla 28. Propiedades del suelo

Ubicación	N° Muestra	Relación de vacíos e	Porosidad n (%)	Grado de saturación del agua %	Grado de saturación del aire %	Densidad de campo yd	Clasificación del Suelo	
							AASHTO	SUCS
Cachilvana Grande	1	0,82	44,93	97,84	2,16	1450	A-2-4	SM
	2	0,78	43,68	97,39	2,61	1490	A -2-4	SP-SM
Puganza Alto	3	0,77	43,41	88,67	11,33	1500	A-2-4	SW-SM
	4	0,83	45,27	93,29	6,71	1450	A-2-4	SW-SM
Condezán	5	0,42	29,34	76,53	23,47	1870	A-2-4	SM
	6	0,54	35,09	79,44	20,56	1720	A-2-4	SM
El Rosario	7	0,67	40,27	70,90	29,10	1570	A-2-4	SC
	8	0,81	44,87	54,52	45,48	1460	A-2-4	SC
Sta. Lucía	9	0,82	45,15	99,87	0,13	1450	A-2-4	SM
	10	0,82	45,10	96,51	3,49	1450	A-2-4	SM
San Francisco	11	0,76	43,33	98,66	1,34	1500	A-2-4	SM
	12	0,67	40,28	99,45	0,55	1580	A-2-4	SM

Fuente: Lesly Garzón

Tabla 29. Propiedades del suelo

Ubicación	N° Muestra	CBR (%)					DN (mm/golpe)
		90% y máx		95% y máx		Mayor	
		0,1"	0,2"	0,1"	0,2"		
Chachilvana Grande	1	7,40%	8,60%	8,40%	12,30%	12,30%	4,7197
	2	10,10%	8,00%	12,70%	9,80%	12,70%	3,9407
Puganza Alto	3	8,80%	6,80%	13,00%	9,70%	13,00%	9,5405
	4	9,10%	7,00%	10,80%	8,00%	10,80%	11,3568
Condezán	5	9,80%	11,60%	10,00%	11,80%	10,20%	19,5787
	6	12,30%	8,90%	14,80%	11,00%	14,80%	4,2704
El Rosario	7	11,20%	9,10%	15,00%	11,00%	15,00%	5,1612
	8	9,10%	6,90%	10,00%	8,10%	9,80%	21,8077
Sta. Lucía	9	8,90%	7,80%	10,80%	8,20%	11,50%	13,3057
	10	8,80%	7,10%	8,90%	7,30%	8,90%	27,0597
San Francisco	11	8,10%	7,40%	12,20%	10,20%	12,20%	6,3873
	12	7,80%	6,70%	11,00%	9,10%	11,00%	18,7997

Fuente: Lesly Garzón

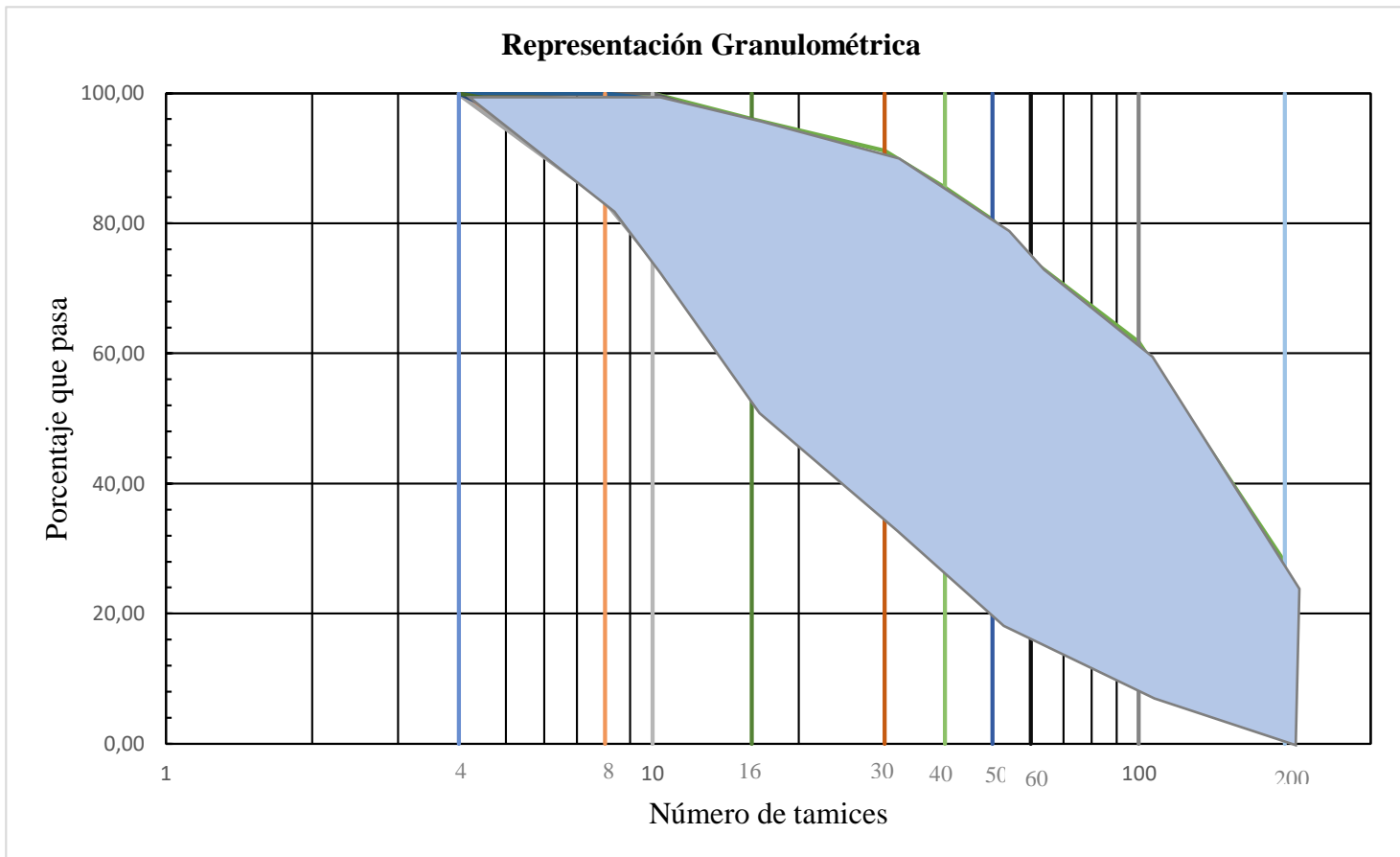


Figura 27. Representación granulométrica de las muestras

Fuente: Lesly Garzón

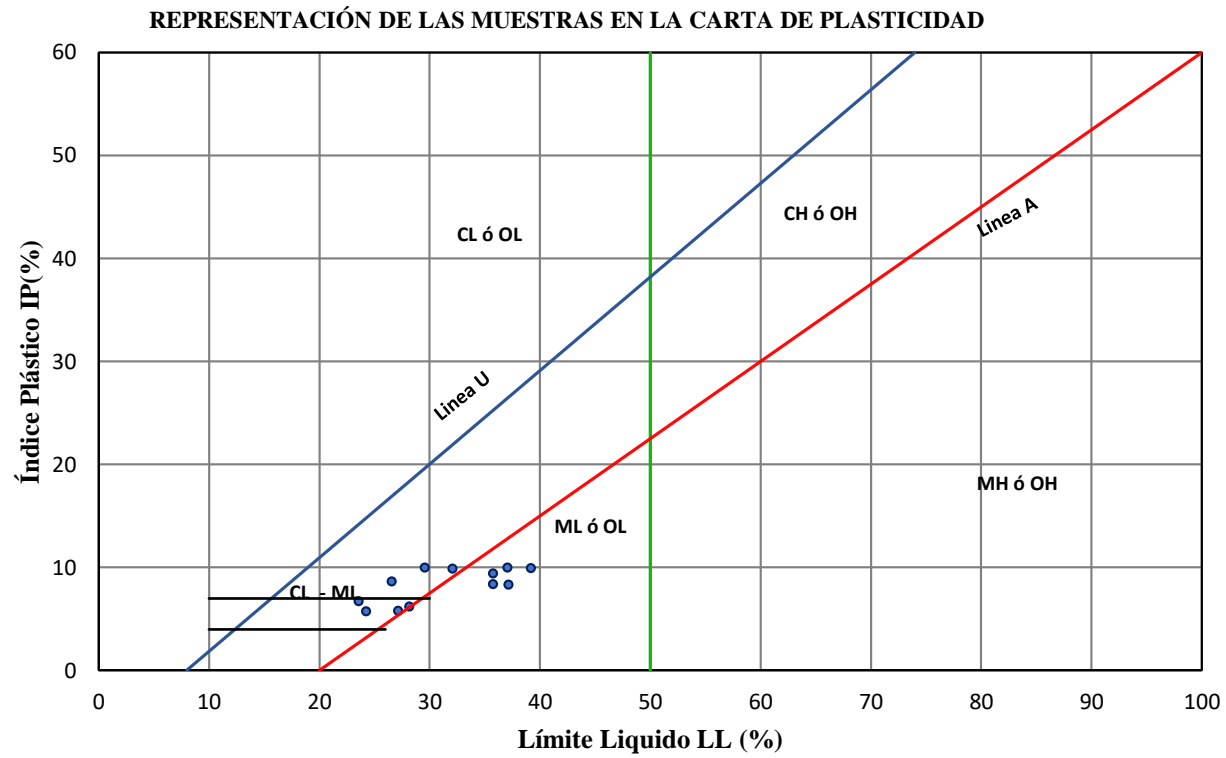


Figura 28. Carta de plasticidad

Fuente: Lesly Garzón

Tabla 30. Correlaciones entre las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares

Nº	Ecuación	Coefficiente de determinación r^2	Nº muestra
----	----------	-------------------------------------	------------

Correlaciones entre propiedades índice

1	$LP = 0,0166(LL)^2 - 0,2608(LL) + 14,505$	0,9316	12
2	$\gamma d_{in situ} = 1,25Wnat^2 - 76,409Wnat + 2643,7$	0,8853	11
3	$\gamma d_{in situ} = 6,136Wópt^2 - 312,36Wópt + 5422$	0,8260	10
4	$\gamma d_{máx} = -0,6384Wnat^2 + 21,407Wnat + 1382,4$	0,6283	11
5	$Gw \% = 0,0237Wnat^2 + 0,4478Wnat + 63,642$	0,8052	11
6	$Ga \% = -1,5185Wnat + 47,461$	0,8022	11
7	$Wópt \% = 12,629e^{0,0221*Wnat}$	0,8293	10
8	$\gamma d_{in situ} = 26,13 + 1569,71LOG(LL\%) - 35,22LP\%$	0,6301	11
9	$\gamma d_{máx} = \frac{1,0674}{H nat^{0,7420} \times LL^{-2,7755}}$	0,7193	10
10	$\gamma d_{máx} = 25,08 - 13,49Wnat + 74,16LP$	0,6831	11
11	$Wópt = \frac{2,5488}{LL^{0,0974} * LP^{-0,7936}}$	0,6692	11
12	$Wópt = 2,6835W nat^{(0,1884)}LP^{(0,4827)}$	0,7252	11

Correlaciones DN vs Propiedades Índice

13	$LP = -1,0623 - 0,3295LOG(DN) + 0,7823LL$	0,9261	12
14	$W ópt = 14,0775 - 0,0963DN + 0,40W nat$	0,6350	12
15	$\gamma d_{máx} = 484,60 + 459,12 \log(DN) + 21,19W nat$	0,7287	11

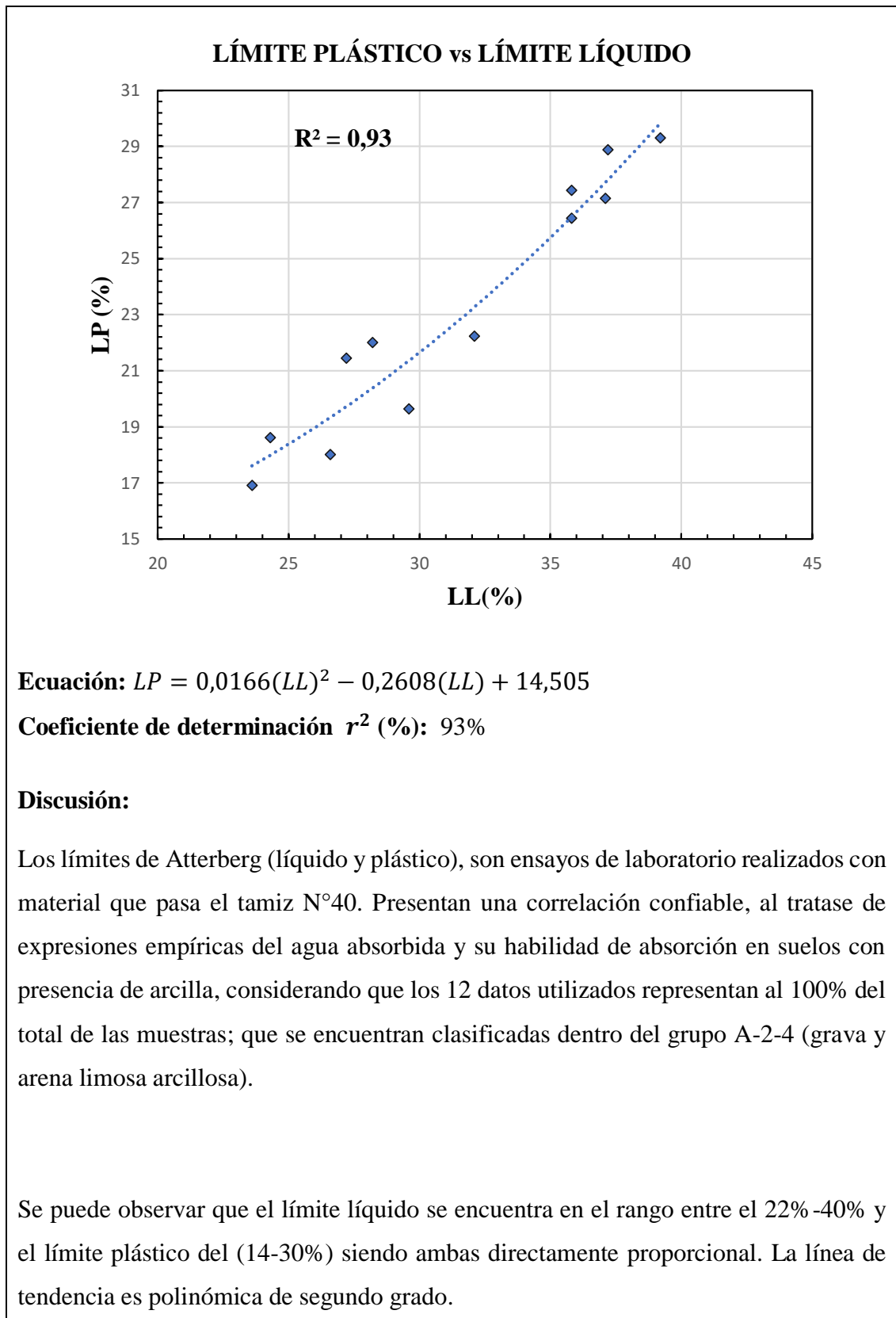
Correlaciones CBR vs Propiedades Índice

16	$CBR\% = 17,8625 - 0,2152DN - 0,1421Wópt$	0,7664	11
17	$LP\% = -3,2425 + 1,6779LOG(CBR) + 0,7840LL$	0,9263	12
18	$CBR\% = 1,0718 - 0,2294LL + 0,7654 LP$	0,7016	10
19	$CBR\% = -35,2536 + 0,2282W ópt + 0,028\gamma d_{máx}$	0,6313	10
20	$\gamma d_{in situ} = \frac{2350,0549}{CBR^{-0,0901} * Wnat^{0,2048}}$	0,6652	12
21	$CBR\% = \frac{5533870,41}{W nat^{0,8591} * \gamma d_{in situ}^{1,4003}}$	0,6364	11
22	$CBR\% = 18,432DN^{-0,18}$	0,75809	12

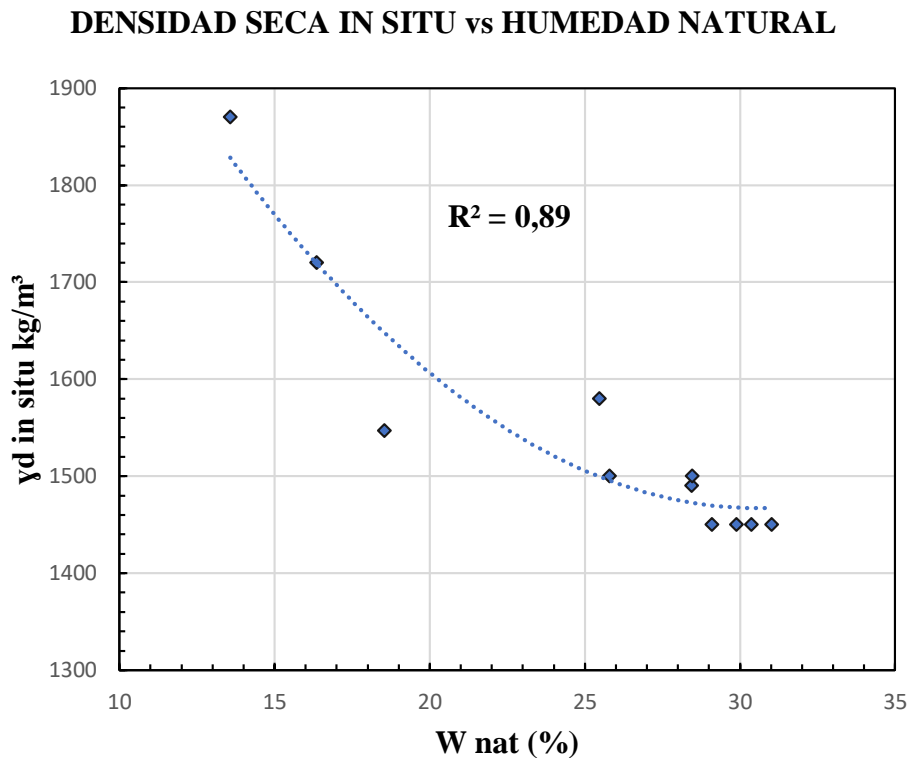
Fuente: Lesly Garzón

3.1.1.1 Correlaciones

Correlación N°: 01



Correlación N°: 02



Ecuación: $\gamma d_{in\ situ} = 1,25Wnat^2 - 76,409Wnat + 2643,7$

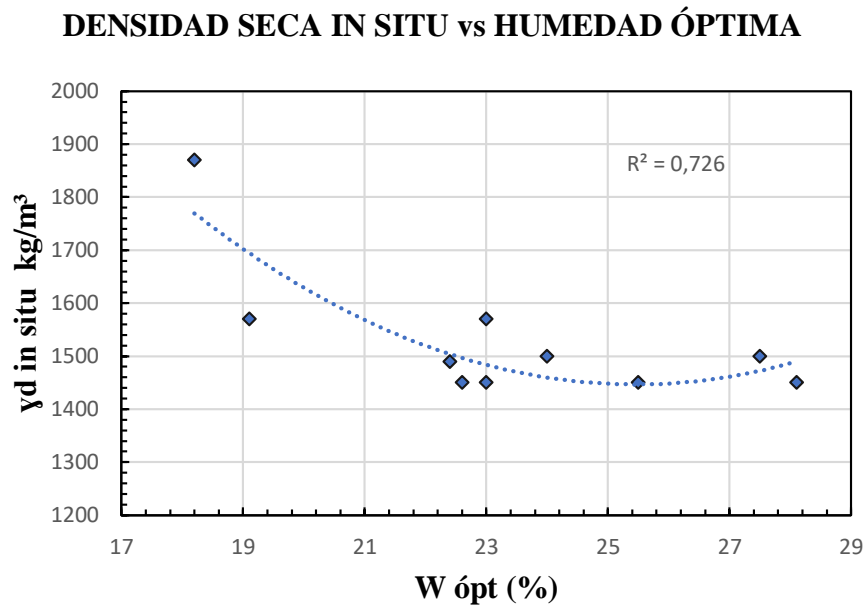
Coefficiente de determinación r^2 (%): 89%

Interpretación:

Se considera que la correlación entre la densidad seca in situ respecto a la humedad natural, es aceptable ya que presenta un coeficiente de determinación $r^2 = 89\%$. Debido a que el agua llena los vacíos de aire permitiendo una mejor compactación de las partículas del suelo. En la gráfica se puede observar que el contenido de humedad influye de manera directa sobre la densidad seca in situ, mostrando a que mayor contenido de humedad la densidad seca in situ disminuye, y viceversa.

La línea de tendencia es polinómica de segundo grado y el número de datos considerados son 11 representando al 91,66% del total de las muestras, los rangos de la humedad natural se encuentran entre el 12 % - 34% y los valores de la densidad seca in situ oscila entre los 1400 – 1900 kg/m³.

Correlación N°: 03



Ecuación: $\gamma d_{in\ situ} = 6,136W_{\acute{o}pt}^2 - 312,36W_{\acute{o}pt} + 5422$

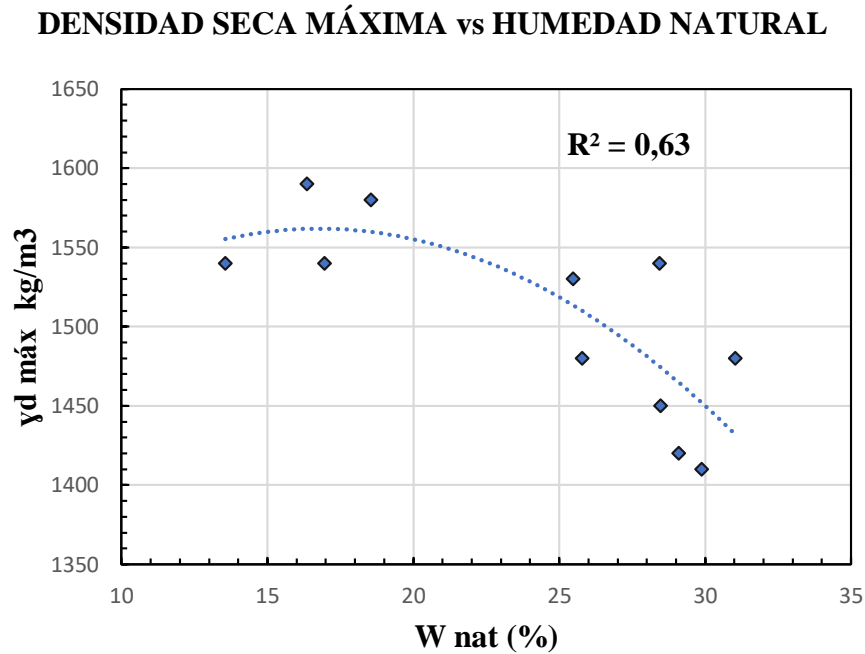
Coefficiente de determinación r^2 (%): 83%

Discusión:

Se considera que la correlación entre la densidad seca in situ respecto a la humedad óptima, es buena ya que presenta un coeficiente de determinación $r^2 = 83\%$. En la gráfica se observa que el W nat influye de manera directa sobre la γd seca in situ, donde a partir de los contenidos óptimos de humedad se puede conocer valores aproximados de la densidad seca in situ también se aprecia que con un incremento del contenido de humedad el valor de la densidad seca in situ disminuye, y viceversa.

La línea de tendencia es polinómica de segundo grado y el número de datos considerados son 10 representando al 83,33% del total de las muestras. Los rangos de la humedad óptima en suelos clasificados como A-2-4 (grava y arena limosa o arcillosa) se encuentran entre el 18 %- 30% y los valores de la densidad seca in situ oscilan entre los 1400 – 1900 kg/m³.

Correlación N°: 04



Ecuación: $\gamma d_{m\acute{a}x} = -0,6384Wnat^2 + 21,407Wnat + 1382,4$

Coefficiente de determinación r^2 (%): 63%

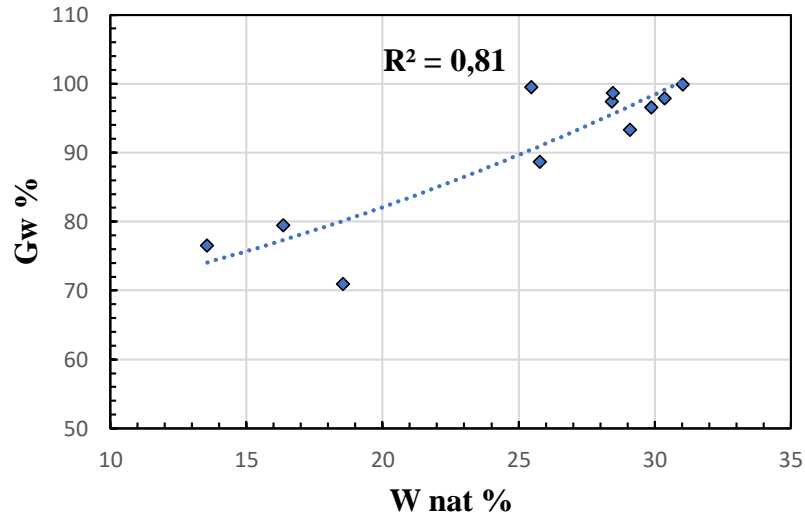
Discusión:

Se considera que la correlación entre la densidad seca máxima respecto a la humedad natural. El coeficiente de determinación es $r^2 = 63\%$. En la gráfica se observa que el contenido de humedad influye de manera directa sobre γd seca in situ, donde a partir del contenido de humedad natural se puede calcular valores aproximados de la densidad seca máxima también se aprecia que el suelo con mayor contenido de humedad presenta valores bajos de la densidad máxima, y viceversa.

La línea de tendencia es polinómica de segundo grado y el número de datos considerados son 11 representando al 91,60% del total de las muestras, los rangos de la humedad natural en suelos clasificados como A-2-4 (grava y arena limosa o arcillosa) se encuentran entre el 12 %- 34% y los valores de la densidad seca in situ oscila entre los 1400 kg/m³ – 1600 kg/m³.

Correlación N°: 05

GRADO DE SATURACIÓN DEL AGUA vs HUMEDAD NATURAL



Ecuación: $Gw \% = 0,0237Wnat^2 + 0,4478Wnat + 63,642$

Coefficiente de determinación r^2 (%): 81%

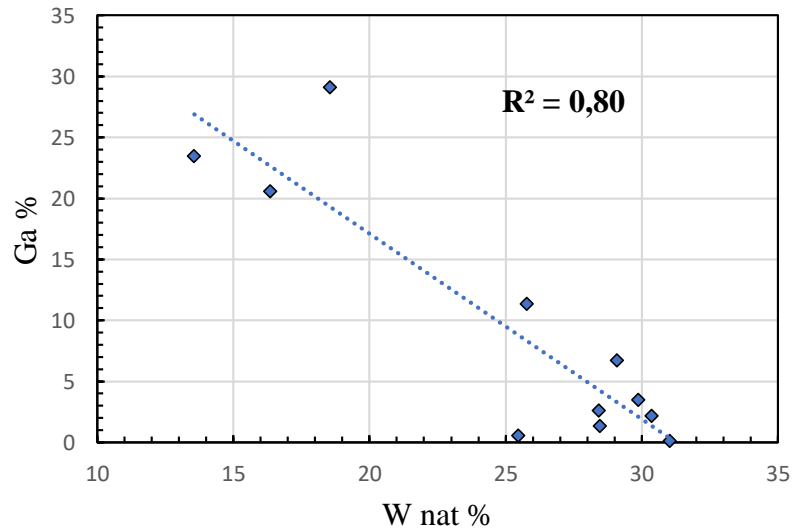
Discusión:

La correlación entre el grado de saturación del agua respecto a la humedad natural se considera aceptable, debido a que el coeficiente de determinación $r^2 = 81\%$. Debido que a mayor cantidad de agua se reduce el volumen de vacíos, el mismo que es ocupado por el agua. La gráfica permite observar que el W nat es directamente proporcional al Ga, los valores del grado de saturación del agua se encuentran cercanos al 100% lo que indica que el 72% de los suelos están saturados.

La línea de tendencia es polinómica de segundo grado y el número de datos considerados son 11 representando al 91,67% del total de las muestras, los rangos de la humedad natural se encuentran entre el 12 %- 34% y los porcentajes del grado de saturación del agua oscila entre el 70% - 100%.

Correlación N°: 06

GRADO DE SATURACIÓN DEL AIRE vs HUMEDAD NATURAL



Ecuación: $Ga \% = -1,5185Wnat + 47,461$

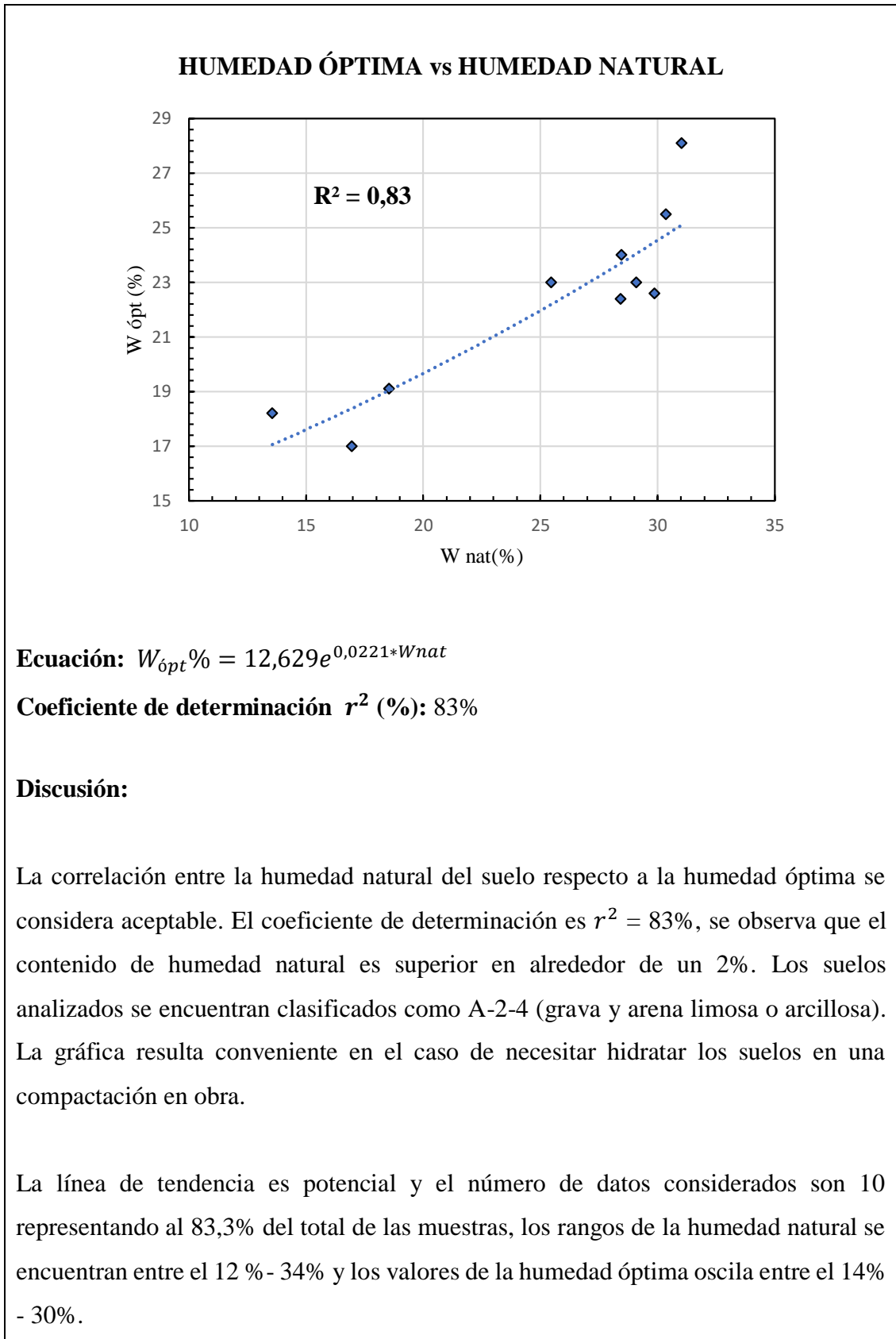
Coefficiente de determinación r^2 (%): 80%

Discusión:

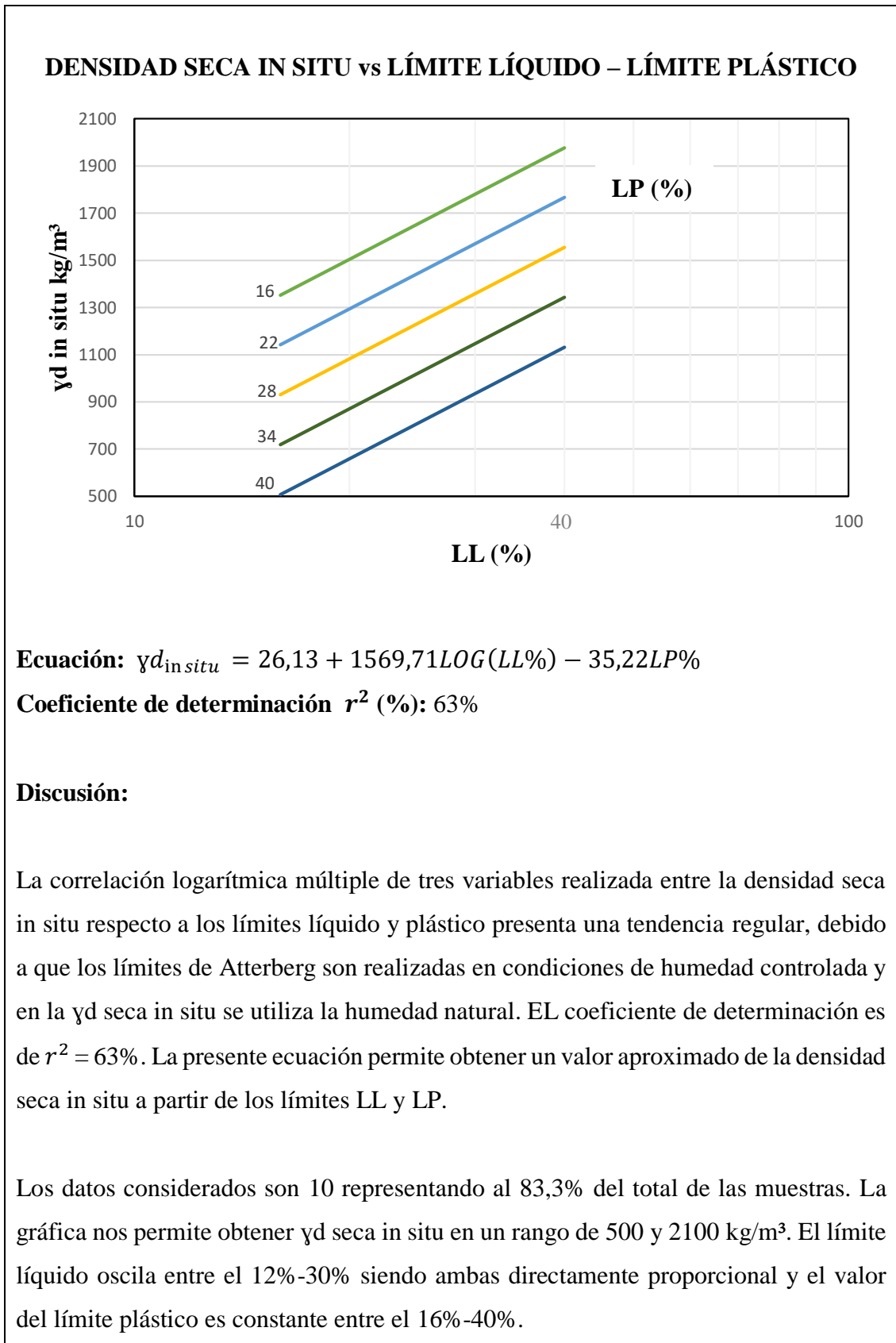
La correlación entre el grado de saturación del aire respecto a la humedad natural se considera aceptable. El coeficiente de determinación $r^2 = 80\%$. Se observa que el contenido de humedad es inversamente proporcional al grado de saturación del aire, indicando que mientras menor sea la cantidad de vacíos presentes en el suelo su contenido de humedad será mayor.

La línea de tendencia es lineal y el número de datos considerados son 11 representando al 91,6% del total de las muestras, los rangos de la humedad natural se encuentran entre el 12 %- 34% y los porcentajes del grado de saturación del aire oscila entre el 0% - 30%.

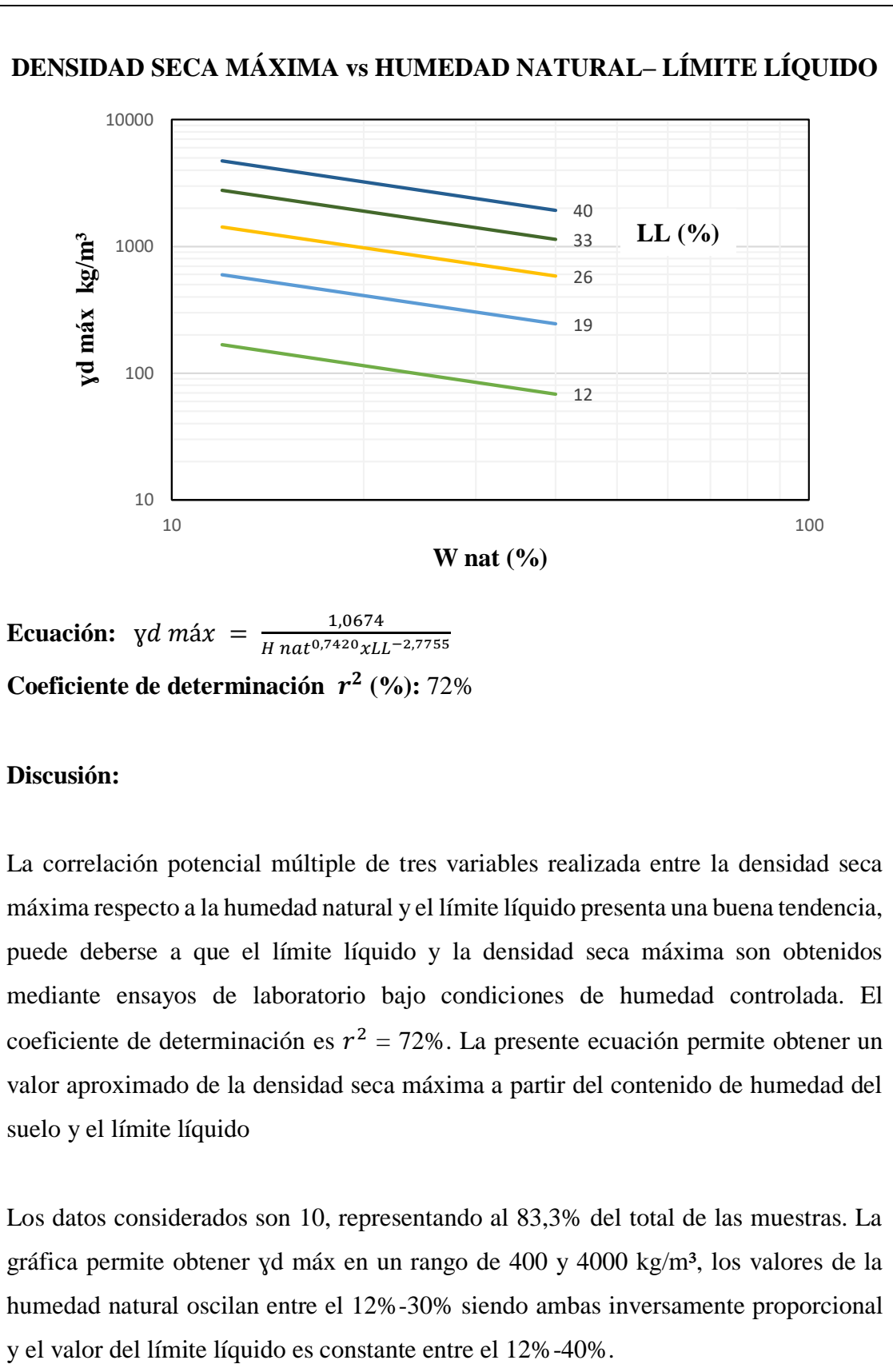
Correlación N°: 07



Correlación N°: 08

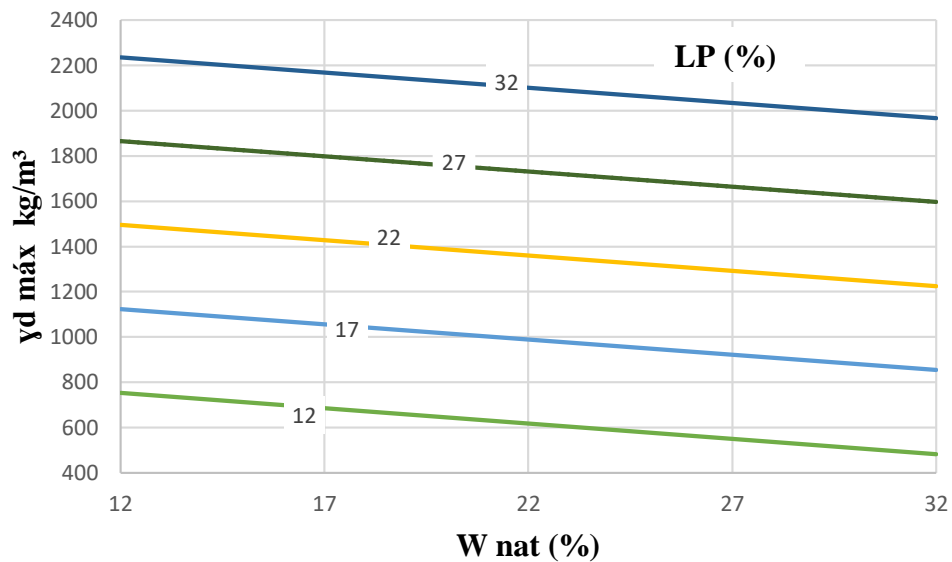


Correlación N°: 09



Correlación N°: 10

DENSIDAD SECA MÁXIMA vs HUMEDAD NATURAL – LÍMITE PLÁSTICO



Ecuación: $yd\ máx = 25,08 - 13,49Wnat + 74,16LP$

Coefficiente de determinación r^2 (%): 68%

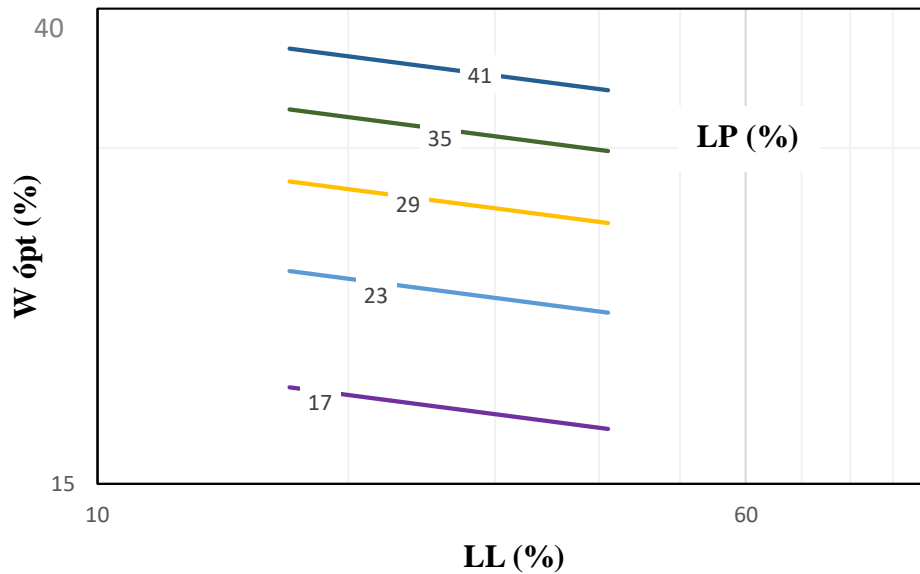
Discusión:

La correlación lineal múltiple de tres variables realizada entre la densidad seca máxima respecto a la humedad natural y el límite plástico presenta una tendencia regular, puede deberse a que el límite plástico y la densidad seca máxima son obtenidos mediante ensayos de laboratorio y la humedad natural es obtenida en campo. El coeficiente de determinación es $r^2 = 68\%$. La presente ecuación permite obtener un valor aproximado de la densidad seca máxima a partir del contenido de humedad del suelo y el límite plástico

Los datos considerados son 11, representando al 91,6% del total de las muestras. La gráfica permite obtener la $yd\ máx$ en un rango de 400 y 2400 kg/m^3 los valores de la humedad natural oscilan entre el 12%-32% siendo ambas inversamente proporcional y el valor del límite plástico es constante entre el 12%-32%.

Correlación N°: 11

HUMEDAD ÓPTIMA vs LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO



Ecuación: $W_{\text{ópt}} = \frac{2,5488}{LL^{0,0974} * LP^{-0,7936}}$

Coefficiente de determinación r^2 (%): 67%

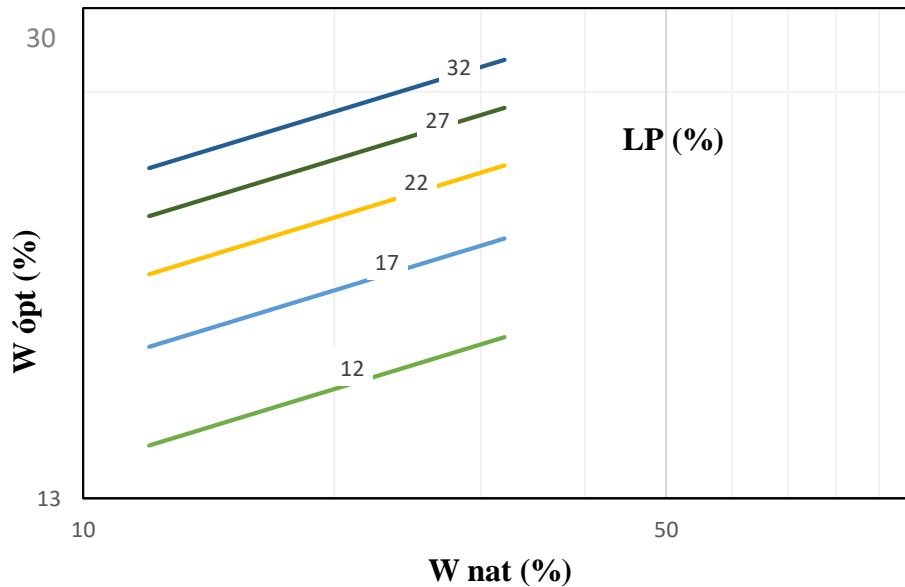
Discusión

La correlación potencial múltiple de tres variables realizada entre la humedad óptima respecto a los límites líquido y plástico presenta una tendencia regular, puede deberse a que los límites de consistencia vs la humedad óptima no presentan una buena correlación sea están entre dos o tres variables. El coeficiente de determinación es $r^2 = 67\%$. La presente ecuación permite obtener un valor aproximado del contenido de humedad óptimo a partir de los límites líquido y plástico.

Los datos considerados son 11, representando al 91,6% del total de las muestras. La gráfica permite obtener $W_{\text{ópt}} (\%)$ en un rango de 15% y 40%, los valores del $LL (\%)$ oscilan entre el 12% y 40% siendo ambas inversamente proporcional y el valor del límite plástico es constante entre el 17% -41%.

Correlación N°: 12

HUMEDAD ÓPTIMA vs HUMEDAD NATURAL - LÍMITE PLÁSTICO



Ecuación: $W_{\text{ópt}} = 2,6835W_{\text{nat}}^{(0,1884)}LP^{(0,4827)}$

Coefficiente de determinación r^2 (%): 73%

Discusión:

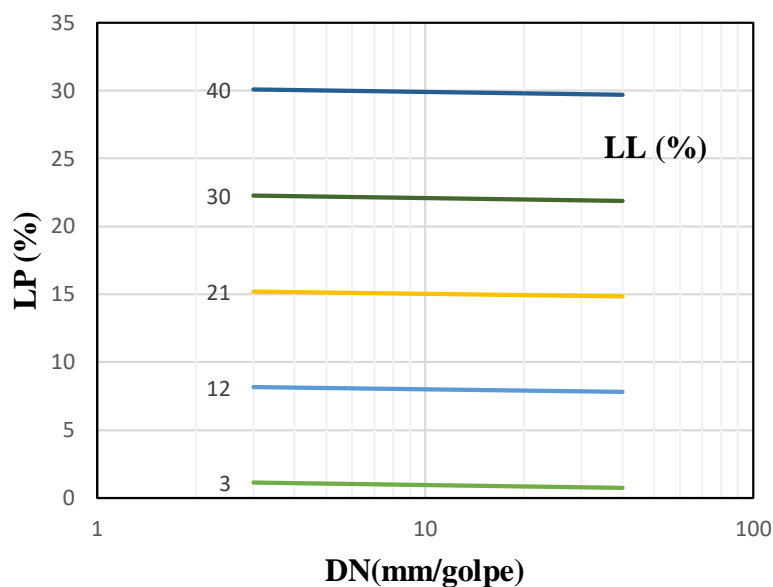
La correlación potencial múltiple de tres variables realizada entre la humedad óptima ($W_{\text{ópt}}$) respecto a la humedad natural (W_{nat}) y el límite plástico (LP) presenta una tendencia buena, la que puede deberse a que existe una relación directa entre la $W_{\text{ópt}}$ y W_{nat} ; y al ser correlacionada con LP implica una reducción en el coeficiente de determinación es $r^2 = 73\%$. La presente ecuación permite obtener un valor aproximado del contenido de humedad óptimo a partir de la W_{nat} y el LP

Los datos considerados son 11, representando al 91,6% del total de las muestras. La gráfica permite obtener $W_{\text{ópt}}$ (%) en un rango de 10% y 30%, los valores del W_{nat} (%) oscilan entre el 12% y 32% siendo ambas directamente proporcional y el valor del límite plástico es constante entre el 12% -32%

CORRELACIONES ÍNDICE DE PENETRACIÓN DN VS PROPIEDADES ÍNDICE

Correlación N°: 13

LÍMITE PLÁSTICO vs ÍNDICE DE PENETRACIÓN – LÍMITE LÍQUIDO



Ecuación: $LP = -1,0623 - 0,3295 \text{LOG}(DN) + 0,7823LL$

Coefficiente de determinación r^2 (%): 93%

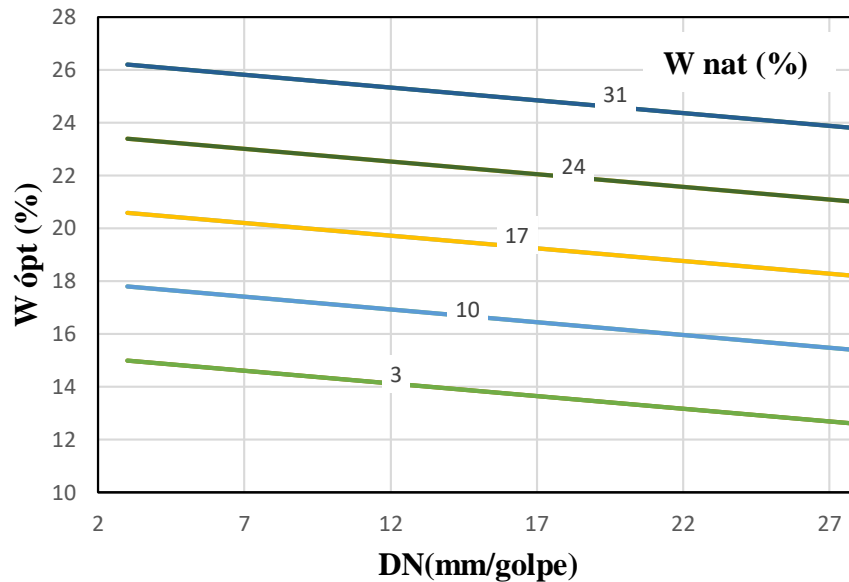
Discusión:

La correlación logarítmica múltiple de tres variables realizada entre el límite plástico respecto al índice de penetración (DN) y el límite líquido (LL) presenta una tendencia confiable, puede deberse a que los límites de consistencia son realizados en laboratorio en tanto el DCP es realizado bajo condiciones de humedad natural. El coeficiente de determinación es $r^2 = 93\%$. La presente ecuación permite obtener un valor aproximado del límite plástico a partir del DN y LL

Los datos considerados son 12, representando al 100% del total de las muestras. La gráfica permite obtener LP (%) en un rango entre 0% y 35%, con respecto al DN que oscila entre 3-40 (mm/golpe) y manteniendo constante el rango del LL entre 3% y 40%.

Correlación N°: 14

HUMEDAD ÓPTIMA vs ÍNDICE DE PENETRACIÓN – HUMEDAD NATURAL



Ecuación: $W \text{ ópt} = 14,0775 - 0,0963DN + 0,40W \text{ nat}$

Coefficiente de determinación r^2 (%): 64 %

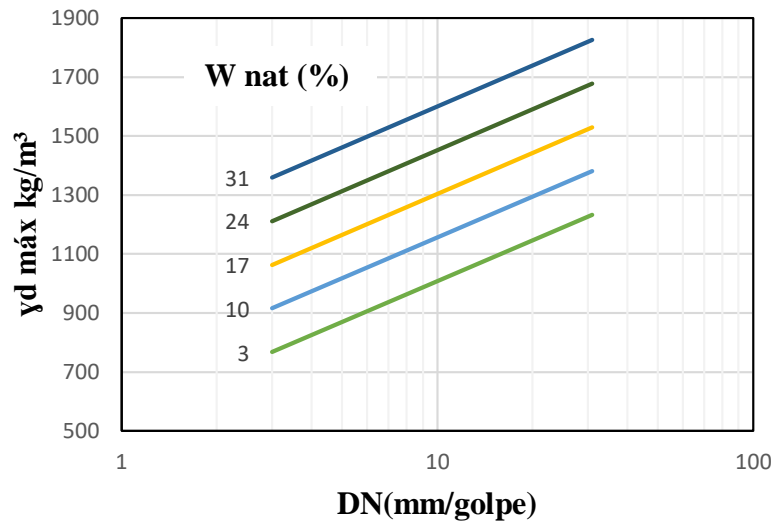
Discusión:

La correlación lineal múltiple de tres variables realizada entre la humedad óptima respecto al índice de penetración (DN) y la humedad natural (W nat) muestra una tendencia aceptable, puede deberse a que el ensayo del proctor es realizado con suelo en condiciones alteradas en tanto los ensayos de DCP Y W nat son obtenidos in situ. El coeficiente de determinación es $r^2 = 64\%$. La presente ecuación permite obtener un valor aproximado de humedad óptima a partir del DN y W nat.

Los datos considerados son 12, representando al 100% del total de las muestras. la gráfica permite obtener W ópt (%) en un rango entre 10% y 28%, respecto al DN que oscila entre 2-27 (mm/golpe) manteniendo constante el rango de la W nat entre 3% y 31%.

Correlación N°: 15

DENSIDAD SECA MÁXIMA vs ÍNDICE DE PENETRACIÓN – HUMEDAD NATURAL



Ecuación: $\gamma d_{máx} = 484,60 + 459,12 \log(DN) + 21,19W_{nat}$

Coefficiente de determinación r^2 (%): 73%

Discusión:

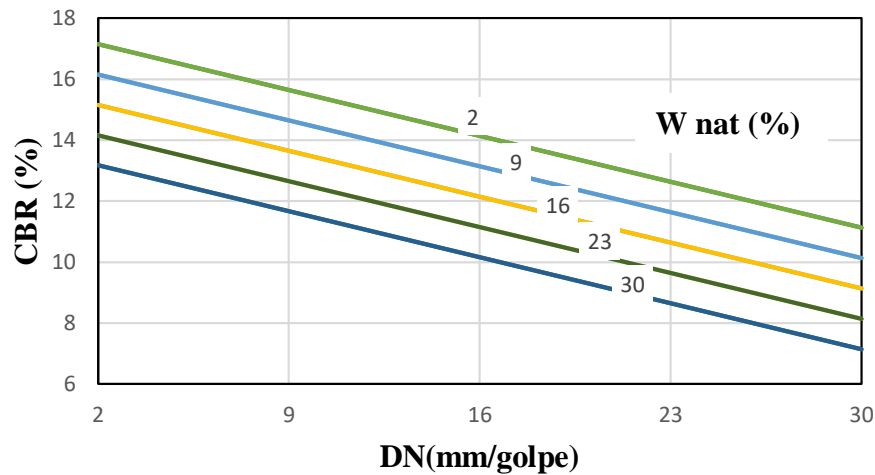
La correlación logarítmica múltiple de tres variables realizada entre la densidad seca máxima ($\gamma d_{máx}$) respecto al índice de penetración (DN) y la humedad natural (W nat) muestra una tendencia aceptable, puede deberse a que el ensayo del proctor es realizado con suelo en condiciones alteradas en tanto los ensayos de DCP Y W nat son obtenidos en situ. El coeficiente de determinación $r^2 = 73\%$. La presente ecuación permite obtener un valor aproximado de la densidad seca máxima a partir del DN y W nat.

Los datos considerados son 11, representando al 91,6% del total de las muestras. la gráfica permite obtener la γd seca máxima en un rango entre 700 -1900 kg/m³ respecto al DN que oscila entre 2-30 (mm/golpe) manteniendo constante el rango de la W nat entre 3% y 31%.

CORRELACIONES ENTRE LA RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) Y PROPIEDADES ÍNDICE

Correlación N°: 16

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA vs ÍNDICE DE PENETRACIÓN – HUMEDAD ÓPTIMA



Ecuación: $CBR\% = 17,8625 - 0,2152DN - 0,1421W_{\acute{o}pt}$

Coefficiente de determinación r^2 (%): 77%

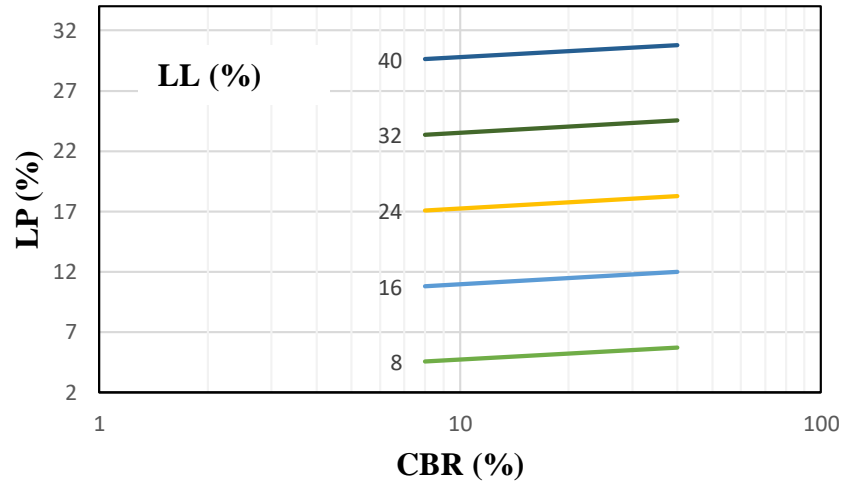
Discusión:

La correlación lineal múltiple de tres variables realizada entre la relación de soporte de california (CBR) respecto al índice de penetración (DN) y la humedad óptima ($W_{\acute{o}pt}$) presenta una tendencia aceptable, debido a que las muestras analizadas pertenecen al mismo grupo de clasificación (AASHTO A-2-4) lo que permite una variación mínima en sus contenidos de humedad óptimo alcanzando un coeficiente de determinación $r^2 = 77\%$. La presente ecuación permite obtener un valor aproximado de la relación de soporte de california a partir del DN y $W_{\acute{o}pt}$.

Los datos considerados son 11, representando al 91,6% del total de las muestras. la gráfica permite obtener CBR% en un rango entre el 6%-18% revelando una relación indirectamente proporcional con el DN que oscila entre 2-30 (mm/golpe) manteniendo constante el rango del contenido de humedad óptimo entre 2% y 30%.

Correlación N°: 17

LÍMITE PLÁSTICO vs RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA – LÍMITE LÍQUIDO



Ecuación: $LP\% = -3,2425 + 1,6779LOG(CBR) + 0,7840LL$

Coefficiente de determinación r^2 (%): 93%

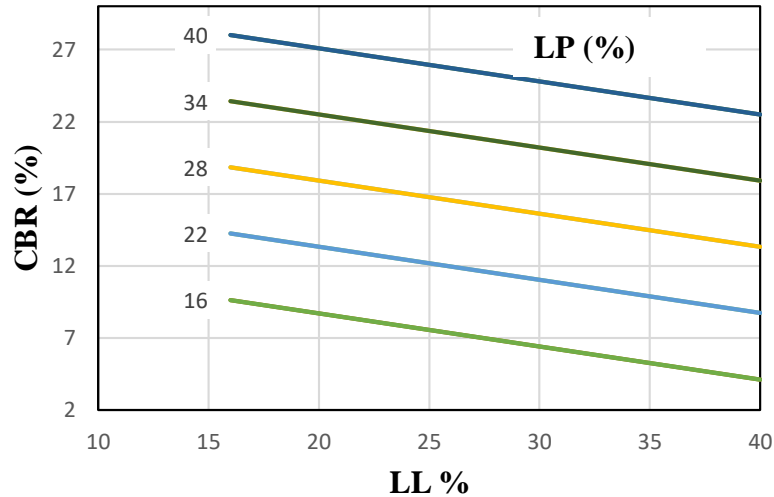
Discusión:

La correlación logarítmica múltiple de tres variables realizada entre el límite plástico (LP) respecto a la relación de soporte de california (CBR) y el límite líquido (LL) presenta una tendencia confiable, debido a que las muestras analizadas pertenecen al mismo grupo de clasificación (AASHTO A-2-4) y las tres variables son determinadas bajo condiciones de humedad controlada. El coeficiente de determinación es $r^2 = 93\%$. La presente ecuación permite obtener un valor aproximado del límite plástico a partir del CBR y LL.

Los datos considerados son 12, representando al 100% del total de las muestras. la gráfica permite obtener LP% en un rango entre el 2%-32% revelando una relación directamente proporcional con el CBR que oscila entre 8%-40% manteniendo constante el rango del límite líquido entre 8% y 40%.

Correlación N°: 18

**RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA vs LÍMITE LIQUIDO –
LÍMITE PLASTICO**



Ecuación: $CBR\% = 1,0718 - 0,2294LL + 0,7654 LP$

Coefficiente de determinación r^2 (%): 70%

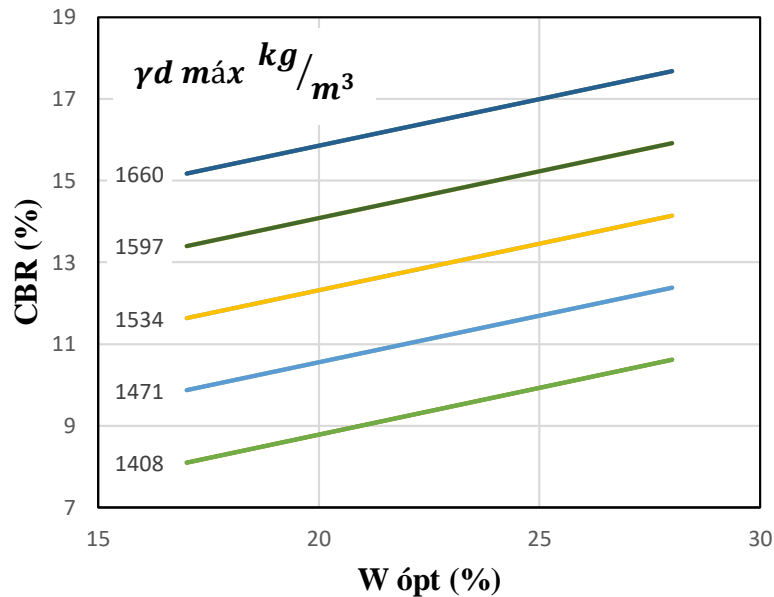
Discusión:

La correlación lineal múltiple de tres variables realizada entre la relación de soporte de california (CBR) respecto al límite líquido (LL) y límite plástico (LP) presenta una tendencia buena, debido a que las muestras analizadas pertenecen al mismo grupo de clasificación (AASHTO A-2-4) y las tres variables son determinadas bajo condiciones de humedad controlada. El coeficiente de determinación es $r^2 = 70\%$. La presente ecuación permite obtener un valor aproximado de la relación de soporte de california a partir de LL y LP.

Los datos considerados son 10, representando al 83,33% del total de las muestras. la gráfica permite obtener el CBR% en un rango entre el 2%-27% revelando una relación con el LL que oscila entre 10%-40% manteniendo constante el rango del límite plástico entre 16% y 40%.

Correlación N°: 19

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA vs HUMEDAD ÓPTIMA - DENSIDAD SECA MÁXIMA



Ecuación: $CBR\% = -35,2536 + 0,2282W \text{ ópt} + 0,028\gamma d \text{ máx}$

Coefficiente de determinación r^2 (%): 63%

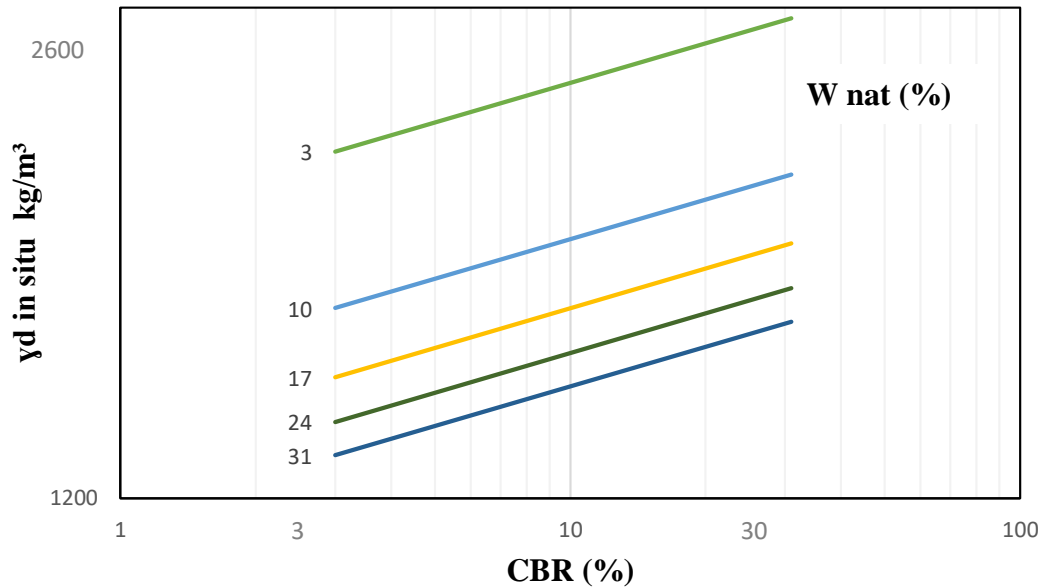
Discusión:

La correlación lineal múltiple de tres variables realizada entre la relación de soporte de california (CBR) respecto a la humedad óptima ($W \text{ ópt}$) y la densidad seca máxima ($\gamma d \text{ máx}$) presenta una tendencia regular. El coeficiente de determinación es $r^2 = 64\%$. La presente ecuación permite obtener un valor aproximado de la relación de soporte de california a partir de la $W \text{ ópt}$ y la $\gamma d \text{ máx}$.

Los datos considerados son 10, representando al 83,3% del total de las muestras. la gráfica permite obtener CBR% en un rango entre el 7%-19% revelando una relación directamente proporcional con $W \text{ ópt}$ (%) que oscila entre 15%-30% manteniendo constante el rango de la densidad seca máxima entre 1408-1660 kg/m^3 .

Correlación N°: 20

**DENSIDAD SECA IN SITU vs RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA
- HUMEDAD NATURAL**



Ecuación: $\gamma d \text{ in situ} = \frac{2350,0549}{CBR^{-0,0901} * Wnat^{0,2048}}$

Coefficiente de determinación r^2 (%): 67%

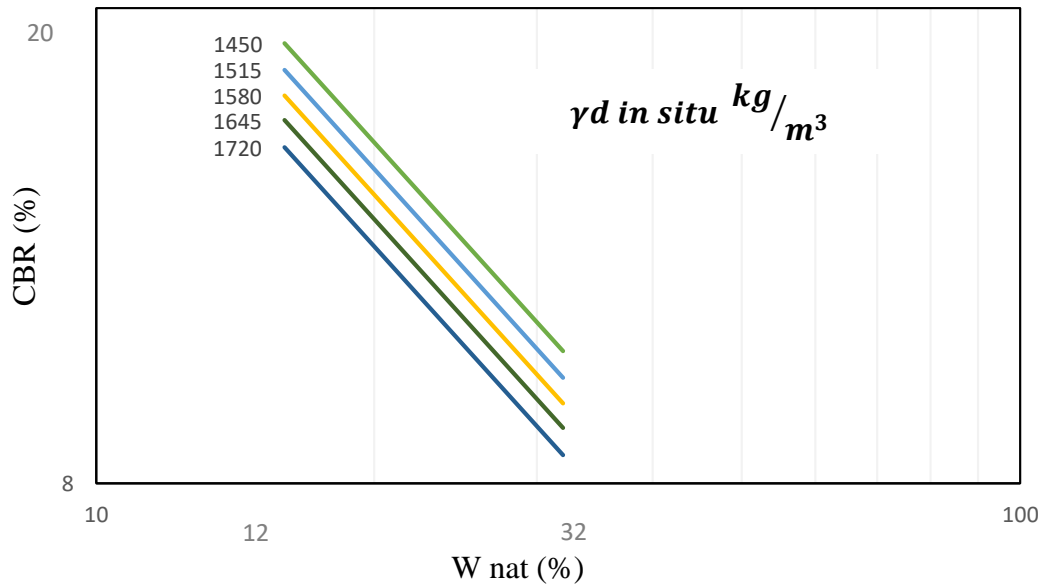
Discusión:

La correlación potencial múltiple de tres variables realizada entre la densidad seca in situ ($\gamma d \text{ in situ}$) respecto a la relación de soporte de California (CBR) y la humedad natural (W nat) presenta una tendencia regular, debido el CBR es realizado bajo condiciones de humedad controlada a diferencia de la $\gamma d \text{ in situ}$ y W nat. El coeficiente de determinación es $r^2 = 67\%$. La presente ecuación permite obtener un valor aproximado de la densidad seca in situ a partir del CBR y W nat.

Los datos considerados son 12, representando al 100% del total de las muestras. la gráfica permite obtener la γd seca in situ en un rango entre el 1200-2600 kg/m³, revelando una relación directamente proporcional con el CBR que oscila entre 3%-30% manteniendo constante el rango de la humedad natural entre 3% y 31%.

Correlación N°: 21

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA vs HUMEDAD NATURAL - DENSIDAD SECA IN SITU



$$\text{Ecuación: } CBR\% = \frac{5533870,41}{W_{nat}^{0,8591} * \gamma d \text{ in situ}^{1,4003}}$$

Coefficiente de determinación r^2 (%): 64%

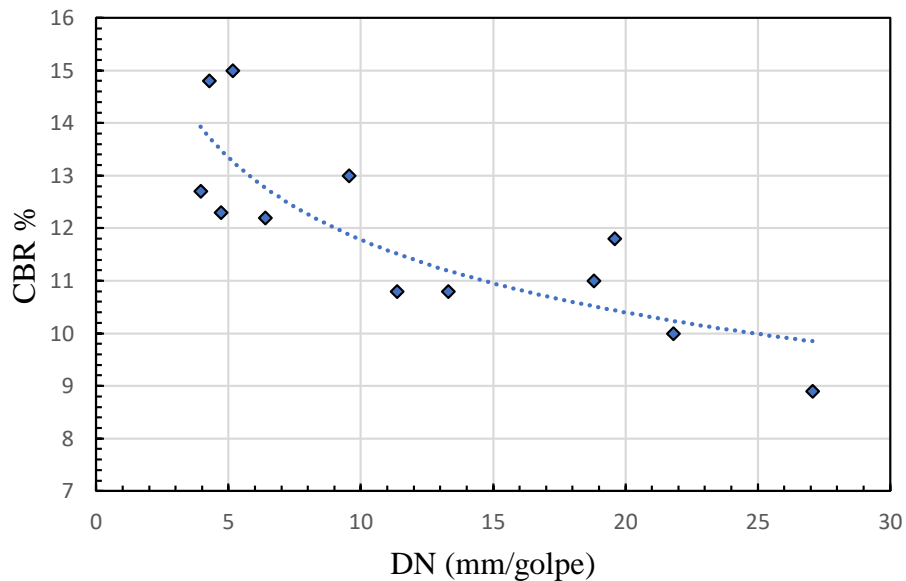
Discusión:

La correlación potencial múltiple de tres variables realizada entre la relación de soporte de california (CBR) respecto a la humedad natural (W nat) y la densidad seca in situ (γd in situ) presenta una tendencia regular, debido el CBR es realizado bajo condiciones de humedad controlada a diferencia de la γd in situ y W nat. El coeficiente de determinación es $r^2 = 64\%$. La presente ecuación permite obtener un valor aproximado de la relación de soporte de california a partir de la W nat y la γd seca in situ.

Los datos considerados son 11, representando al 91,6% del total de las muestras. la gráfica permite obtener el CBR en un rango entre el 8% - 20% revelando una relación indirectamente proporcional con la W nat que oscila entre 12%-32% manteniendo constante el rango de la γd seca in situ entre 1450 y 1720 kg/m³.

Correlación N°: 22

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA vs ÍNDICE DE PENETRACIÓN



Ecuación: $CBR\% = 18,432DN^{-0,18}$

Coefficiente de determinación r^2 (%): 76%

Discusión:

La correlación exponencial de dos variables realizada entre el índice de penetración (DN) y la relación de soporte de california (CBR) presenta una tendencia aceptable, considerando que ambos ensayos miden la resistencia que presenta el suelo a la penetración, el primero realizado en campo bajo condiciones de humedad natural y el CBR realizado en laboratorio bajo condiciones de humedad óptima. Las muestras analizadas pertenecen al mismo grupo de clasificación (AASHTO A-2-4). El coeficiente de determinación es $r^2 = 76\%$. La presente ecuación permite obtener un valor aproximado de la relación de soporte de california a partir del DN.

Los datos considerados son 12, representando al 100% del total de las muestras. la gráfica permite obtener el valor de CBR% en un rango entre el 7%-16% revelando una relación indirectamente proporcional con el DN donde sus valores oscilan entre 0-30 (mm/golpe).

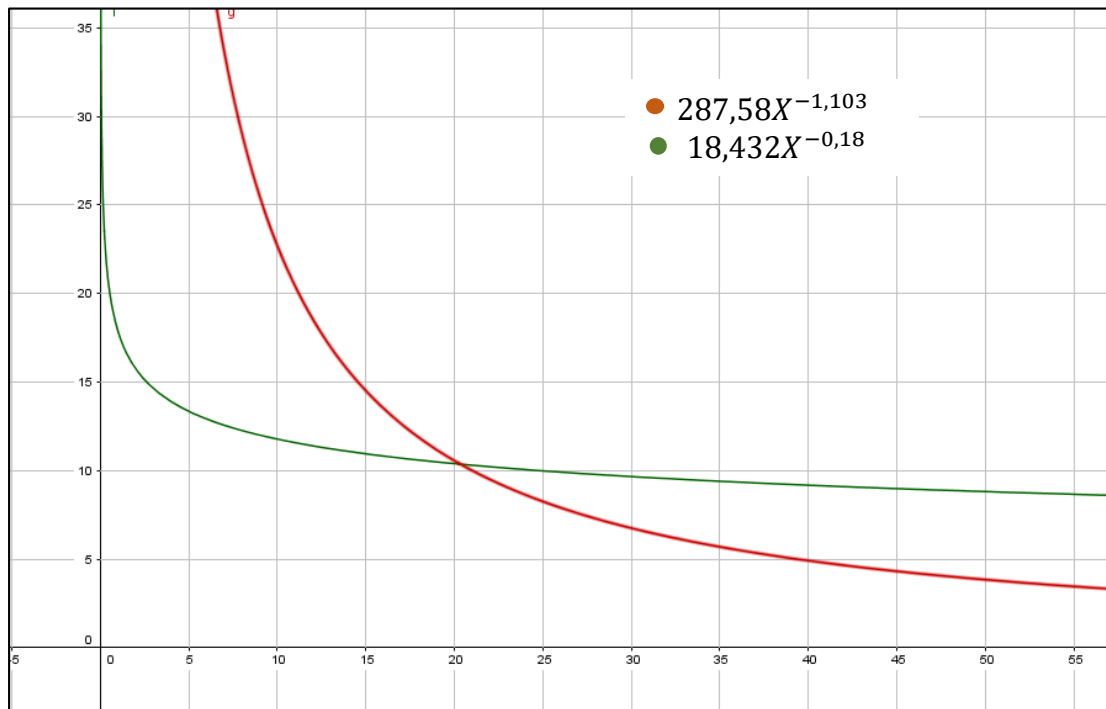


Figura 29. Comparación entre las ecuaciones que relacionan el CBR y DCP

Fuente: Lesly Garzón

Por medio de las del ensayo en campo realizado con el DCP y el CBR% de laboratorio se pudo obtener la ecuación $CBR\% = 18,432DN^{-0,18}$.

3.1.1.2 Análisis del diseño del pavimento

Diseño del Pavimento flexible

El diseño se lo realizó con un valor de CBR = 13% obtenido en laboratorio, perteneciente a la vía Cachilvana Grande ubicada en la Parroquia Quisapincha

Cálculo del número de ejes equivalentes total (W18)

Tabla 31. Número de ejes equivalentes W18

Año	% crecimiento			TRANSITO PROMEDIO DIARIO			PESADOS		W18 Acumulado	W18 Por sentido	W18 Por carril diseño
	Livianos	Buses	Pesados	Livianos	Buses	Pesados	2DA	2DB			
2019	3,97	1,97	1,94	82	5	16	9	7	17699	8849	8849
2020	3,97	1,97	1,94	85	5	16	9	7	35742	17871	17871
2021	3,57	1,78	1,74	88	5	17	9	7	54099	27050	27050
2022	3,57	1,78	1,74	91	5	17	9	7	72777	36388	36388
2023	3,57	1,78	1,74	95	5	17	10	8	91780	45890	45890
2024	3,57	1,78	1,74	98	5	17	10	8	111115	55558	55558
2025	3,57	1,78	1,74	102	6	18	10	8	130788	65394	65394
2026	3,25	1,62	1,58	105	6	18	10	8	150771	75386	75386
2027	3,25	1,62	1,58	108	6	18	10	8	171072	85536	85536
2028	3,25	1,62	1,58	112	6	19	10	8	191694	95847	95847
2029	3,25	1,62	1,58	115	6	19	11	8	212643	106321	106321
2030	3,25	1,62	1,58	119	6	19	11	8	233924	116962	116962
2031	3,25	1,62	1,58	123	6	20	11	9	255542	127771	127771
2032	3,25	1,62	1,58	127	6	20	11	9	277502	138751	138751
2033	3,25	1,62	1,58	131	6	20	11	9	299810	149905	149905
2034	3,25	1,62	1,58	135	6	20	12	9	322472	161236	161236
2035	3,25	1,62	1,58	140	7	21	12	9	345493	172746	172746
2036	3,25	1,62	1,58	144	7	21	12	9	368878	184439	184439
2037	3,25	1,62	1,58	149	7	21	12	9	392634	196317	196317
2038	3,25	1,62	1,58	154	7	22	12	10	416767	208383	208383
2039	3,25	1,62	1,58	159	7	22	12	10	441281	220641	220641

Fuente: Lesly Garzón

La vía que se encuentra en estudio consta de un carril en cada dirección

$$W18_{CARRIL DE DISEÑO} = W18_{ACUMULADO} * DD * DC$$

$$W18_{CARRIL DE DISEÑO} = 441281 * 1,0 * 0,5$$

$$W18_{CARRIL DE DISEÑO} = 220641$$

Tabla 32. Datos para el cálculo del número estructural

Datos de ingreso al programa	
Número de ejes equivalentes total (w18)	220641
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)	15892
Serviciabilidad inicial (pi)	4,2
Serviciabilidad final (pt)	2

Fuente: Lesly Garzón

Figura 30. Ecuación de la AASHTO 93 (CBR% de laboratorio)

Fuente: Lesly Garzón

Número estructural de la sub-rasante **SN=1,86**

Tabla 33. Valores para el diseño del pavimento flexible (CBR% laboratorio)

Características de materiales	
Módulo de elasticidad de la mezcla asfáltica (ksi)	430,00
Módulo de resiliencia de la base granular (ksi)	28,70
Módulo de resiliencia de la Sub-base (ksi)	14,80
Datos de tráfico y propiedades de la sub-rasante	
Número de ejes equivalentes total (w18)	220641
Factor de confiabilidad (r)	80%
Desviación estándar normal (zr)	-0,841
Desviación estándar global (so)	0,45
Módulo de resiliencia de la sub-rasante (Mr, ksi)	15,89
Serviciabilidad inicial (pi)	4,2
Serviciabilidad final (pt)	2
Periodo de diseño (años)	20
Datos para estructuración del refuerzo coeficientes estructurales de capa	
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)	0,463
Base granular (a ₂)	0,133
Sub-base (a ₃)	0,108
Coefficientes de drenaje de capa	
Base granular (m ₂)	1,15
Sub-base (m ₃)	1,15

Fuente: Lesly Garzón

Diseño del pavimento flexible
Método AASHTO 1993

Tabla 34. Cálculo de la estructura del pavimento

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)			14,80
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			220.641
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)			15,89
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)			2,0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)			0,463
Base granular (a ₂)			0,133
Subbase (a ₃)			0,108
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})		1,85	
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})		1,43	
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BC})		0,45	
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})		-0,02	
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	7,8 cm	5,0 cm	0,91
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	7,4 cm	10,0 cm	0,60
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	-0,5 cm	15,0 cm	0,73
ESPESOR TOTAL (cm)		30,0 cm	2,25

Fuente: Lesly Garzón

Espesores de diseño de las capas estructurales del pavimento flexible

Tabla 35. Espesores de las capas del pavimento

PROPUESTA DE DISEÑO		
TEORICO	ESPESOR	SN*
7,8 cm	5,0 cm	0,91
7,4 cm	10,0 cm	0,60
-0,5 cm	15,0 cm	0,73
	30,0 cm	2,25

Fuente: Lesly Garzón

La suma de los números estructurales de las capas que constituyen el pavimento debe ser mayor o igual al número estructural de la sub-rasante.

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

$$0,91 + 0,60 + 0,73 \geq 1,86$$

$$2,25 \geq 1,86$$

Diseño del Pavimento flexible

El diseño pertenece a la vía Calchivana Grande con un valor de CBR = 11,20% obtenido mediante la presente correlación $CBR\% = 14,373 * DN^{-0,18}$.

Tabla 36. Datos para el cálculo del número estructural

Datos de ingreso al programa	
Número de ejes equivalentes total (w18)	220641
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)	14442
Serviciabilidad inicial (pi)	4,2
Serviciabilidad final (pt)	2

Fuente: Lesly Garzón

Figura 31. Ecuación de la AASHTO 93 (CBR% obtenido por correlación)

Fuente: Lesly Garzón

Número estructural de la sub-rasante **SN=1,93**

Tabla 37. Valores para el diseño del pavimento flexible (CBR% obtenido con la correlación N°22)

Características de materiales	
Módulo de elasticidad de la mezcla asfáltica (ksi)	430,00
Módulo de resiliencia de la base granular (ksi)	28,70
Módulo de resiliencia de la Sub-base (ksi)	14,80
Datos de tráfico y propiedades de la sub-rasante	
Número de ejes equivalentes total (w18)	220641
Factor de confiabilidad (r)	80%
Desviación estándar normal (zr)	-0,841
Desviación estándar global (so)	0,45
Módulo de resiliencia de la sub-rasante (Mr, ksi)	14,44
Serviciabilidad inicial (pi)	4,2
Serviciabilidad final (pt)	2
Periodo de diseño (años)	20
Datos para estructuración del refuerzo coeficientes estructurales de capa	
Concreto Asfáltico Convencional (a1)	0,463
Base granular (a2)	0,133
Sub-base (a3)	0,108
Coefficientes de drenaje de capa	
Base granular (m2)	1,15
Sub-base (m3)	1,15

Fuente: Lesly Garzón

Diseño del pavimento flexible
Método AASHTO 1993

Tabla 38. Cálculo de las capas del pavimento

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)			14,80
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			220.641
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)			14,44
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)			0,463
Base granular (a ₂)			0,133
Subbase (a ₃)			0,108
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})		1,92	
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})		1,43	
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})		0,45	
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})		0,04	
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	7,8 cm	5,0 cm	0,91
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	7,4 cm	10,0 cm	0,60
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	0,9 cm	15,0 cm	0,73
ESPESOR TOTAL (cm)		30,0 cm	2,25

Fuente: Lesly Garzón

Espesores de diseño de las capas estructurales del pavimento flexible

Tabla 39. Espesor de las capas del pavimento

PROPUESTA DE DISEÑO		
TEORICO	ESPESOR	SN*
7,8 cm	5,0 cm	0,91
7,4 cm	10,0 cm	0,60
0,9 cm	15,0 cm	0,73
	30,0 cm	2,25

La suma de los números estructurales de las capas que constituyen el pavimento debe ser mayor o igual al número estructural de la sub-rasante.

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

$$0,91 + 0,60 + 0,73 \geq 1,93$$

$$2,25 \geq 1,93$$

3.2 Verificación de la hipótesis

Basados en la tabla N°30 la correlación N° 16 es buena, ya que presenta un coeficiente de determinación del 77% entre la relación de soporte de california (CBR%) respecto al índice de penetración (DN) y la humedad natural (W nat).

Basados en la tabla N°30 la correlación N° 17 es excelente, ya que presenta un coeficiente de determinación del 93% entre el límite plástico (LP%) respecto a la relación de soporte de california (CBR) y el límite líquido (LL%).

Basados en la tabla N°30 la correlación N° 18 es buena, ya que presenta un coeficiente de determinación del 70% entre la relación de soporte de california (CBR%) respecto al límite líquido (LL%) y el límite plástico (LP%).

Basados en la tabla N°30 la correlación N° 19 es aceptable, ya que presenta un coeficiente de determinación del 63% entre la relación de soporte de california (CBR%) respecto a la humedad natural (W nat) y la densidad seca máxima (γ_d máx).

Basados en la tabla N°30 la correlación N° 20 es aceptable, ya que presenta un coeficiente de determinación del 67% entre la densidad seca in situ (γ_d in situ).respecto a la relación de soporte de california (CBR%) y la humedad natural (W nat).

Basados en la tabla N°30 la correlación N° 21 es aceptable, ya que presenta un coeficiente de determinación del 64% entre la relación de soporte de california (CBR%) respecto a la humedad natural (W nat%) y la densidad seca in situ (γ_d in situ).

Basados en la tabla N°30 la correlación N° 22 es aceptable, ya que presenta un coeficiente de determinación del 76% entre la relación de soporte de california (CBR%) respecto al índice de penetración (DN).

CAPITULO IV

4.1 Conclusiones y recomendaciones

- Se determinó las propiedades físico-mecánicas de las muestras de suelos de las parroquias Ambatillo y Quisapincha lo que permitió la clasificación de los suelos, como A-2-4 (grava y arena limosa o arcillosa) a través de la AASHTO y por medio de la SUCS como SM (arenas limosas, mezcla arena – limo) y SC (arenas arcillosas, mezclas arena – arcilla).
- Se estableció que la correlación lineal múltiple de tres variables entre la relación de soporte de california (CBR%) respecto al índice de penetración (DN) y la humedad natural (W nat) es la que presenta el mejor coeficiente de determinación $r^2=77\%$, expresando una relación indirectamente proporcional debido a que si se incrementa el valor del DN se produce una disminución del CBR% y viceversa
- Se estableció que la correlación potencial de dos variables obtenida entre la relación de soporte de california (CBR%) respecto al índice de penetración (DN mm/golpe) es aceptable, presentando un coeficiente de determinación $r^2=76\%$, expresando una relación indirectamente proporcional debido a que si incrementa el valor del DN se produce una disminución del CBR% y viceversa.
- Se realizó el diseño del pavimento flexible para la vía Cachilvana Grande con el CBR% de laboratorio y el obtenido con la correlación (N°22) respecto al índice de penetración (DN), el mismo que no presentó variaciones importantes en los espesores teóricos de la estructura del pavimento.

- En el diseño definitivo de la estructura del pavimento se utilizó los espesores mínimos especificados en la norma AASHTO, razón por la cual las variaciones mencionadas en el párrafo anterior resultan irrelevantes para dicho diseño.
- Se georreferenció los puntos de ubicación de las muestras de suelos analizadas indicando las coordenadas y su respectiva clasificación SUCS. Indicando evidentemente que los suelos estudiados son granulares, verificando de esta manera la hipótesis inicial.
- Se realizó correlaciones entre las propiedades índice y mecánicas de los suelos granulares de las cuales se presentan en la tabla N°30 aquellas que proporcionan relaciones confiables en su aplicación, a partir de un coeficiente de determinación superior al 50% llegando al 93%.
- Se determinó que las correlaciones realizadas entre las propiedades determinadas en laboratorio presentó un mejor coeficiente de determinación r^2 respecto elaboradas por medio de ensayos de campo, esto puede deberse a que las muestras de laboratorio se las realiza en condiciones de humedad y densidad controladas.
- Se observó en la figura N°28 una similitud en la tendencia gráfica de la curva determinada con el índice de penetración (DN) de las muestras analizadas respecto a la de la norma ASTM, ya que ambas presentan una curva potencial hay que tener en cuenta que la curva propuesta en esta investigación es aplicable solamente para el tipo de suelos analizados.
- Se determinó que el índice de penetración (DN) permite conocer la resistencia al corte in situ de los suelos. La correlación obtenida entre la densidad seca

máxima respecto al DN y la humedad natural es buena con un coeficiente de determinación $r^2=73\%$. Esto podría permitir determinar la densidad seca máxima a partir de los valores de campo obtenidos.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda aplicar las correlaciones propuestas en suelos que se encuentren en la misma clasificación y sus propiedades índice o mecánicas sean próximas a las presentadas.
- Es recomendable ampliar la base de datos que nos permita tener una mayor información de las propiedades índice y mecánicas de los suelos, de esta manera mejorar las correlaciones entre las propiedades físico mecánicas del suelo granular de la provincia de Tungurahua.
- Se recomienda ampliar las correlaciones entre las propiedades índice y mecánicas a suelos finos, para poder determinar su comportamiento respecto al índice de penetración (DN) y CBR% de laboratorio.
- Se recomienda utilizar las correlaciones presentadas para un diseño preliminar de las capas que conforman la estructura del pavimento ya que permite una reducción de tiempo y costos.
- Es necesario en ciertas correlaciones descartar algunos valores de las propiedades obtenidas que se alejan a la tendencia de las demás muestras, permitiendo mejorar las correlaciones entre las variables analizadas.

- Finalmente, es fundamental la recopilación 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 confiables.

MATERIALES DE REFERENCIA

Referencia Bibliográficas

- [1] J. Kogan , J. C. Saavedra y F. Wulff, «Mantenimiento vial. Informe Sectorial,» Corporación Andina de Fomento, 2010.
- [2] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Convenio de Cooperación no reembolsable, Febrero 2014.
- [3] L. Morales , L. Márquez Díaz y L. F. Macea Mercado, «Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo,» *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. XVII, nº 2, p. 13, 2015.
- [4] F. Viscarra Agreda, *El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos*, Bolivia: Universidad privada Bolivia, 2006.
- [5] A. Refeai y A. Suhaibani, «Prediction of CBR Using Dynamic Cone Penetrometer,» *Engineering Sciences* , vol. 9, nº 2, p. 3, 2003.
- [6] J. F. León Calderón y . R. B. Zeas Cárdenas, DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE LOS ÍNDICES, Cuenca: Universidad de Cuenca, 2017.
- [7] Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador Subsecretaría de Infraestructura del Transporte Norma ecuatoriana vial NEVI -12-MTOP Volumen 6 Conservación Vial, Quito, 2013.
- [8] D. K. Talukdar, «A study of correlation between california bearing ration (CBR) value with other properties of soil,» *Exploring Research and innovations*, vol. 4, nº 1, p. 4, 2014.

- [9] K. Valentine Yato, M. Souleyman Moupe, M. Bertille, L. W. Armand Sylvain y A. B. Lawrence, «Correlation of California Bearing Ration (CBR) Value with Soil Properties of Road Subgrade Soil,» *ResearchGate*, p. 19, 2018.
- [10] F. Yandun, Determinación del CBR de laboratorio en suelos granulares con el DCP para la aplicación en el diseño de pavimentos de caminos vecinales, Quito: Pontífica Universidad Central del Ecuador, 2001.
- [11] Y. M. Purwana y H. Nikraz, «The correlation between the CBR and Shear Strength,» *International Journal of Transportation Engineering*, vol. 1, nº 3, p. 12, 2014.
- [12] k. Valwntine Yato y M. Souleyman Moupe, «Correlation between california bering ration (CBR) value with soil properties of road subgrade soil,» *Geotech Geol Eng*, p. 19, 2018.
- [13] F. Wilches Jove, J. J. Feria Días y J. R. Hernandez Ávila, «Correlation Between California Bering Ration (CBR) and Dynamic Cone Penetrometer (DCP) For Soil From Sincelejo City in Colombia,» *Research India Publication*, vol. 13, p. 4, 2018.
- [14] P. Berry L. y D. Reid, *Mecánica de Suelos*, Santafé de Bogotá: McGraw, 1993.
- [15] C. Villalaz, *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, México Limusa: ISBN, 2010.
- [16] F. P. Portilla Yandún y A. D. C. Pillajo de la Cruz, Determinación del CBR de laboratorio en suelos granulares y su correlación con el DCP para la aplicación en el diseño de pavimentos de caminos vecinales, Quito, 2001.
- [17] L. Pérez, *Mecánica de Suelos*, Ambato .
- [18] K. Terzaghi y R. B. Peck, *Macánica de Suelos en la Ingeniería Práctica*, Barcelona: El Ateneo , 1963.

- [19] E. Juárez Badillo y R. Rico, *Macánica de Suelos, Fundamentos de la mecánica de suelos*, México: Limusa , 2014.
- [20] J. Ricaldoni, *Tablas y Ábacos, Curso de Geología de Ingeniería e Introducción a la Mecánica de Suelos*, Montevideo, Uruguay, 2008.
- [21] D. Braja M, *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica cuarta edición*, México : CENGAGE Learning, 2013.
- [22] J. R. Benites Saldaña, Artist, *Evaluación del Diseño Estructural de Pavimentos en Calles Urbanas*. [Art]. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, 2001.
- [23] W. E. Zambrano Zambrano, *Diseño Estructural de Pavimentos*, Machala, 2016.
- [24] H. A. Rondón Quintana y F. A. Reyes Lizcano, *Pavimentos Materiales Construcción y Diseño*, Bogotá: ECOE, 2015.
- [25] J. Coronado Iturbide, «Manual Centroamericano para el diseño de Pavimentos, Agencia de los Estados Unidos para el desarrollo internacional, Secretaria de Integración económica Centroamericana,» 2002.
- [26] Corea y Asociados S.A., *Manual para la Revisión de Diseño de Pavimentos*, Nicaragua, 2008.
- [27] W. . M. Hurtado Arias, Artist, *Evaluación funcional y estructural para determinar el deterioro de la*. [Art]. UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR, 2016.
- [28] Á. A. Angamarca Solano, Artist, *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 la ciudad de Quito*. [Art]. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas, Carrera de Ingeniería Civil, 2013.

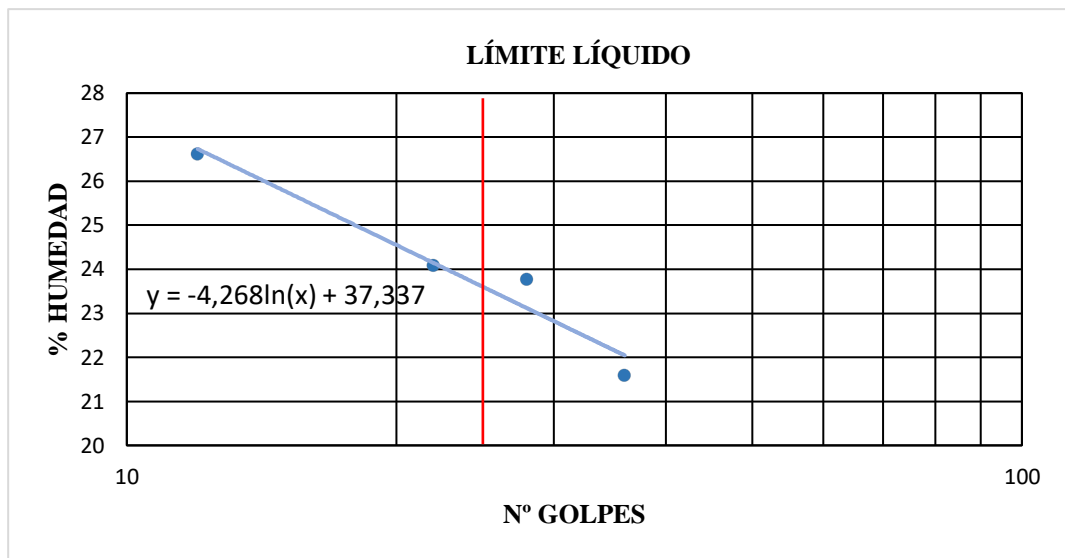
- [29] F. L. Castaño Martínez, J. M. Herrera Betín, J. N. Gómez Sáenz y F. Reyes Lizcano, «Análisis cualitativo del flujo de agua de infiltración para el control del drenaje de una estructura de pavimento flexible en la ciudad de Bogotá D.C.,» *ResearchGate*, vol. 11, n° 22, p. 6, 2012.
- [30] D. E. González Morgado, Artist, *Metodologías de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo tránsito*. [Art]. Universidad Andres Bello, Facultad de Ingeniería en Construcción, 2018.
- [31] A. A. JAIME, Guía para el diseño de pavimentos de concreto asfáltico, Cochabamba Bolivia, Abril del 2004.
- [32] M. d. t. y. o. p. d. Ecuador, Norma ecuatoriana vial NEVI-12-MTOP Volumén N°2 Libro A Norma para estudios y diseños viales, Quito: INDEPO COA, 2013.
- [33] S. M. Tonato Tonato, Rediseño geométrico y diseño del pavimento flexible de la vía que une Quilajalo, Salache Angamarca, Angamarca calle, perteneciente a la parroquia San Miguel del cantón Salcedo Provincia de Cotopaxi, Ambato, 2016.
- [34] G. Corredor M., Experimento viál de la AASTO y las guías de diseño AASHTO, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Tecnología de la Construcción, Programa de capacitación Académica.
- [35] M. R. Spiegel y L. J. Stephens, Estadística Schaum, México: McGraw-Hill, 2013.

Anexos

Anexo I. Tablas resumen de los ensayos realizados en campo y laboratorio

ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO-COPA CASAGRANDE-AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
12	30,90	39,00	37,30	26,56	26,61
	30,80	38,40	36,80	26,67	
22	30,60	42,30	40,10	23,16	24,08
	24,40	37,40	34,80	25,00	
28	57,30	65,90	64,30	22,86	23,76
	30,50	39,60	37,80	24,66	
36	30,50	39,10	37,50	22,86	21,58
	30,00	37,70	36,40	20,31	
PROMEDIO LIMITE LÍQUIDO					24,01



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
1	10,5	11,9	11,7	16,67	16,91
2	11	12,5	12,3	15,38	
3	10,4	11,8	11,6	16,67	
4	7,1	9,1	8,8	17,65	
5	7,4	8,7	8,5	18,18	

LÍMITES DE ATTERBERG

Límite líquido:	23,60 %
Límite plástico:	16,91 %
Índice Plástico:	6,69 %

Clasificación del Suelo:

Sistema	AASHTO	A-2-4	Grava y arena limosa o arcillosa
	SUCS	SM	Arenas limosas, mezclas arena - limo

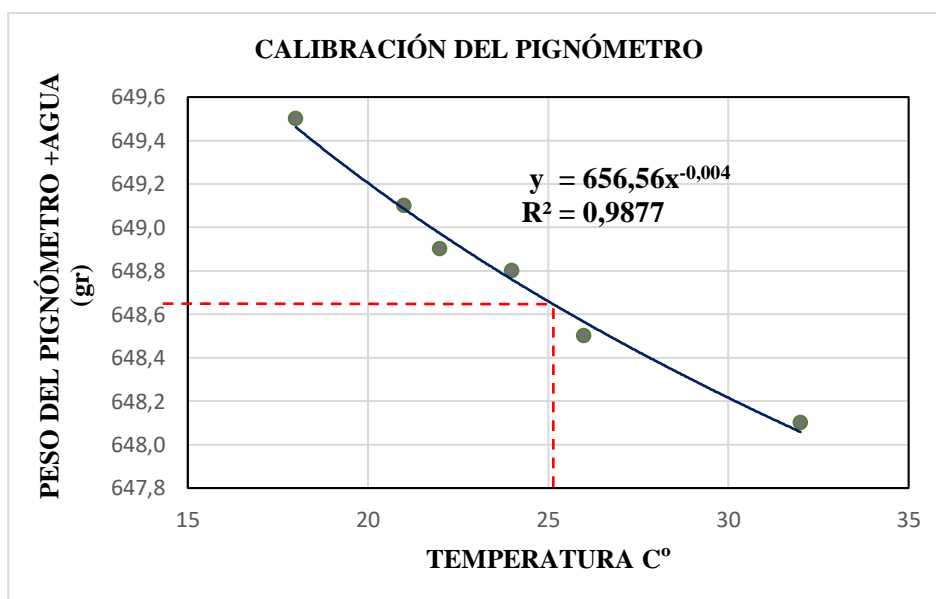
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015

Número de la muestra	1	
Número de pignómetro	1	
Pg + agua hasta la marca de aforo Wbw	648,9	gr
Pg + agua + suelo sumergido Wbws	679,8	gr
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	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 Ws	49,5	gr
Gravedad Específica = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	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

GRÁFICA PARA LA CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO



Nota: El peso del pignómetro de acuerdo a la gráfica a una temperatura de 22 C° es de 648,90 gr.

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014

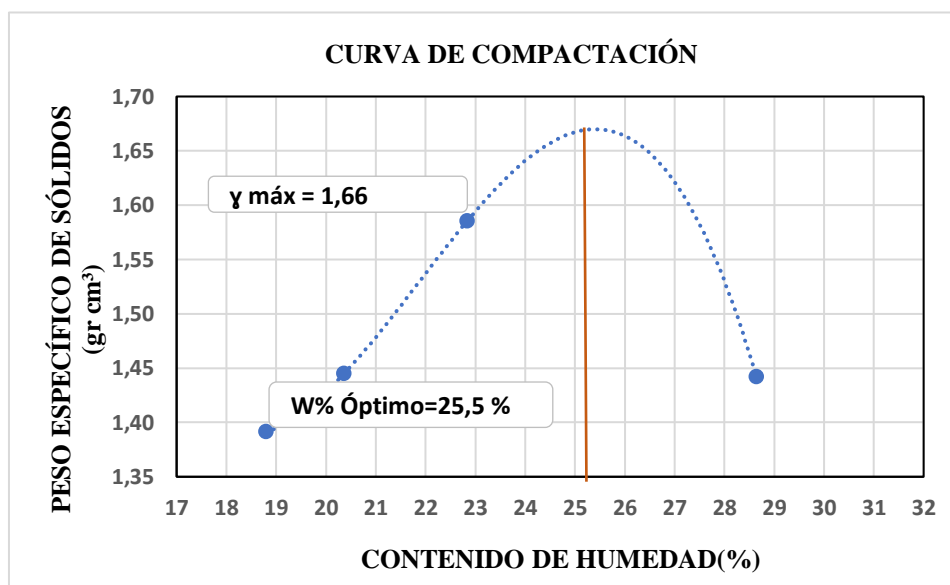
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)					
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec				815,00	
Peso de la funda gr. Rec				2,40	
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec				812,60	
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)					
Peso inicial frasco + cono + arena				6300,00	
Peso final frasco + cono + arena				5280,00	
Peso arena en el cono (Calibración del cono)				343,00	
Peso arena en la perforación				677,00	
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)				1,582	
Volumen de la perforación Vm				427,94	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente número #				1	2
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec			81,10	82,00
Peso seco + recipiente	Ws+rec			69,20	70,10
Peso recipiente	rec			30,70	30,60
Peso del agua	Ww			11,90	11,90
Peso de los sólidos	Ws			38,50	39,50
Contenido de humedad	w%			30,91	30,13
Contenido de humedad promedio	w% prom			30,52	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
				Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos		$V_v =$		12,16	-
$V_a =$		$W_a =$		0,26	0,00
$V_w =$		$W_w =$		11,90	11,90
$V_s =$		$W_s =$		14,91	39,50
$V_m =$		$W_m =$		27,07	51,40
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)				1,899	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)				1,455	gr/cm ³
Contenido de humedad w%				30,52	%
Relación de vacíos e = Vv/Vs				0,82	natural
Porosidad n% = Vv/Vm*100				44,93	%
Grado de Saturación de agua Gw% = Vw/Vv*100				97,84	%
Grado de Saturación de aire Ga%				2,16	%

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	10 Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	18 plg
VOLUMEN:	2375,7 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	16864 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO								
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	20790		20995		21490		21270	
Masa molde (gr)	16864		16864		16864		16864	
Masa suelo húmedo (gr)	3926		4131		4626		4406	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,653		1,739		1,947		1,855	
Masa del tarro (gr)	32,2	33,4	34,6	31,1	32,5	32,8	31,6	31,5
Masa suelo húm.+tarro (gr)	108,2	107,9	135,7	109,7	117,3	155,2	147,3	154,6
Masa suelo seco+tarro (gr)	96,4	95,9	118,6	96,4	101,5	132,5	122,2	126,5
Masa del agua (gr)	11,8	12	17,1	13,3	15,8	22,7	25,1	28,1
Masa suelo seco (gr)	64,2	62,5	84	65,3	69	99,7	90,6	95
Contenido de agua (%)	18,38	19,20	20,36	20,37	22,90	22,77	27,70	29,58
w (%) Promedio	18,79		20,36		22,83		28,64	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,39		1,44		1,59		1,44	
Densidad Seca Máxima (γ máx):	1,66 gr/cm ³							
Humedad Óptima:	25,50 %							
Grado de Compactación	87,643 %							

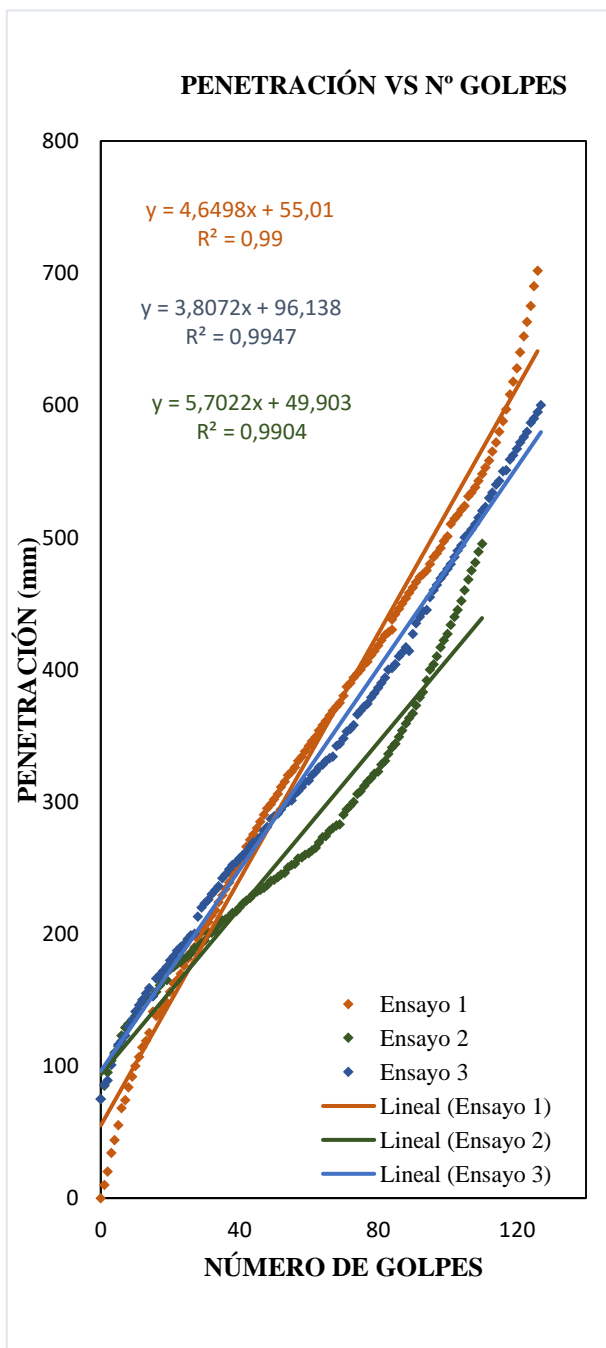
GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA vs HUMEDAD ÓPTIMA



Nota: La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,66 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 25,5%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

N° Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
0	0	0	0
1	10	18	14
2	20	34	24
3	34	48	36
4	44	58	54
5	55	70	66
6	68	77	81
7	74	88	91
8	84	98	101
9	92	105	114
10	100	113	116
11	107	118	125
12	114	123	134
13	119	131	143
14	125	138	150
15	141	144	155
16	138	148	163
17	140	155	170
18	144	162	178
19	148	168	183
20	156	175	188
21	162	180	194
22	165	187	198
23	170	193	210
24	176	198	216
25	181	204	222
26	186	208	229
27	190	215	233
28	196	220	239
29	201	225	245
30	204	230	250
31	209	238	256
32	214	243	262
33	218	249	269
34	224	255	274
35	229	261	280
36	234	267	285
37	239	274	291
38	244	280	296
39	249	285	303
40	252	291	309
41	258	298	315
42	262	302	321



DN (mm/golpe)	DN (prom)	
1	4,6498	4,7197
2	5,7022	
3	3,8072	

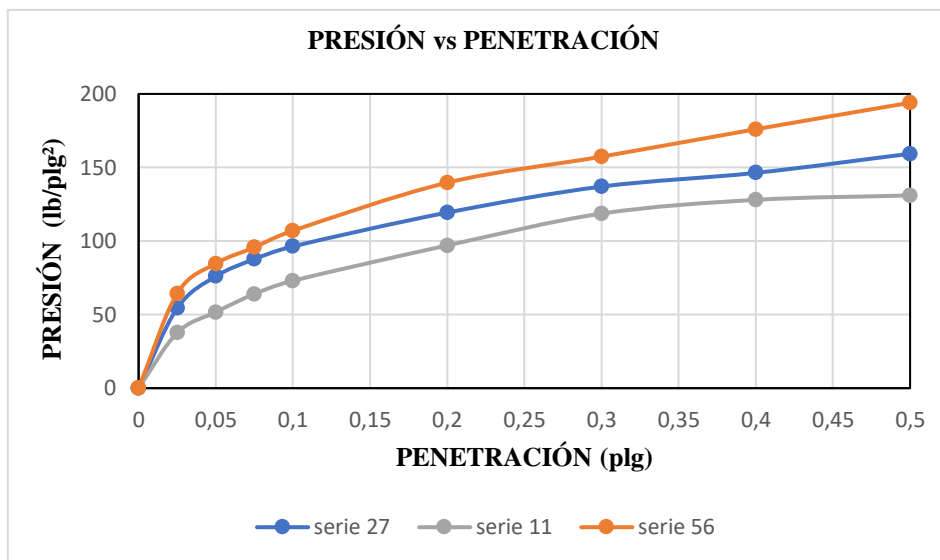
Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
42	266	308	326
43	271	314	331
44	275	320	337
45	280	324	341
46	285	327	344
47	290	330	348
48	295	336	352
49	298	341	356
50	302	345	361
51	306	350	365
52	311	355	368
53	315	359	372
54	320	360	376
55	323	365	380
56	326	370	382
57	331	374	384
58	334	377	387
59	338	379	391
60	342	383	396
61	346	388	399
62	349	392	402
63	354	395	405
64	358	400	409
65	361	405	411
66	365	409	416
67	369	414	420
68	372	419	424
69	375	424	425
70	380	429	428
71	387	434	434
72	390	437	436
73	394	441	441
74	397	447	446
75	400	452	451
76	404	457	454
77	406	462	458
78	411	465	462
79	414	473	466
80	418	479	470
81	422	485	471
82	426	489	479
83	428	497	480
84	430	503	484

Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
84	438	509	491
85	442	515	493
86	446	522	496
87	450	530	501
88	454	536	504
89	458	544	508
90	462	554	511
91	466	560	516
92	470	569	517
93	472	575	518
94	475	585	526
95	480	595	530
96	485	600	536
97	488	610	538
98	492	620	541
99	497	628	545
100	501	638	549
101	510	645	551
102	514	655	556
103	517	665	561
104	521	670	562
105	524	678	566
106	531	688	570
107	534	698	571
108	538	704	576
109	543	712	580
110	548		582
111	553		586
112	558		589
113	565		591
114	572		596
115	580		597
116	588		602
117	597		610
118	608		618
119	618		622
120	628		625
121	640		631
122	652		635
123	663		640
124	675		646
125	690		653
126	702		660

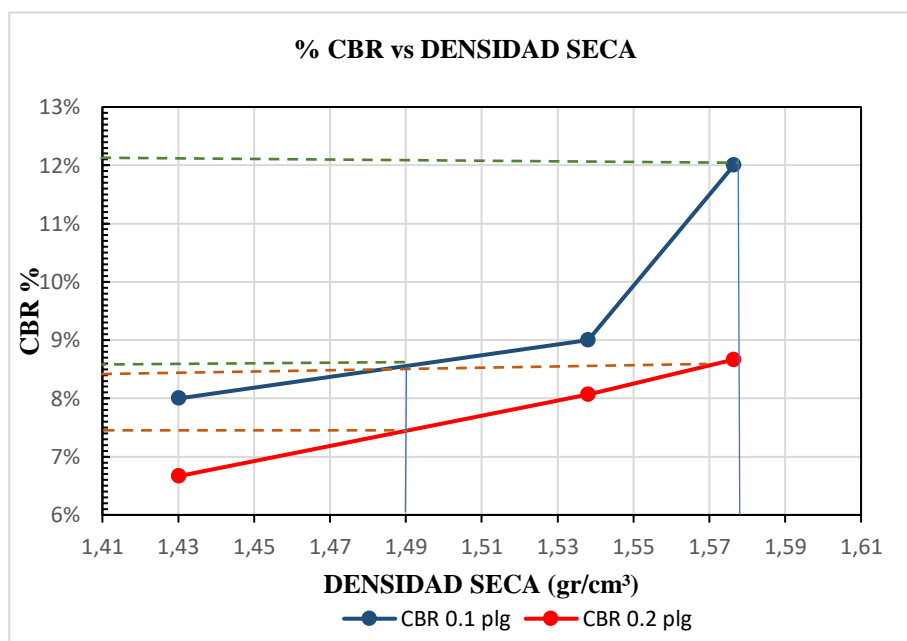
CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013

MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	12063		13984		13362	
Masa molde (gr)	7536		9640		9295	
Masa muestra húmeda (gr)	4527		4344		4067	
Volúmen muestra (cm ³)	2286,38		2244,42		2259,29	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,980		1,935		1,800	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	84,4	82,8	94,1	93,4	90,8	130,9
Masa suelo seco + recip(gr)	74,2	72,6	83,9	83,5	81	121,3
Masa del agua (gr)	10,2	10,2	10,5	10,3	10,4	10,5
Masa del recip (gr)	34,3	32,8	43,4	43,5	40,8	80,7
Masa suelo seco	39,9	39,8	40,5	40	40,2	40,6
Contenido de humedad W(%)	25,56	25,63	25,93	25,75	25,87	25,86
W (%) Promedio	25,60		25,84		25,87	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,576		1,538		1,430	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	12083		14032		13500	
Masa molde (gr)	7536		9640		9295	
Masa muestra húmeda (gr)	4547		4392		4205	
Masa agua absorbida(gr)	20		48		138	
% Agua Absorbida	0,44		1,10		3,39	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	115,3	79,1	94,6	94,2	77,4	78,8
Masa del suelo seco+tarro (gr)	107,9	71,5	80,9	83	69,1	67,7
Masa del agua (gr)	7,4	7,6	13,7	11,2	8,3	11,1
Masa del tarro (gr)	80,7	43,5	34,3	43,4	40,8	32,8
Masa suelo seco	27,2	28	46,6	39,6	28,3	34,9
Contenido de agua (%)	27,21	27,14	29,40	28,28	29,33	31,81
W (%) Promedio	27,17		28,84		30,57	
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	193	64,33	163	54,33	113	37,67
0,050	254	84,67	228	76,00	155	51,67
0,075	287	95,67	263	87,67	192	64,00
0,100	321	107,00	289	96,33	219	73,00
0,200	419	139,67	358	119,33	291	97,00
0,300	472	157,33	411	137,00	356	118,67
0,400	528	176,00	439	146,33	384	128,00
0,500	582	194,00	478	159,33	393	131,00

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	120,00	12,00%	1,576	130	8,67%	1,576
2	90,00	9,00%	1,538	121	8,07%	1,538
3	80,00	8,00%	1,430	100	6,67%	1,430



DENSIDAD SECA MÁXIMA		1,66 gr/cm ³		
DSM		%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,494	7,40%	8,60%	8,60%
95%	1,577	8,40%	12,30%	12,30%





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



Proyecto: Correlación entre CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Ambatillo y Quisapincha, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua

Parroquia: Quisapincha **Coordenadas:** Zona 17, 758385.01 E; 9864415.55 S

Vía: Cachilvana Grande **Revisado:** Ing. Favio Portilla

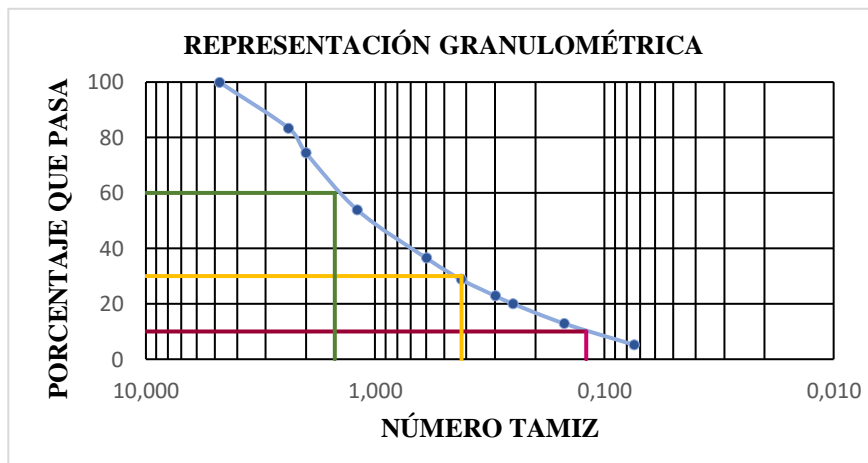
Muestra: 02 **Profundidad:** 0,62 m **Realizado:** Lesly Garzón Zapata

HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
25,1	75	63,9	28,61	28,44
30,2	81,6	70,2	28,50	
30,7	80,7	69,7	28,21	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

Tamiz N°	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
4 4,760	0,4	0,4	0,16	99,84
8 2,380	41,4	41,8	16,72	83,28
10 2,000	22,2	64	25,6	74,40
16 1,190	51,8	115,8	46,32	53,68
30 0,595	43,3	159,1	63,64	36,36
40 0,420	19,2	178,3	71,32	28,68
50 0,297	14,9	193,2	77,28	22,72
60 0,250	6,9	200,1	80,04	19,96
100 0,149	17,9	218	87,2	12,80
200 0,074	19,1	237,1	94,84	5,16
Fuente	12,5	249,6	99,84	
W muestra seca (gr)			250	



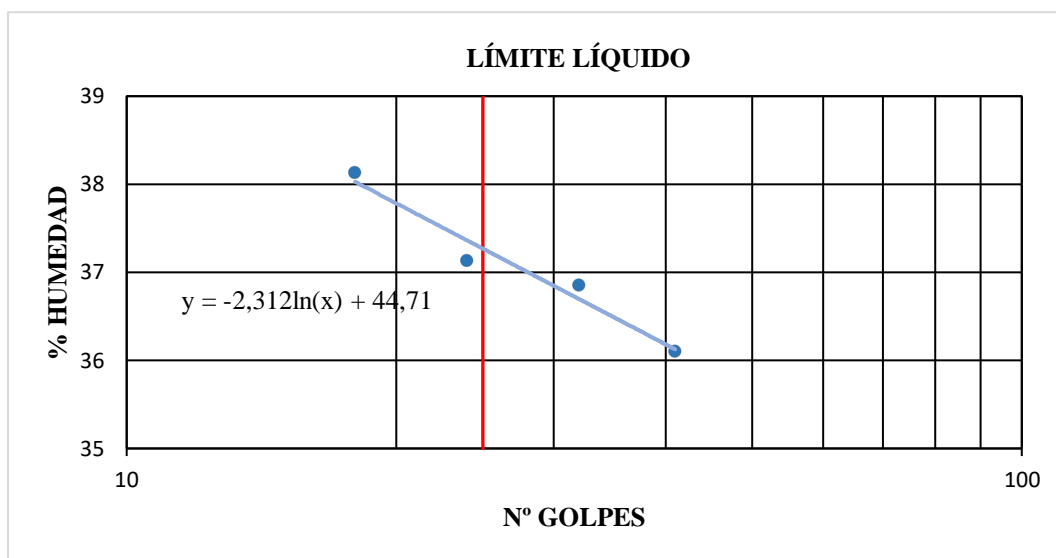
COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,12	Cu = D60/D10	12,50
D30 en mm	0,42	Cc = D30 ² /(D60*D10)	0,98
D60 en mm	1,5	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	2,38

ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - COPA CASAGRANDE-AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
24	10,90	20,80	18,10	37,50	37,13
	11,40	20,70	18,20	36,76	
41	11,20	20,10	17,80	34,85	36,10
	10,80	22,20	19,10	37,35	
32	24,02	35,50	32,40	36,99	36,85
	10,90	21,70	18,80	36,71	
18	11,10	19,40	17,10	38,33	38,13
	11,30	19,30	17,10	37,93	

PROMEDIO LIMITE LÍQUIDO 37,05



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
1	6,60	7,00	6,90	33,33	28,88
2	10,60	11,50	11,30	28,57	
3	10,60	12,00	11,70	27,27	
4	10,90	11,80	11,60	28,57	
5	10,20	12,10	11,70	26,67	

LÍMITES DE ATTENVERG

Límite líquido:	37,20	%
Límite plástico:	28,88	%
Índice Plástico:	8,32	%

Clasificación del Suelo:

Sistema AASHTO A-2-4 Grava y arena limosa o arcillosa
 SUCS SP-SM Arenas pobremente graduadas con limos de baja plasticidad

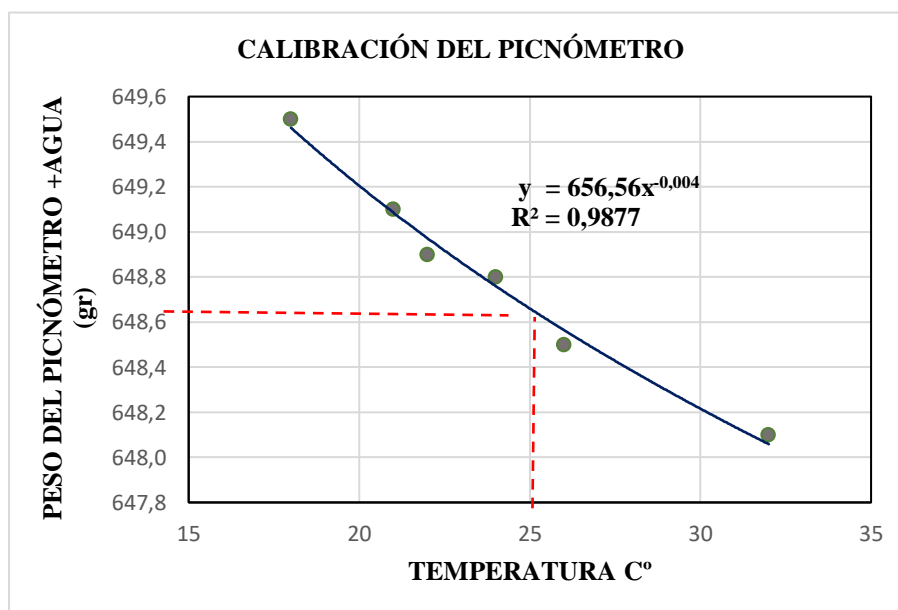
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015

Número de la muestra	1	
Número de pignómetro	1	
Pg + agua hasta la marca de aforo Wbw	648,8	gr
Pg + agua + suelo sumergido Wbws	679,6	gr
Desplazamiento del agua $W_s + W_{bw} - W_{bws}$	18,4	gr
Temperatura del agua y suelo en C°	24	C°
Factor de corrección por temperatura K	0,9973	
Número de recipiente	1	
Recipiente + peso suelo seco	189,7	gr
Peso recipiente	140,5	gr
Peso del suelo seco W_s	49,2	gr
Gravedad Específica = $(W_s.K)/(W_s + W_{bw}-W_{bws})$	2,667	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

GRÁFICA PARA LA CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO



Nota: El peso del picnómetro de acuerdo a la gráfica a una temperatura de 25 C° es de 648,65 gr.

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014

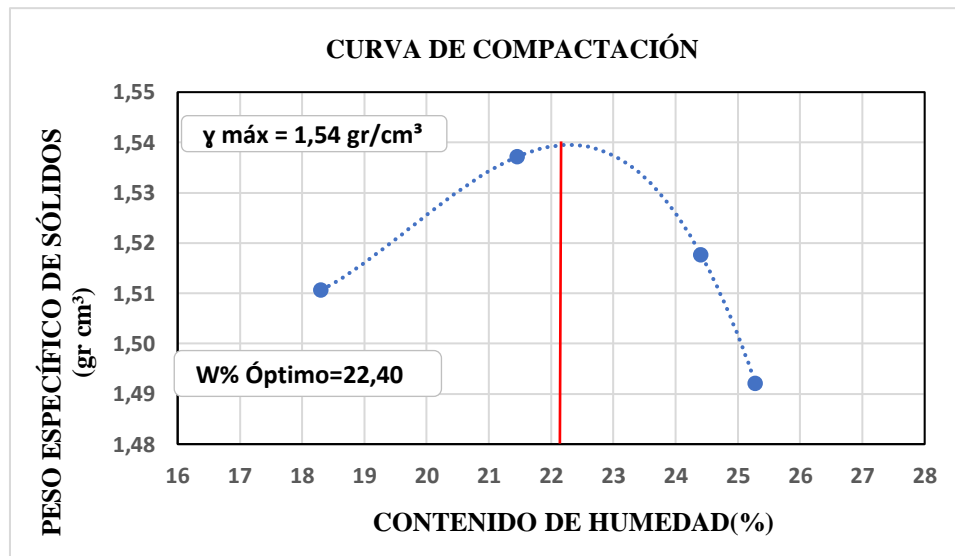
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)					
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec		898,00			
Peso de la funda gr. Rec		4,50			
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec		893,50			
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)					
Peso inicial frasco + cono + arena		6315,00			
Peso final frasco + cono + arena		5235,00			
Peso arena en el cono (Calibración del cono)		343,00			
Peso arena en la perforación		737,00			
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)		1,582			
Volumen de la perforación Vm		465,87			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente número #				1	2
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec			75,00	81,60
Peso seco + recipiente	Ws+rec			63,90	70,20
Peso recipiente	rec			25,10	30,20
Peso del agua	Ww			11,10	11,40
Peso de los sólidos	Ws			38,80	40,00
Contenido de humedad	w%			28,61	28,50
Contenido de humedad promedio	w% prom			28,55	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
				Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos		$V_v =$		11,71	-
$V_a =$		$W_a =$		0,31	0,00
$V_w =$		$W_w =$		11,40	11,40
$V_s =$		$W_s =$		15,09	40,00
$V_m =$		$W_m =$		26,80	51,40
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)		1,918		gr/cm^3	
Densidad seca (γ_d)		1,492		gr/cm^3	
Contenido de humedad w%		28,55		%	
Relación de vacíos e = V_v/V_s		0,78		natural	
Porosidad n% = $V_v/V_m * 100$		43,68		%	
Grado de Saturación de agua Gw% = $V_w/V_v * 100$		97,39		%	
Grado de Saturación de aire Ga%		2,61		%	

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	10 Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	18 plg
VOLUMEN:	2340,5 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	13586 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO								
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	17769		17956		18005		17961	
Masa molde (gr)	13586		13586		13586		13586	
Masa suelo húmedo (gr)	4183		4370		4419		4375	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,787		1,867		1,888		1,869	
Masa del tarro (gr)	32,2	34,6	32,9	31,6	31,4	32,5	33,4	31,1
Masa suelo húm.+tarro (gr)	143,1	153,7	152,7	159,1	138,8	141,2	130,8	131,4
Masa suelo seco+tarro (gr)	126	135,2	131,5	136,6	117,8	119,8	111,2	111,1
Masa del agua (gr)	17,1	18,5	21,2	22,5	21	21,4	19,6	20,3
Masa suelo seco (gr)	93,8	100,6	98,6	105	86,4	87,3	77,8	80
Contenido de agua (%)	18,23	18,39	21,50	21,43	24,31	24,51	25,19	25,38
w (%) Promedio	18,31		21,46		24,41		25,28	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,51		1,54		1,52		1,49	
Densidad Seca Máxima (y máx):	1,54 gr/cm ³							
Humedad Óptima:	22,40 %							
Grado de Compactación	96,878 %							

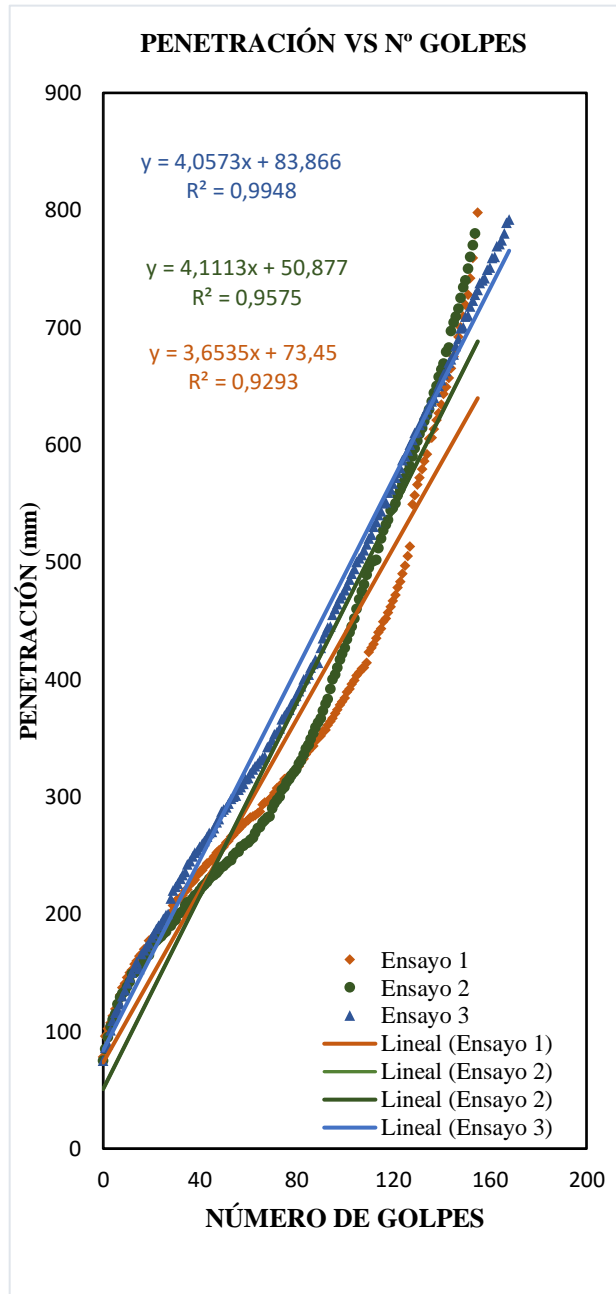
GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA vs HUMEDAD ÓPTIMA



Nota: La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,54 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 22,4%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
0	78	75	75
1	96	85	86
2	102	95	89
3	107	104	101
4	113	110	109
5	119	115	116
6	123	123	119
7	131	129	123
8	137	132	130
9	141	134	135
10	146	138	141
11	150	142	146
12	152	149	150
13	157	150	155
14	160	152	159
15	164	153	153
16	166	156	166
17	170	161	169
18	171	164	172
19	177	165	175
20	179	173	180
21	180	175	183
22	183	177	187
23	186	179	190
24	189	181	192
25	191	183	196
26	193	185	199
27	198	189	200
28	201	190	213
29	207	193	220
30	211	195	223
31	212	200	226
32	213	201	230
33	216	202	233
34	220	207	236
35	221	210	242
36	225	211	245
37	227	213	249
38	229	216	252
39	233	217	254
40	236	220	257
41	237	223	260
42	240	225	262



DN (mm/golpe)	DN(prom)
1	3,9407
2	
3	

Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
43	243	227	266
44	244	230	269
45	246	232	270
46	249	233	273
47	252	235	278
48	254	237	281
49	256	240	287
50	257	241	289
51	261	243	291
52	262	245	294
53	266	246	298
54	267	250	300
55	270	252	301
56	272	253	306
57	274	257	308
58	277	258	311
59	278	260	315
60	280	261	316
61	282	263	320
62	283	265	323
63	284	269	326
64	286	273	328
65	287	274	331
66	293	278	333
67	295	280	334
68	296	282	342
69	297	283	344
70	300	290	348
71	303	294	353
72	307	297	355
73	309	300	358
74	311	306	366
75	315	308	369
76	316	312	372
77	317	315	374
78	319	318	379
79	322	321	382
80	323	323	386
81	326	328	390
82	329	331	394
83	332	336	400
84	336	341	401
85	339	344	404

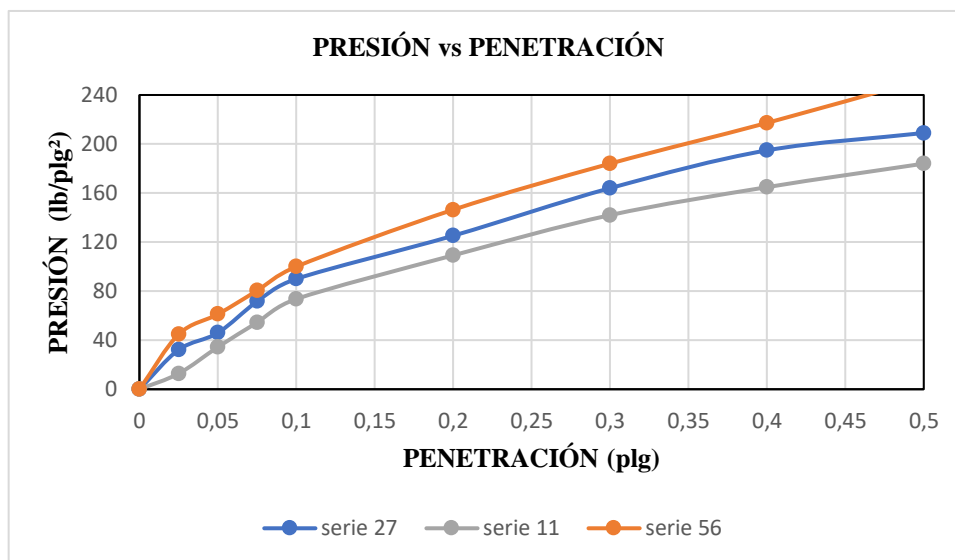
Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
85	339	344	404
86	342	349	410
87	343	354	413
88	347	359	417
89	350	363	414
90	352	367	427
91	356	373	435
92	357	379	440
93	361	383	444
94	364	392	445
95	367	400	455
96	371	404	460
97	374	410	464
98	378	417	469
99	381	422	472
100	384	427	476
101	389	434	480
102	392	440	485
103	396	445	490
104	399	452	494
105	403	460	500
106	406	468	503
107	409	475	506
108	410	481	510
109	414	489	515
110	423	495	520
111	427	500	523
112	430	501	530
113	435	502	534
114	440	512	540
115	443	520	543
116	449	527	550
117	452	532	551
118	457	536	559
119	462	544	562
120	467	546	567
121	472	550	572
122	478	557	576
123	483	562	580
124	490	567	587
125	497	572	590
126	505	577	595
127	513	582	600

Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
128	549	590	604
129	557	597	610
130	566	603	611
131	572	609	617
132	579	614	620
133	586	620	626
134	592	625	630
135	605	630	634
136	606	637	637
137	613	644	640
138	621	650	645
139	627	658	650
140	634	664	655
141	643	669	660
142	649	679	663
143	657	683	670
144	665	697	673
145	675	704	677
146	682	709	684
147	692	716	690
148	700	725	699
149	709	734	700
150	719	740	709
151	728	750	710
152	742	760	718
153	759	770	723
154	779	780	728
155	798		732
156			738
157			740
158			742
159			749
160			751
161			759
162			760
163			769
164			771
165			774
166			780
167			789
168			792

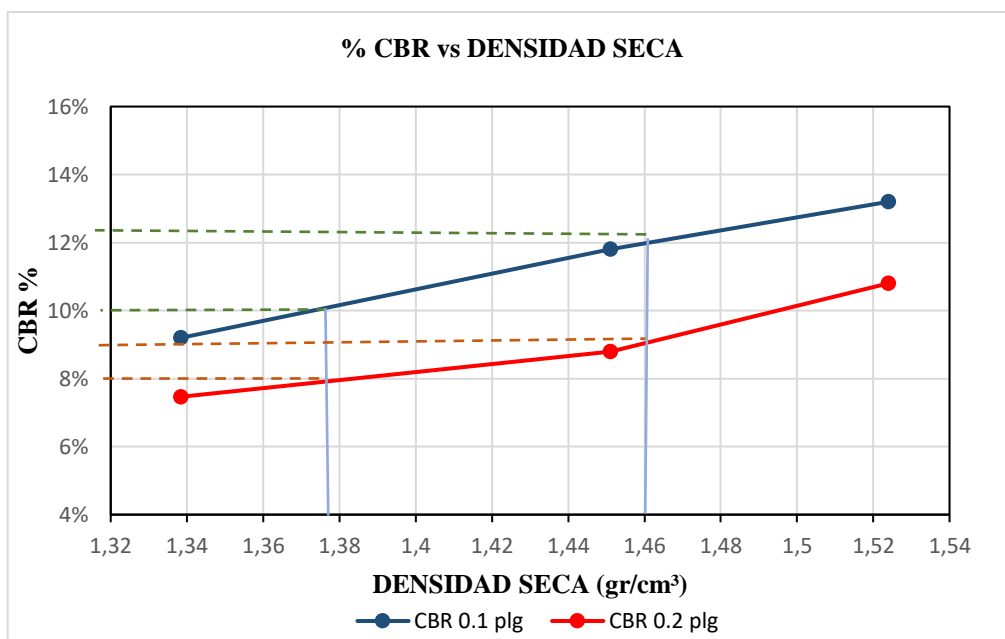
CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013

MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	11664		12159		13368	
Masa molde (gr)	7395		8395		9636	
Masa muestra húmeda (gr)	4269		3764		3732	
Volúmen muestra (cm ³)	2286,38		2118,73		2277,36	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,867		1,777		1,639	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	75,6	74,2	82,5	85,1	97,2	152,2
Masa suelo seco + recip(gr)	66,2	65	72,2	74,3	87,3	139,1
Masa del agua (gr)	9,4	9,2	10,3	10,8	9,9	13,1
Masa del recip (gr)	24,4	24,2	26,6	25,8	43,4	80,4
Masa suelo seco	41,8	40,8	45,6	48,5	43,9	58,7
Contenido de humedad W(%)	22,49	22,55	22,59	22,27	22,55	22,32
W (%) Promedio	22,52		22,43		22,43	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,524		1,451		1,338	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	11759		12293		13706	
Masa molde (gr)	7395		8395		9636	
Masa muestra húmeda (gr)	4364		3898		4070	
Masa agua absorbida(gr)	95		134		338	
% Agua Absorbida	2,23		3,56		9,06	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	81,9	74,1	81,9	81,7	82,1	84,1
Masa del suelo seco+tarro (gr)	71,7	63,1	70,7	70,4	68,6	68,4
Masa del agua (gr)	10,2	11	11,2	11,3	13,5	15,7
Masa del tarro (gr)	30,5	23,9	31,1	30,8	30,8	26,4
Masa suelo seco	41,2	39,2	39,6	39,6	37,8	42
Contenido de agua (%)	24,76	28,06	28,28	28,54	35,71	37,38
W (%) Promedio	26,41		28,41		36,55	
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	134	44,80	97	32,17	38	12,80
0,050	184	61,20	138	46,00	103	34,40
0,075	241	80,40	215	71,60	163	54,40
0,100	300	100,00	270	90,00	221	73,60
0,200	439	146,40	376	125,20	328	109,20
0,300	552	184,00	492	164,00	426	142,00
0,400	652	217,20	584	194,80	494	164,80
0,500	758	252,80	627	209,00	552	184,00

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	132,00	13,20%	1,524	162	10,80%	1,524
2	118,00	11,80%	1,451	132	8,80%	1,451
3	92,00	9,20%	1,338	112	7,47%	1,338



DENSIDAD SECA MÁXIMA		1,54 gr/cm ³		
DSM		%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,386	10,10%	8,00%	10,10%
95%	1,463	12,70%	9,80%	12,70%





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



Proyecto: Correlación entre CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Ambatillo y Quisapincha, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua

Parroquia: Quisapincha **Coordenadas:** Zona 17 758915.63 E; 9865753.05 S

Vía: Puganza Alto **Revisado:** Ing. Favio Portilla

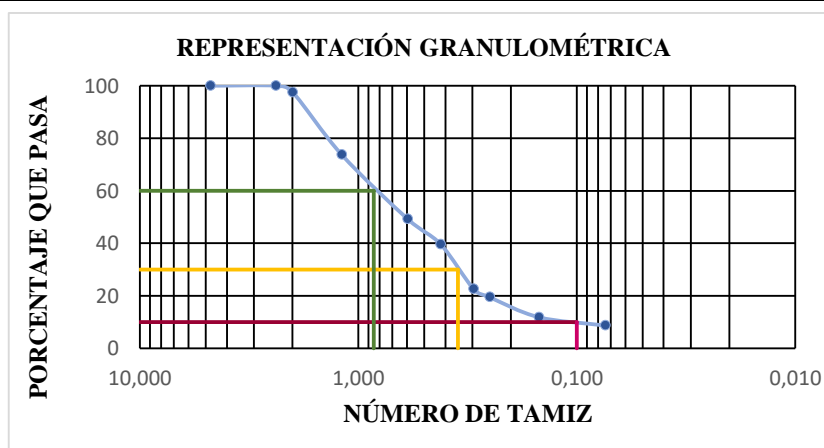
Muestra: 03 **Profundidad:** 0,65 m **Realizado:** Lesly Garzón Zapata

HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
25,4	75,6	65,5	25,19	25,79
31,0	82,9	72,3	25,67	
30,7	80,8	70,3	26,52	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

Tamiz N°	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
4	4,760	0,00	0	100,00
8	2,380	0,00	0	100,00
10	2,000	6,10	2,44	97,56
16	1,190	59,70	26,32	73,68
30	0,595	61,00	50,72	49,28
40	0,420	24,10	60,36	39,64
50	0,297	42,50	77,36	22,64
60	0,250	8,00	80,56	19,44
100	0,149	19,00	88,16	11,84
200	0,074	7,90	91,32	8,68
Fuente	21,40	249,7	99,88	
W muestra seca (gr)			250	

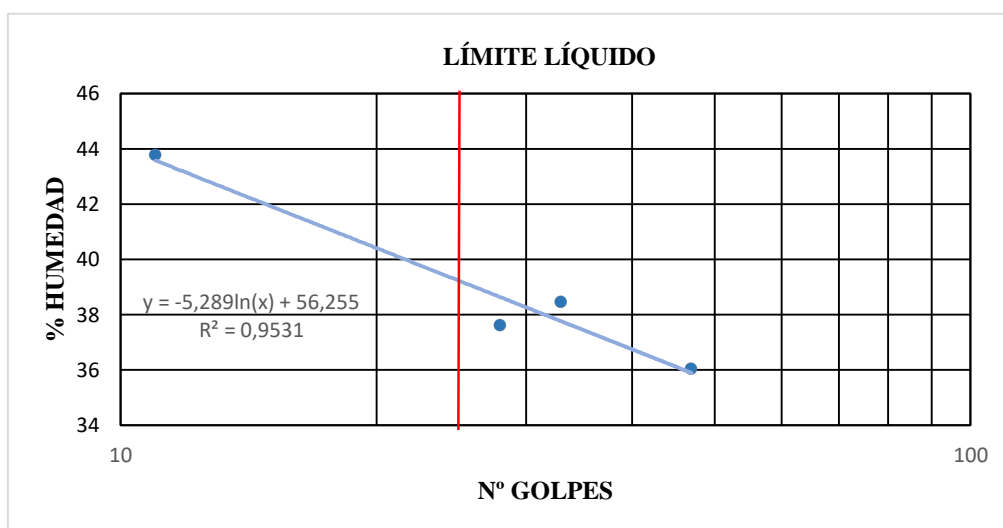


COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,1	Cu = D60/D10	8,50
D30 en mm	0,35	Cc = D30 ² /(D60*D10)	1,44
D60 en mm	0,85	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	2

ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - COPA CASAGRANDE - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
11	11,10	20,00	17,30	43,55	43,77
	11,60	22,40	19,10	44,00	
28	11,40	19,80	17,50	37,70	37,60
	11,90	20,70	18,30	37,50	
33	11,20	18,70	16,60	38,89	38,44
	11,00	17,90	16,00	38,00	
47	11,30	18,80	16,80	36,36	36,04
	12,70	20,30	18,30	35,71	
PROMEDIO LIMITE LÍQUIDO					38,97



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
1	10,50	11,80	11,50	30,00	29,30
2	10,20	12,00	11,60	28,57	
3	10,60	11,50	11,30	28,57	
4	10,10	11,80	11,40	30,77	
5	10,50	11,40	11,20	28,57	

LÍMITES DE ATTENVERG

Límite líquido:	39,20 %
Límite plástico:	29,30 %
Índice Plástico:	9,90 %

Clasificación del Suelo:

Sistema	AASHTO	A-2-4 Grava y arena limosa o arcillosa
	SUCS	SW-SM Arenas bien gradadas con limos de baja plasticidad

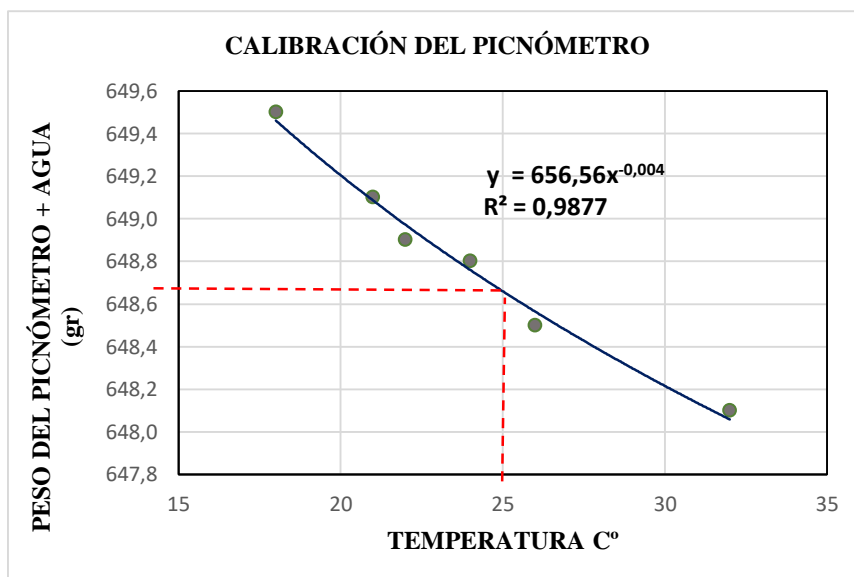
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015

Número de la muestra	3	
Número de pignómetro	1	
Pg + agua hasta la marca de aforo Wbw	648,85	gr
Pg + agua + suelo sumergido Wbws	679,6	gr
Desplazamiento del agua $Ws + Wbw - Wbws$	18,35	gr
Temperatura del agua y suelo en C°	23	C°
Factor de corrección por temperatura K	0,9976	
Número de recipiente	1	
Recipiente + peso suelo seco	132	gr
Peso recipiente	82,9	gr
Peso del suelo seco Ws	49,1	gr
Gravedad Específica = $(Ws.K)/(Ws + Wbw - Wbws)$	2,669	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

GRÁFICA PARA LA CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO



Nota: El peso del picnómetro de acuerdo a la gráfica a una temperatura de 25 C° es de 648,65 gr.

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014

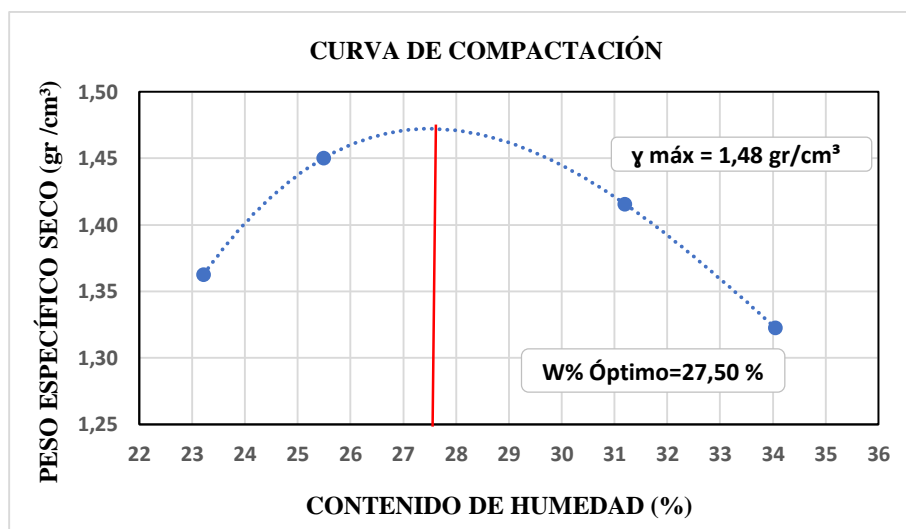
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)					
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec		967,00			
Peso de la funda gr. Rec		2,10			
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec		964,90			
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)					
Peso inicial frasco + cono + arena		6290,00			
Peso final frasco + cono + arena		5250,00			
Peso arena en el cono (Calibración del cono)		343,00			
Peso arena en la perforación		810,00			
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)		1,582			
Volumen de la perforación Vm		512,01			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente número #				1	2
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec			75,60	82,90
Peso seco + recipiente	Ws+rec			65,50	72,30
Peso recipiente	rec			25,40	31,00
Peso del agua	Ww			10,10	10,60
Peso de los sólidos	Ws			40,10	41,30
Contenido de humedad	w%			25,19	25,67
Contenido de humedad promedio	w% prom			25,43	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
				Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos		$V_v =$		11,96	-
$V_a =$		$W_a =$		1,36	0,00
$V_w =$		$W_w =$		10,60	10,60
$V_s =$		$W_s =$		15,58	41,30
$V_m =$		$W_m =$		27,54	51,90
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)		1,885	gr/cm ³		
Densidad seca (γ_d)		1,503	gr/cm ³		
Contenido de humedad w%		25,43	%		
Relación de vacíos e= Vv/Vs		0,77	natural		
Porosidad n% = Vv/Vm*100		43,41	%		
Grado de Saturación de agua Gw%= Vw/Vv*100		88,67	%		
Grado de Saturación de aire Ga%		11,33	%		

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	10 Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	18 plg
VOLUMEN:	2214,58 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	16848 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO									
PRUEBA N°	1		2		3		4		
Suelo húmedo+molde (gr)	20566		20878		20961		20774		
Masa molde (gr)	16848		16848		16848		16848		
Masa suelo húmedo (gr)	3718		4030		4113		3926		
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,679		1,820		1,857		1,773		
Masa del tarro (gr)	30,6	30,3	31,2	25,7	24,6	24,3	24,2	24	
Masa suelo húm.+tarro (gr)	81,7	81,1	82,2	76,1	75,1	74,3	74,5	73,3	
Masa suelo seco+tarro (gr)	71,9	71,7	71,8	65,9	62,8	62,7	61,7	60,8	
Masa del agua (gr)	9,8	9,4	10,4	10,2	12,3	11,6	12,8	12,5	
Masa suelo seco (gr)	41,3	41,4	40,6	40,2	38,2	38,4	37,5	36,8	
Contenido de agua (%)	23,73	22,71	25,62	25,37	32,20	30,21	34,13	33,97	
w (%) Promedio	23,22		25,49		31,20		34,05		
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,36		1,45		1,42		1,32		
Densidad Seca Máxima (γ máx):	1,48 gr/cm ³								
Humedad Óptima:	27,50 %								
Grado de Compactación	101,52 %								

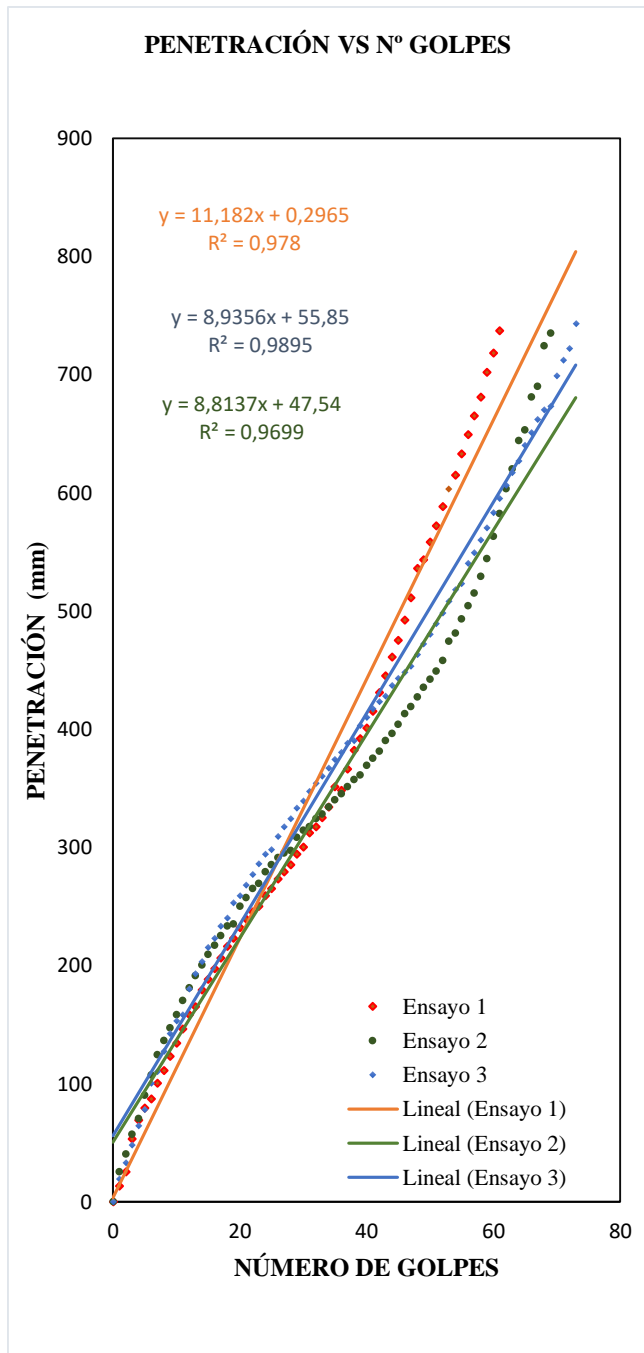
GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA vs HUMEDAD ÓPTIMA



Nota: La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,48 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 27,5%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

N° Golpe	Penetración(mm)		
	1	2	3
0	0	0	0
1	13	25	19
2	25	40	33
3	53	57	48
4	69	70	64
5	79	90	78
6	87	107	100
7	100	124	110
8	111	136	127
9	123	147	142
10	134	158	153
11	146	170	158
12	158	181	180
13	165	191	193
14	179	200	203
15	188	209	215
16	197	217	223
17	206	225	233
18	216	233	240
19	223	235	253
20	232	250	259
21	239	257	268
22	245	265	277
23	250	269	286
24	259	279	294
25	265	285	298
26	273	291	309
27	279	295	317
28	285	297	324
29	294	308	333
30	300	314	339
31	312	317	347
32	317	324	354
33	325	328	360
34	334	334	367
35	351	340	374
36	348	345	380
37	366	351	388
38	382	357	390
39	392	361	403
40	401	369	410
41	415	375	417
42	431	381	423



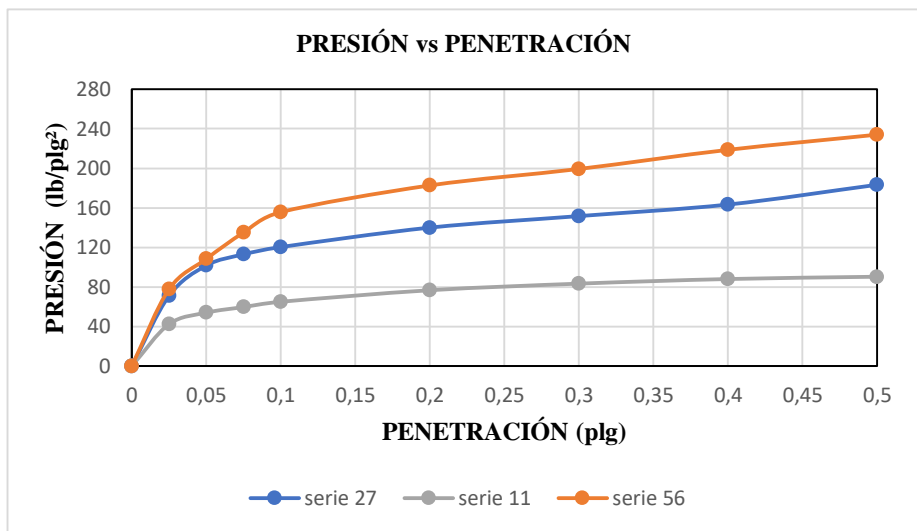
DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	11,182	
2	8,3187	9,54053
3	9,1209	

N° Golpe	Penetración(mm)		
	1	2	3
43	445	390	428
44	461	396	437
45	475	404	443
46	492	413	448
47	511	419	453
48	536	427	463
49	543	435	472
50	558	442	480
51	572	449	489
52	588	458	498
53	603	474	508
54	615	481	518
55	633	493	523
56	649	504	540
57	665	515	549
58	681	529	560
59	702	544	570
60	718	563	583
61	737	582	595
62		603	606
63		620	617
64		644	627
65		653	640
66		681	651
67		690	662
68		724	670
69		735	673
70			699
71			712
72			722
73			743

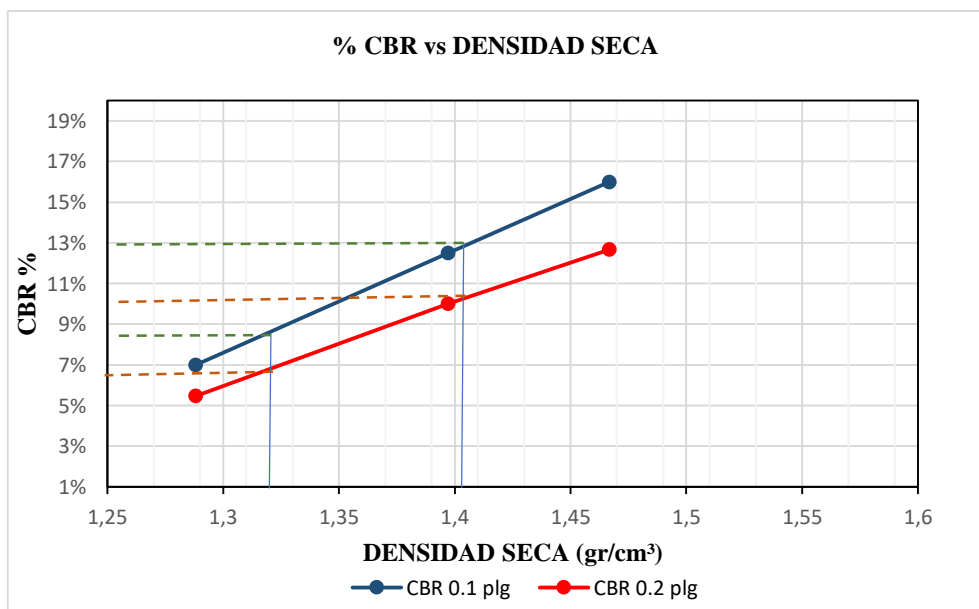
CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013

MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	11664		12159		13368	
Masa molde (gr)	7395		8395		9636	
Masa muestra húmeda (gr)	4269		3764		3732	
Volúmen muestra (cm³)	2286,38		2118,73		2277,36	
Peso unitario Húmedo(gr/cm³)	1,867		1,777		1,639	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	75,6	74,2	82,5	85,1	97,2	152,2
Masa suelo seco + recip(gr)	64,7	63,4	70,6	72,4	85,5	137,1
Masa del agua (gr)	10,9	10,8	11,9	12,7	11,7	15,1
Masa del recip (gr)	24,4	24,2	26,6	25,8	43,4	80,4
Masa suelo seco	40,3	39,2	44	46,6	42,1	56,7
Contenido de humedad W(%)	27,05	27,55	27,05	27,25	27,79	26,63
W (%) Promedio	27,30		27,15		27,21	
Peso unitario seco (gr/cm³)	1,467		1,397		1,288	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	11759		12293		13706	
Masa molde (gr)	7395		8395		9636	
Masa muestra húmeda (gr)	4364		3898		4070	
Masa agua absorbida(gr)	95		134		338	
% Agua Absorbida	2,23		3,56		9,06	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	81,9	74,1	81,9	81,7	82,1	84,1
Masa del suelo seco+tarro (gr)	70,1	61,5	69,1	68,8	67	66,8
Masa del agua (gr)	11,8	12,6	12,8	12,9	15,1	17,3
Masa del tarro (gr)	30,5	23,9	31,1	30,8	30,8	26,4
Masa suelo seco	39,6	37,6	38	38	36,2	40,4
Contenido de agua (%)	29,80	33,51	33,68	33,95	41,71	42,82
W (%) Promedio	31,65		33,82		42,27	
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	233	77,67	213	71,00	127	42,33
0,050	325	108,33	305	101,67	162	54,00
0,075	405	135,00	339	113,00	179	59,67
0,100	467	155,67	361	120,33	195	65,00
0,200	548	182,67	420	140,00	230	76,67
0,300	598	199,33	455	151,67	250	83,33
0,400	656	218,67	490	163,33	264	88,00
0,500	702	234,00	550	183,33	271	90,33

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	160,00	16,00%	1,467	190	12,67%	1,467
2	125,00	12,50%	1,397	150	10,00%	1,397
3	70,00	7,00%	1,288	82	5,47%	1,288



DENSIDAD SECA MÁXIMA		1,48 gr/cm ³		
DSM		%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,332	8,80%	6,80%	8,80%
95%	1,406	13,00%	9,70%	13,00%





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



Proyecto: Correlación entre CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Ambatillo y Quisapincha, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua

Parroquia: Quisapincha **Coordenadas:** Zona 17 758901.15 E; 9864382.67 S

Vía: Puganza Alto **Revisado:** Ing. Favio Portilla

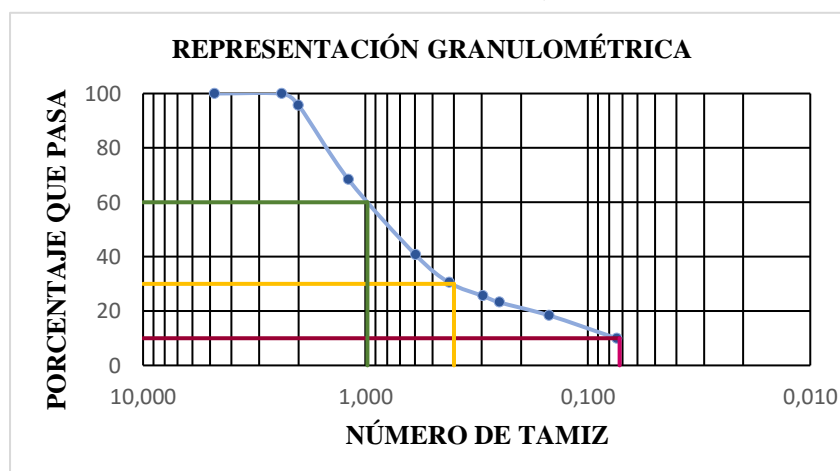
Muestra: 04 **Profundidad:** 0,69 m **Realizado:** Lesly Garzón Zapata

HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
30,8	80,9	69,6	29,12	29,10
30,6	80,7	69,4	29,12	
22,7	73,8	62,3	29,04	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

Tamiz N°	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
4 4,760	0,00	0	0	100,00
8 2,380	0,30	0,3	0,12	99,88
10 2,000	10,60	10,9	4,36	95,64
16 1,190	68,40	79,3	31,72	68,28
30 0,595	69,10	148,4	59,36	40,64
40 0,420	25,50	173,9	69,56	30,44
50 0,297	12,20	186,1	74,44	25,56
60 0,250	5,90	192	76,8	23,20
100 0,149	12,10	204,1	81,64	18,36
200 0,074	21,10	225,2	90,08	9,92
Fuente	24,80	250	100	
W muestra seca (gr)			250	

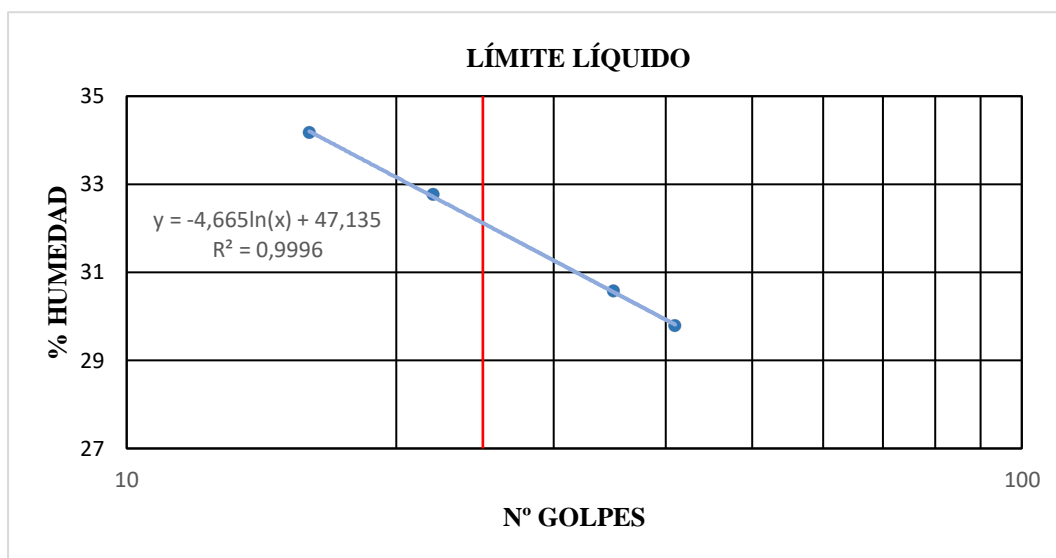


COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,072	Cu = D60/D10	13,61
D30 en mm	0,4	Cc = D30 ² /(D60*D10)	2,27
D60 en mm	0,98	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	2

ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - COPA CASAGRANDEe - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
16	11,40	21,00	18,60	33,33	34,17
	10,60	21,40	18,60	35,00	
22	10,90	22,80	19,80	33,71	32,76
	11,70	23,30	20,50	31,82	
35	11,40	21,90	19,40	31,25	30,57
	11,20	22,50	19,90	29,89	
41	11,20	23,40	20,50	31,18	29,78
	10,90	20,40	18,30	28,38	
PROMEDIO LIMITE LÍQUIDO					31,82



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
1	10,20	11,30	11,10	22,22	22,22
2	10,40	11,50	11,30	22,22	
3	10,70	11,30	11,20	20,00	
4	10,10	11,20	11,00	22,22	
5	10,90	11,90	11,70	25,00	

LÍMITES DE ATTENVERG

Límite líquido:	32,10 %
Límite plástico:	22,22 %
Índice Plástico:	9,88 %

Clasificación del Suelo:

Sistema	AASHTO	A-2-4	Grava y arena limosa o arcillosa
	SUCS	SW-SM	Arenas bien gradadas con limos de baja plasticidad

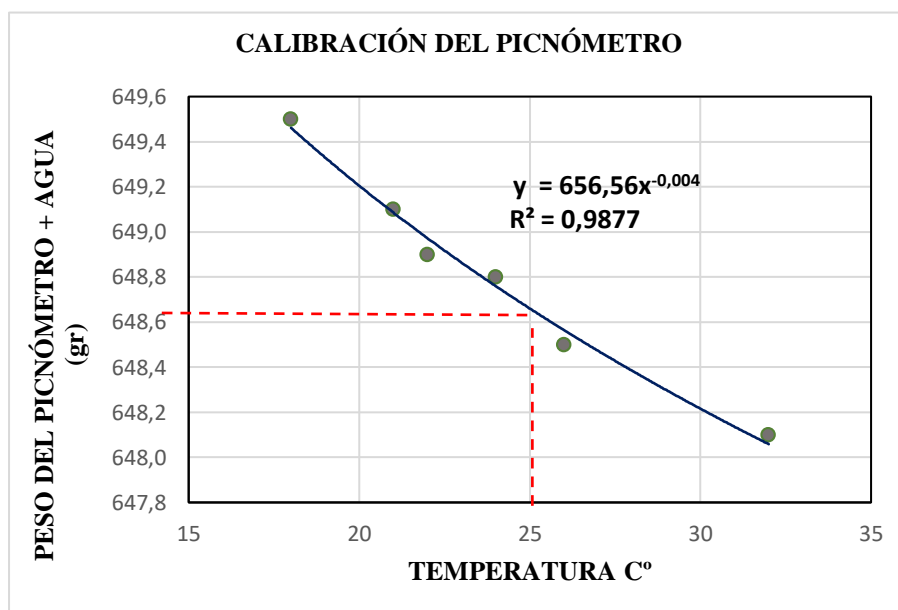
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015

Número de la muestra	4	
Número de pignómetro	1	
Pg + agua hasta la marca de aforo Wbw	648,8	gr
Pg + agua + suelo sumergido Wbws	679,3	gr
Desplazamiento del agua $W_s + W_{bw} - W_{bws}$	18,4	gr
Temperatura del agua y suelo en C°	24	C°
Factor de corrección por temperatura K	0,9978	
Número de recipiente	1	
Recipiente + peso suelo seco	124,7	gr
Peso recipiente	75,8	gr
Peso del suelo seco W_s	48,9	gr
Gravedad Específica = $(W_s.K)/(W_s + W_{bw}-W_{bws})$	2,652	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

GRÁFICA PARA LA CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO



Nota: El peso del picnómetro de acuerdo a la gráfica a una temperatura de 25 C° es de 648,65 gr.

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014

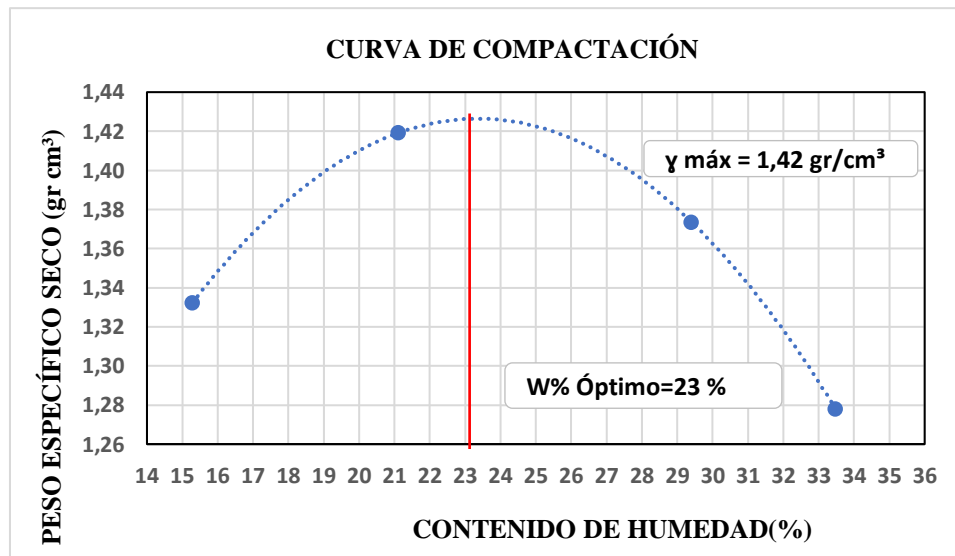
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)					
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec			1005,00		
Peso de la funda gr. Rec			2,40		
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec			1002,60		
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)					
Peso inicial frasco + cono + arena			6300,00		
Peso final frasco + cono + arena			5110,00		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)			343,00		
Peso arena en la perforación			847,00		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)			1,582		
Volumen de la perforación Vm			535,40		
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente número #				1	2
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec			80,90	80,70
Peso seco + recipiente	Ws+rec			69,60	69,40
Peso recipiente	rec			30,80	30,60
Peso del agua	Ww			11,30	11,30
Peso de los sólidos	Ws			38,80	38,80
Contenido de humedad	w%			29,12	29,12
Contenido de humedad promedio	w% prom			29,12	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
				Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos		Vv =		12,11	-
Va =		Va =		0,81	0,00
Vw =		Vw =		11,30	11,30
Vs =		Vs =		14,64	38,80
Vm =		Vm =		26,75	50,10
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)			1,873	gr/cm ³	
Densidad seca (γ_d)			1,450	gr/cm ³	
Contenido de humedad w%			29,12	%	
Relación de vacíos e = Vv/Vs			0,83	natural	
Porosidad n% = Vv/Vm*100			45,27	%	
Grado de Saturación de agua Gw% = Vw/Vv*100			93,29	%	
Grado de Saturación de aire Ga%			6,71	%	

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	10 Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	18 plg
VOLUMEN:	2220,58 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	17148 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO								
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	20559		20965		21095		20936	
Masa molde (gr)	17148		17148		17148		17148	
Masa suelo húmedo (gr)	3411		3817		3947		3788	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,536		1,719		1,777		1,706	
Masa del tarro (gr)	25,7	30,6	24,1	24,7	24,3	24,2	31,2	30,3
Masa suelo húm.+tarro (gr)	77,8	84,8	75,8	75,7	76,5	75,4	82,4	83,1
Masa suelo seco+tarro (gr)	71	77,5	67,1	66,5	64,3	64,1	72,4	67,3
Masa del agua (gr)	6,8	7,3	8,7	9,2	12,2	11,3	10	15,8
Masa suelo seco (gr)	45,3	46,9	43	41,8	40	39,9	41,2	37
Contenido de agua (%)	15,01	15,57	20,23	22,01	30,50	28,32	24,27	42,70
w (%) Promedio	15,29		21,12		29,41		33,49	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,33		1,42		1,37		1,28	
Densidad Seca Máxima (γ máx):	1,42 gr/cm ³							
Humedad Óptima:	23,00 %							
Grado de Compactación	102,13 %							

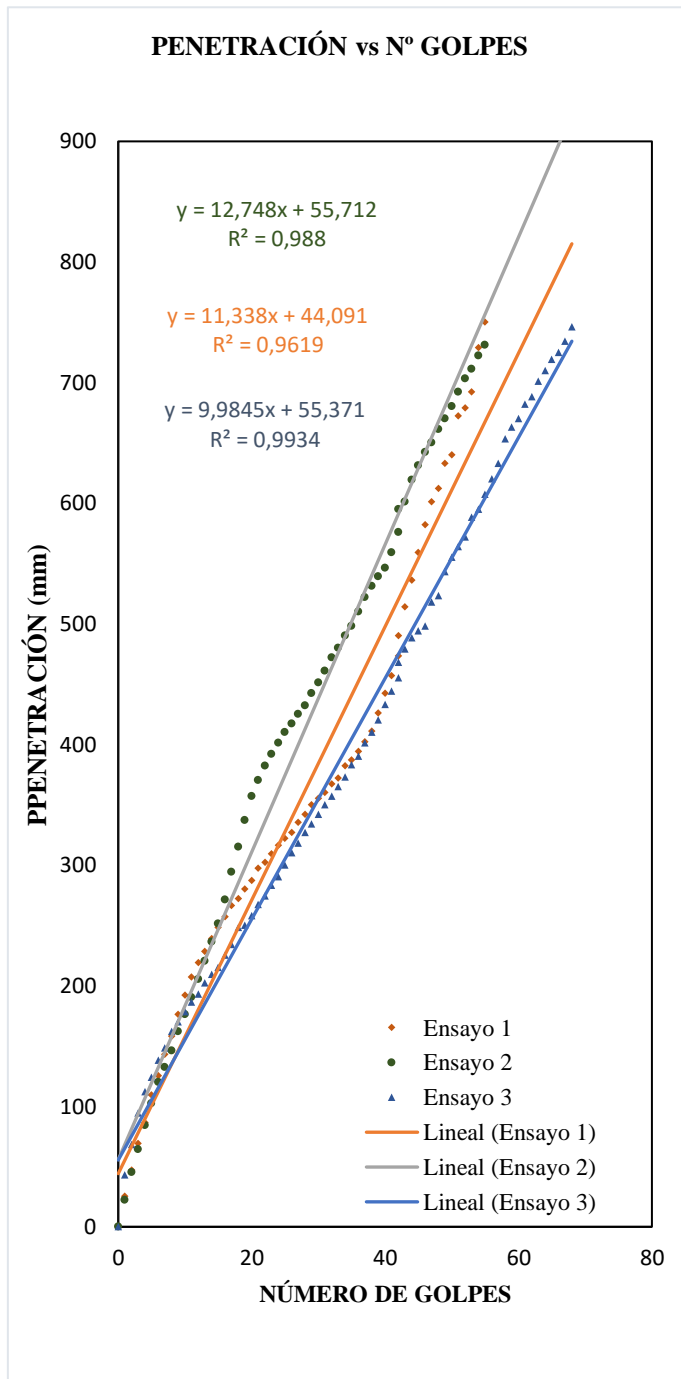
GRÁFICA DE DESIDAD MÁXIMA vs HUMEDAD ÓPTIMA



Nota: La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,42 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 23%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

Nº Golpe	Penetración(mm)		
	1	2	3
0	0	0	0
1	25	22	43
2	47	45	68
3	69	64	94
4	86	84	112
5	109	102	124
6	125	120	138
7	143	132	148
8	158	146	162
9	176	162	170
10	192	176	178
11	207	190	186
12	219	205	193
13	228	220	202
14	239	236	209
15	248	251	215
16	257	271	225
17	266	294	234
18	272	315	248
19	280	337	250
20	287	357	258
21	297	370	267
22	302	382	274
23	309	392	283
24	316	401	290
25	322	410	300
26	327	417	310
27	335	425	318
28	342	432	327
29	350	442	334
30	355	451	342
31	360	461	350
32	367	472	357
33	372	480	365
34	382	490	373
35	387	498	383
36	394	510	390
37	402	522	401
38	411	531	410
39	426	539	420
40	442	546	433
41	457	559	444
42	473	576	455



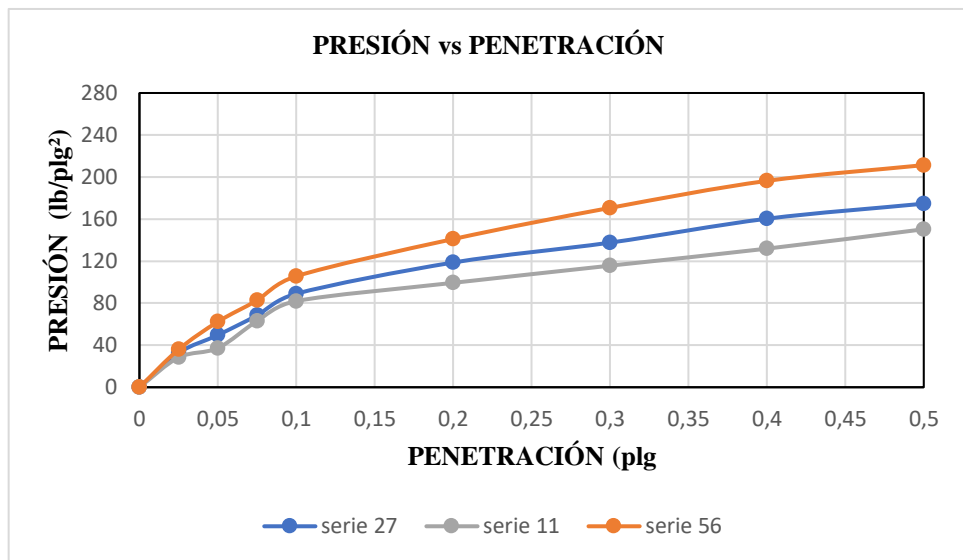
DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	11,338	11,3568
2	12,748	
3	9,9845	

Nº Golpe	Penetración(mm)		
	1	2	3
42	490	595	468
43	514	601	479
44	536	619	488
45	559	631	494
46	582	642	498
47	601	650	518
48	612	661	523
49	633	670	543
50	640	680	555
51	672	692	564
52	679	703	572
53	692	711	588
54	729	722	595
55	750	731	607
56			620
57			633
58			653
59			663
60			670
61			682
62			688
63			701
64			710
65			719
66			725
67			734
68			746

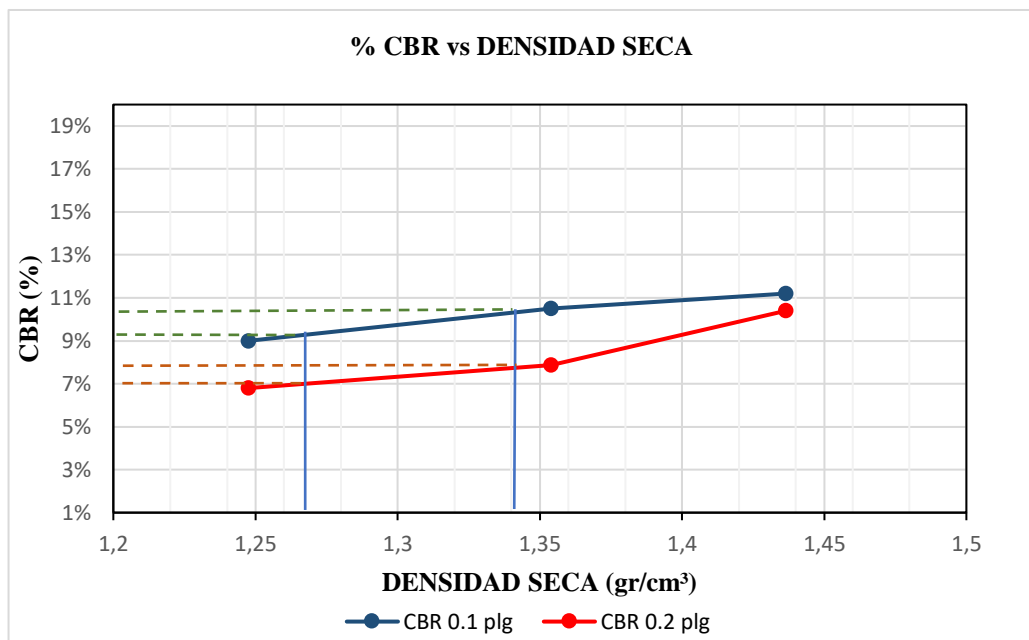
CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013

MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	11527		12022		13231	
Masa molde (gr)	7488		8488		9729	
Masa muestra húmeda (gr)	4039		3534		3502	
Volúmen muestra (cm ³)	2284,38		2120,73		2278,57	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,768		1,666		1,537	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	74,8	71,5	87,6	86,8	98,2	154,6
Masa suelo seco + recip(gr)	65,4	62	78	77,3	88,9	145
Masa del agua (gr)	9,4	9,5	9,6	9,5	9,3	9,6
Masa del recip (gr)	24,4	21,1	36,4	36,1	48,3	104,1
Masa suelo seco	41	40,9	41,6	41,2	40,6	40,9
Contenido de humedad W(%)	22,93	23,23	23,08	23,06	22,91	23,47
W (%) Promedio	23,08		23,07		23,19	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,437		1,354		1,248	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	11616		12167		13559	
Masa molde (gr)	7488		8488		9729	
Masa muestra húmeda (gr)	4128		3679		3830	
Masa agua absorbida(gr)	89		145		328	
% Agua Absorbida	2,20		4,10		9,37	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	82,8	73,6	81,7	82,1	83,4	85,6
Masa del suelo seco+tarro (gr)	71,4	62,9	69,5	69,8	68,2	68,4
Masa del agua (gr)	11,4	10,7	12,2	12,3	15,2	17,2
Masa del tarro (gr)	30,5	23,9	31,1	30,8	30,8	26,4
Masa suelo seco	40,9	39	38,4	39	37,4	42
Contenido de agua (%)	27,87	27,44	31,77	31,54	40,64	40,95
W (%) Promedio	27,65		31,65		40,80	
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	108	36,00	98	32,67	85	28,33
0,050	187	62,33	149	49,67	112	37,33
0,075	248	82,67	205	68,33	189	63,00
0,100	317	105,67	267	89,00	246	82,00
0,200	423	141,00	356	118,67	298	99,33
0,300	512	170,67	413	137,60	347	115,67
0,400	589	196,33	481	160,33	396	131,87
0,500	634	211,33	524	174,67	451	150,33

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	112,00	11,20%	1,437	156	10,40%	1,437
2	105,00	10,50%	1,354	118	7,87%	1,354
3	90,00	9,00%	1,248	102	6,80%	1,248



DENSIDAD SECA MÁXIMA		1,42 gr/cm ³		
DSM		%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,278	9,10%	7,00%	9,10%
95%	1,349	10,80%	8,00%	10,80%





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



Proyecto: Correlación entre CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Ambatillo y Quisapincha, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua

Parroquia: Quisapincha **Coordenadas:** Zona 17, 759217.39 E; 9862048.91 S

Vía: Condezán **Revisado:** Ing. Favio Portilla

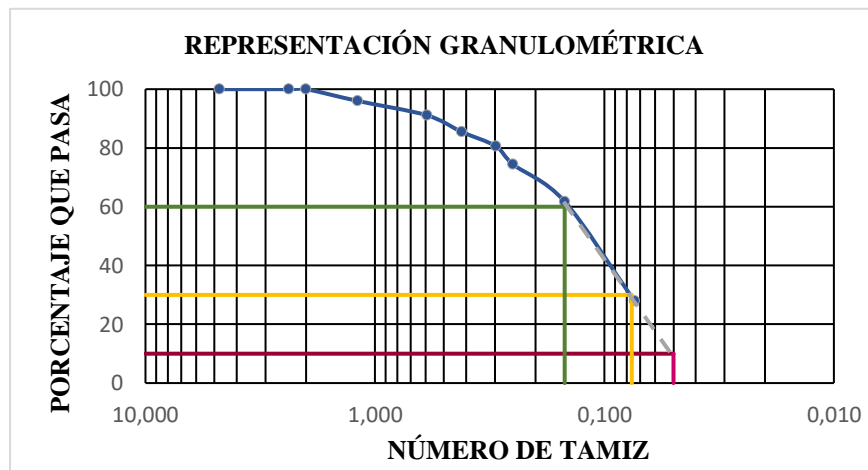
Muestra: 05 **Profundidad:** 0,67 m **Realizado:** Lesly Garzón Zapata

HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
24,8	74,8	69,4	12,11	13,56
31,0	83,3	77,7	11,99	
25,8	75,7	68,6	16,59	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

Tamiz N°	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
4 4,760	0,00	0	0	100,00
8 2,380	0,00	0	0	100,00
10 2,000	0,00	0	0	100,00
16 1,190	10,00	10	4	96,00
30 0,595	12,20	22,2	8,88	91,12
40 0,420	14,00	36,2	14,48	85,52
50 0,297	12,40	48,6	19,44	80,56
60 0,250	15,40	64	25,6	74,40
100 0,149	31,60	95,6	38,24	61,76
200 0,074	84,60	180,2	72,08	27,92
Fuente	69,80	250	100	
W muestra seca (gr)			250	

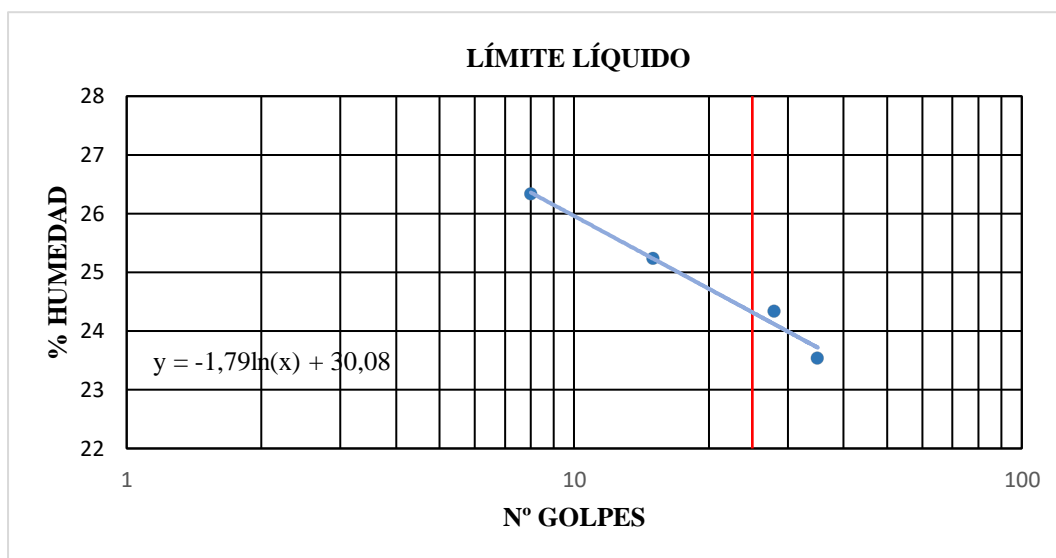


COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,05	Cu = D60/D10	2,98
D30 en mm	0,076	Cc = D30 ² /(D60*D10)	0,78
D60 en mm	0,149	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	0,42

ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - COPA CASAGRANDE - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
8	11,80	19,80	18,10	26,98	26,33
	11,40	20,70	18,80	25,68	
15	11,30	18,50	17,10	24,14	25,23
	11,80	19,00	17,50	26,32	
28	11,40	22,10	20,10	22,99	24,33
	10,80	20,10	18,20	25,68	
35	10,90	17,70	16,40	23,64	23,54
	11,20	19,10	17,60	23,44	
PROMEDIO LIMITE LÍQUIDO					24,86



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
1	10,20	11,50	11,30	18,18	18,61
2	11,00	11,70	11,60	16,67	
3	10,60	11,90	11,70	18,18	
4	10,70	11,90	11,70	20,00	
5	10,70	11,30	11,20	20,00	

LÍMITES DE ATTENVERG

Límite líquido:	24,30 %
Límite plástico:	18,61 %
Índice Plástico:	5,69 %

Clasificación del Suelo:

Sistema	AASHTO	AASHTO	A-2-4	Grava y arena limosa o arcillosa
	SUCS	SUCS	SM	Arenas limosas, mezclas arena - limo

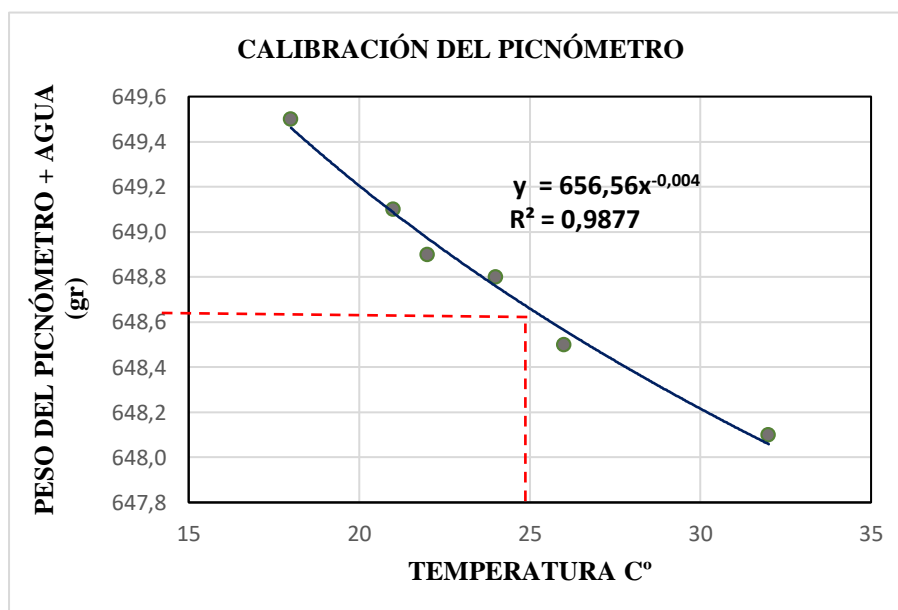
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015

Número de la muestra	5	
Número de pignómetro	1	
Pg + agua hasta la marca de aforo Wbw	648,8	gr
Pg + agua + suelo sumergido Wbws	679,2	gr
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	18,2	gr
Temperatura del agua y suelo en C°	24	C°
Factor de corrección por temperatura K	0,9973	
Número de recipiente	1	
Recipiente + peso suelo seco	133,3	gr
Peso recipiente	84,7	gr
Peso del suelo seco Ws	48,6	gr
Gravedad Específica = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,663	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

GRÁFICA PARA LA CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO



Nota: El peso del picnómetro de acuerdo a la gráfica a una temperatura de 25 C° es de 648,65 gr.

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014

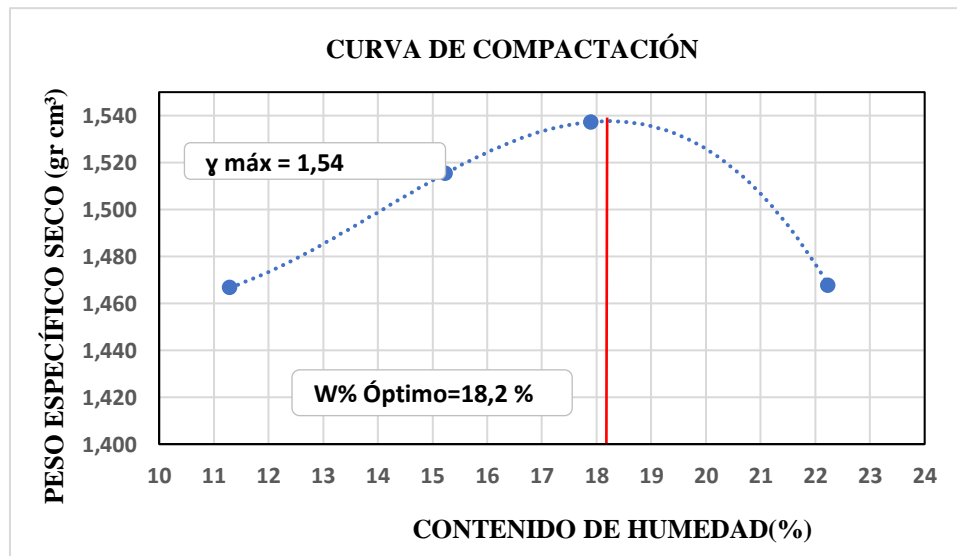
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)					
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec		1430,00			
Peso de la funda gr. Rec		2,40			
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec		1427,60			
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)					
Peso inicial frasco + cono + arena		6280,00			
Peso final frasco + cono + arena		4860,00			
Peso arena en el cono (Calibración del cono)		343,00			
Peso arena en la perforación		1077,00			
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)		1,582			
Volumen de la perforación Vm		680,78			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente número #				1	2
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec			74,80	83,30
Peso seco + recipiente	Ws+rec			69,40	77,70
Peso recipiente	rec			24,80	31,00
Peso del agua	Ww			5,40	5,60
Peso de los sólidos	Ws			44,60	46,70
Contenido de humedad	w%			12,11	11,99
Contenido de humedad promedio	w% prom			12,05	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
				Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos		$V_v =$		7,32	-
$V_a =$		$W_a =$		1,72	0,00
$V_w =$		$W_w =$		5,60	5,60
$V_s =$		$W_s =$		17,62	46,70
$V_m =$		$W_m =$		24,94	52,30
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)		2,097	gr/cm ³		
Densidad seca (γ_d)		1,871	gr/cm ³		
Contenido de humedad w%		12,05	%		
Relación de vacíos e = V_v/V_s		0,42	natural		
Porosidad n% = $V_v/V_m * 100$		29,34	%		
Grado de Saturación de agua Gw% = $V_w/V_v * 100$		76,53	%		
Grado de Saturación de aire Ga%		23,47	%		

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	10 Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	18 plg
VOLUMEN:	2220,58 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	17098 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO								
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	20723		20976		21123		21082	
Masa molde (gr)	17098		17098		17098		17098	
Masa suelo húmedo (gr)	3625		3878		4025		3984	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,632		1,746		1,813		1,794	
Masa del tarro (gr)	24,7	26,5	24,3	24,1	30,7	30,5	31,3	30,7
Masa suelo húm.+tarro (gr)	67,9	77,1	77,8	74,8	82,6	83,3	83,9	84,2
Masa suelo seco+tarro (gr)	63,4	72,1	68,1	70,9	74,8	75,2	74,2	74,6
Masa del agua (gr)	4,5	5	9,7	3,9	7,8	8,1	9,7	9,6
Masa suelo seco (gr)	38,7	45,6	43,8	46,8	44,1	44,7	42,9	43,9
Contenido de agua (%)	11,63	10,96	22,15	8,33	17,69	18,12	22,61	21,87
w (%) Promedio	11,30		15,24		17,90		22,24	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,467		1,515		1,537		1,468	
Densidad Seca Máxima (y máx):	1,54 gr/cm ³							
Humedad Óptima:	18,20 %							
Grado de Compactación	121,53 %							

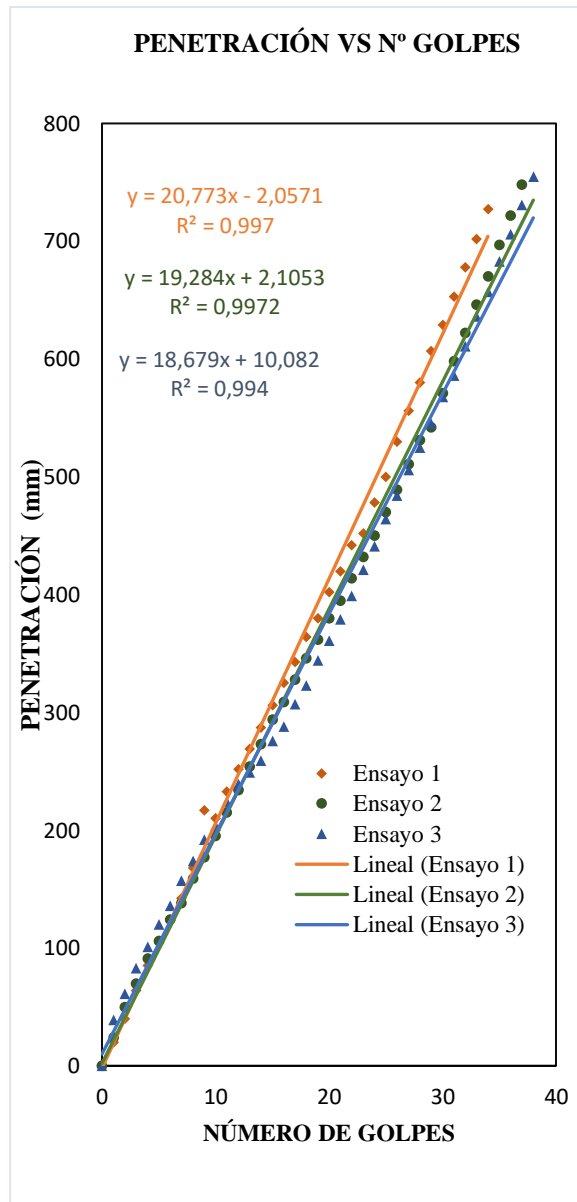
GRÁFICA DE DESIDAD MÁXIMA vs HUMEDAD ÓPTIMA



Nota: La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,54 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 18,2%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
0	0	0	0
1	20	24	39
2	40	50	61
3	64	70	83
4	85	91	101
5	104	106	120
6	123	124	136
7	142	138	157
8	168	159	174
9	217	177	192
10	210	195	204
11	233	215	224
12	252	234	239
13	269	254	249
14	287	273	259
15	306	294	276
16	325	309	288
17	343	328	307
18	364	346	323
19	380	362	344
20	402	380	361
21	420	395	379
22	442	414	399
23	452	432	421
24	478	450	441
25	500	470	464
26	530	489	484
27	556	511	506
28	580	531	525
29	607	542	545
30	629	571	568
31	653	598	586
32	678	622	611
33	702	646	636
34	727	670	657
35		697	683
36		722	706
37		748	731
38			755

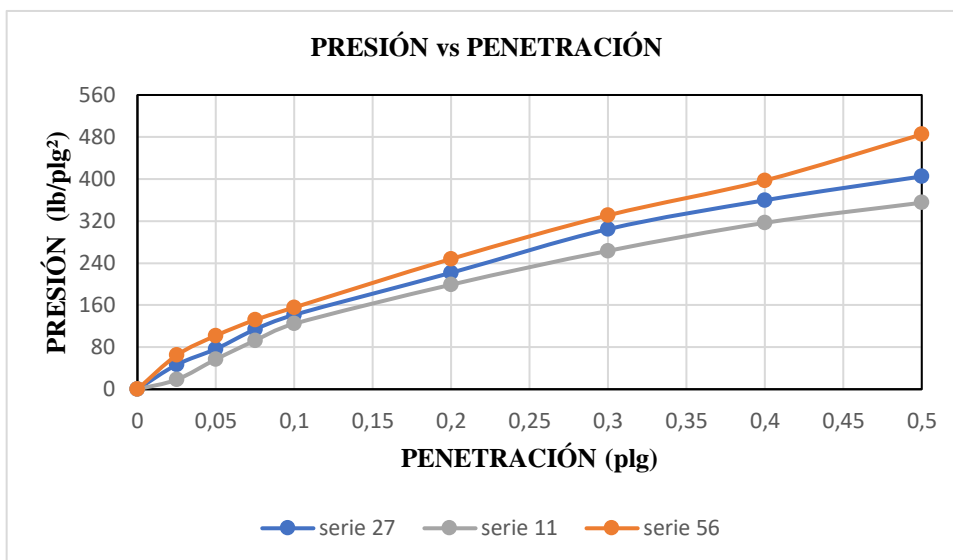


DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	20,773	19,5787
2	19,284	
3	18,679	

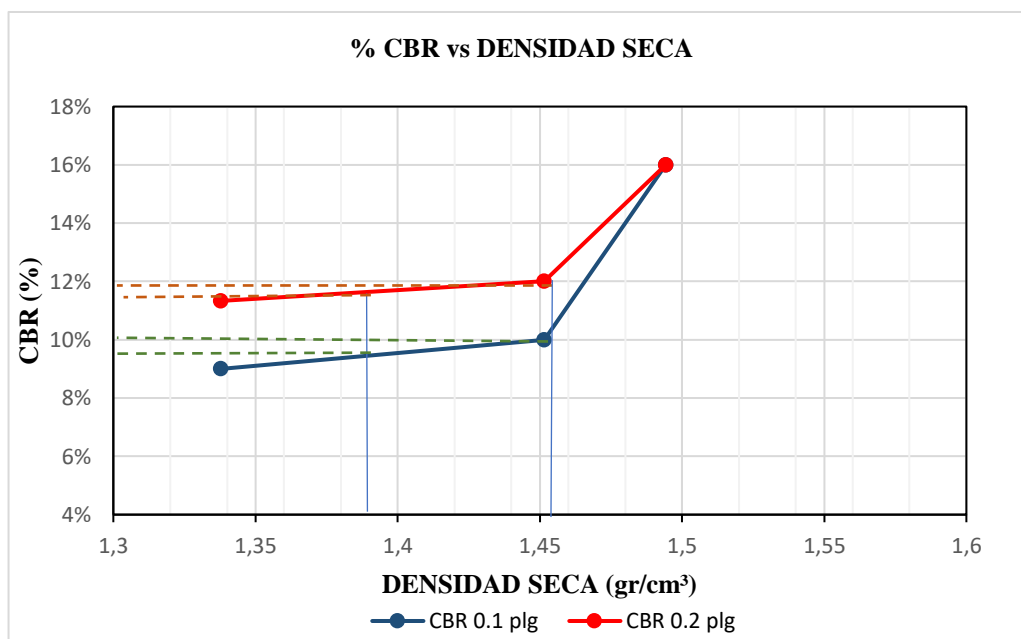
CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013

MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	11570		13491		12869	
Masa molde (gr)	7536		9640		9295	
Masa muestra húmeda (gr)	4034		3851		3574	
Volúmen muestra (cm ³)	2284,38		2243,42		2260,13	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,766		1,717		1,581	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	85,4	81,8	96,1	92,5	91,3	132,2
Masa suelo seco + recip(gr)	77,5	74,3	87,9	85	83,5	124,3
Masa del agua (gr)	7,9	7,5	8,2	7,5	7,8	7,9
Masa del recip (gr)	34,3	32,8	43,4	43,5	40,8	80,7
Masa suelo seco	43,2	41,5	44,5	41,5	42,7	43,6
Contenido de humedad W(%)	18,29	18,07	18,43	18,07	18,27	18,12
W (%) Promedio	18,18		18,25		18,19	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,494		1,452		1,338	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	11666		13615		13083	
Masa molde (gr)	7536		9640		9295	
Masa muestra húmeda (gr)	4130		3975		3788	
Masa agua absorbida(gr)	96		124		214	
% Agua Absorbida	2,38%		3,22%		5,99%	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	114,6	78,2	93,7	95,3	76,9	78,4
Masa del suelo seco+tarro (gr)	108,5	72,1	81,5	84,7	68,2	67,5
Masa del agua (gr)	6,1	6,1	12,2	10,6	8,7	10,9
Masa del tarro (gr)	80,7	43,5	34,3	43,4	40,8	32,8
Masa suelo seco	27,8	28,6	47,2	41,3	27,4	34,7
Contenido de agua (%)	21,94	21,33	25,85	25,67	31,75	31,41
W (%) Promedio	21,64		25,76		31,58	
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	194	64,67	140	46,67	55	18,33
0,050	306	102,00	230	76,67	171	57,00
0,075	396	132,00	342	114,00	278	92,67
0,100	467	155,67	425	141,67	374	124,67
0,200	744	248,00	665	221,67	597	199,00
0,300	993	331,00	914	304,67	790	263,33
0,400	1192	397,33	1079	359,67	950	316,67
0,500	1455	485,00	1215	405,00	1065	355,00

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	160,00	16,00%	1,494	240	16,00%	1,494
2	100,00	10,00%	1,452	180	12,00%	1,452
3	90,00	9,00%	1,338	170	11,33%	1,338



DENSIDAD SECA MÁXIMA		1,54 gr/cm ³		
DSM		%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,386	9,80%	11,60%	11,60%
95%	1,463	10,00%	11,80%	11,80%





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



Proyecto: Correlación entre CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Ambatillo y Quisapincha, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua

Parroquia: Quisapincha **Coordenadas:** Zona 17, 758945.06 E; 9861765.42 S

Vía: Condezán **Revisado:** Ing. Favio Portilla

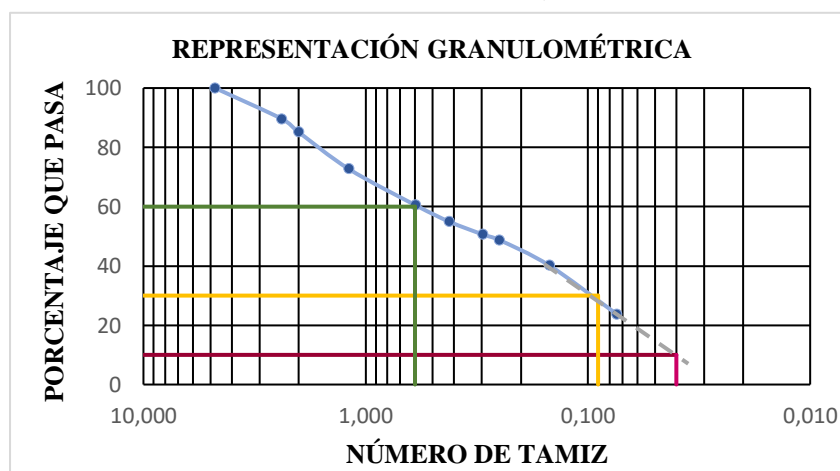
Muestra: 06 **Profundidad:** 0,71 m **Realizado:** Lesly Garzón Zapata

HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
31,1	82,4	75,1	16,59	16,36
22,7	72,9	65,9	16,20	
25,4	75,4	68,4	16,28	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

Tamiz N°	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
4 4,760	0,00	0	0	100,00
8 2,380	26,10	26,1	10,44	89,56
10 2,000	11,10	37,2	14,88	85,12
16 1,190	31,10	68,3	27,32	72,68
30 0,595	30,60	98,9	39,56	60,44
40 0,420	13,80	112,7	45,08	54,92
50 0,297	10,80	123,5	49,4	50,60
60 0,250	4,70	128,2	51,28	48,72
100 0,149	21,50	149,7	59,88	40,12
200 0,074	41,10	190,8	76,32	23,68
fuelle	57,60	248,4	99,36	
W muestra seca (gr)			250	

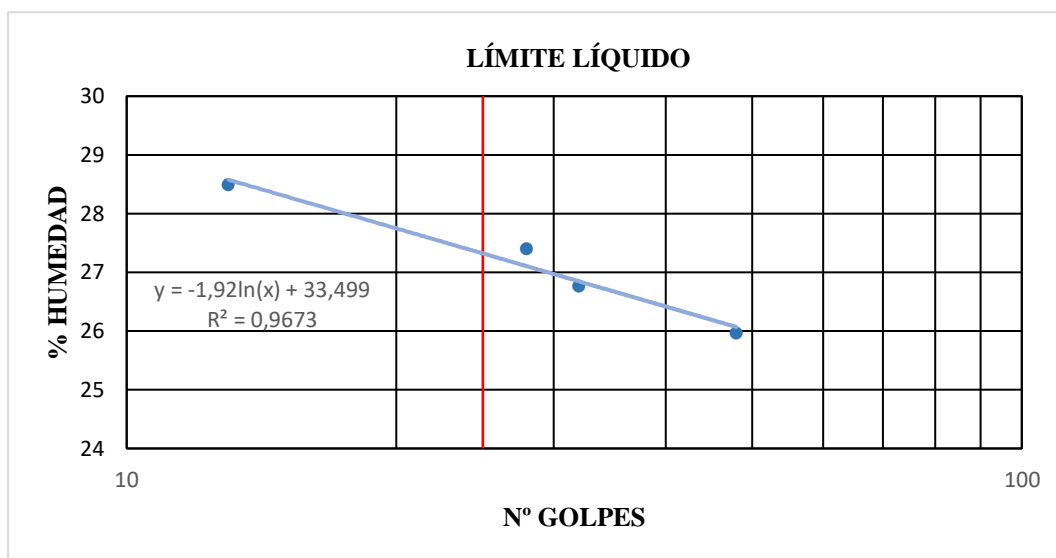


COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,27	0,04	D60/D10	2,22
D30 en mm	0,43	0,09	D30 ² /(D60*D10)	1,14
D60 en mm	0,6	Tamaño Nominal Máximo (TNM)		2

ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - COPA CASAGRANDE - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
13	11,20	21,60	19,30	28,40	28,48
	11,00	20,00	18,00	28,57	
28	11,40	26,30	23,10	27,35	27,39
	11,40	25,80	22,70	27,43	
32	11,40	21,20	19,10	27,27	26,76
	11,20	21,30	19,20	26,25	
48	11,00	20,40	18,50	25,33	25,96
	10,90	20,90	18,80	26,58	
PROMEDIO LIMITE LÍQUIDO					27,15



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
1	10,70	11,20	11,10	25,00	21,44
2	10,80	11,40	11,30	20,00	
3	10,30	10,90	10,80	20,00	
4	10,20	11,30	11,10	22,22	
5	10,60	11,80	11,60	20,00	

LÍMITES DE ATTENVERG

Límite líquido:	27,20	%
Límite plástico:	21,44	%
Índice Plástico:	5,76	%

Clasificación del Suelo:

Sistema	AASHTO	A-2-4	Grava y arena limosa o arcillosa
	SUCS	SM	Arenas limosas, mezclas arena - limo

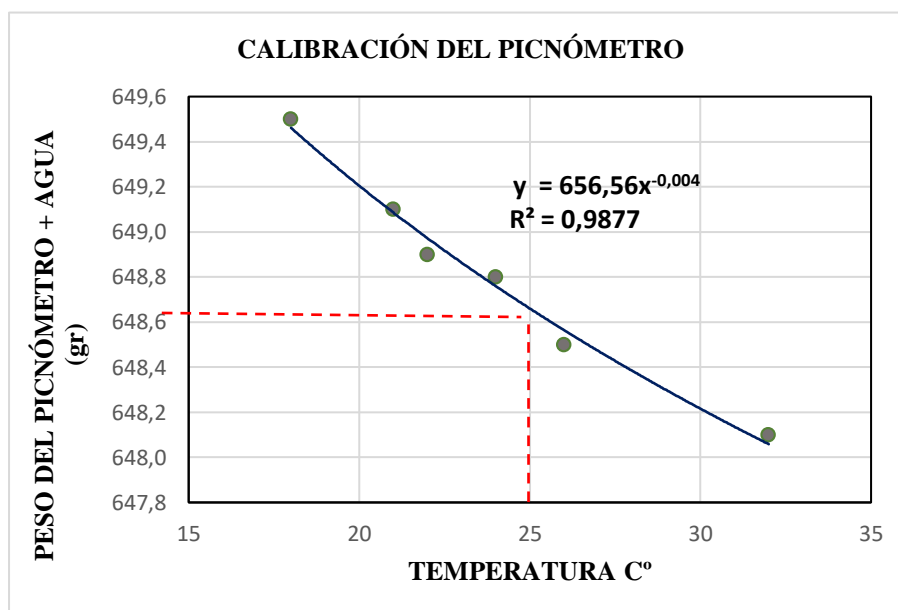
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015

Número de la muestra	6	
Número de pignómetro	1	
Pg + agua hasta la marca de aforo Wbw	648,85	gr
Pg + agua + suelo sumergido Wbws	679,4	gr
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	18,35	gr
Temperatura del agua y suelo en C°	23	C°
Factor de corrección por temperatura K	0,9976	
Número de recipiente	1	
Recipiente + peso suelo seco	125,2	gr
Peso recipiente	76,3	gr
Peso del suelo seco Ws	48,9	gr
Gravedad Específica = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,658	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

GRÁFICA PARA LA CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO



Nota: El peso del picnómetro de acuerdo a la gráfica a una temperatura de 25 C° es de 648,65 gr.

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014

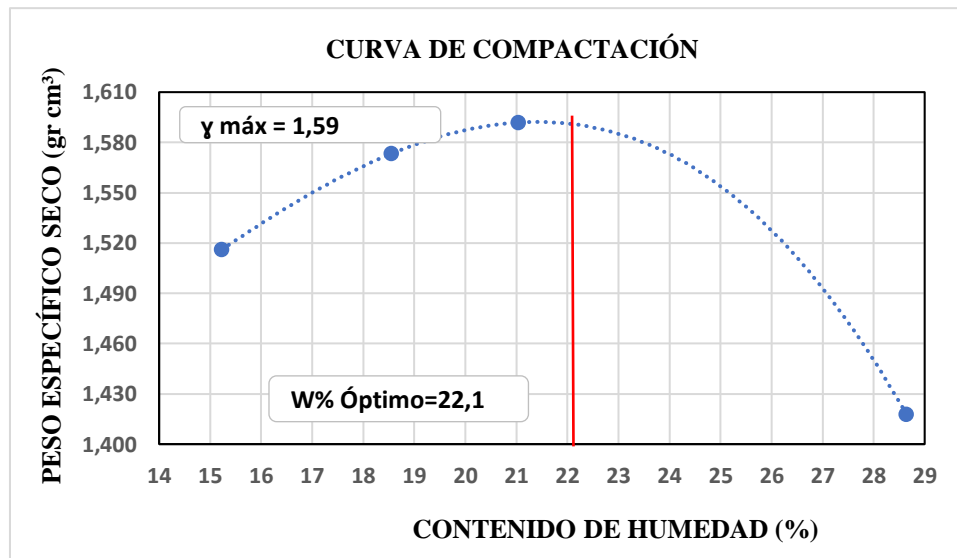
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)					
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec		1060,00			
Peso de la funda gr. Rec		2,40			
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec		1057,60			
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)					
Peso inicial frasco + cono + arena		6290,00			
Peso final frasco + cono + arena		5110,00			
Peso arena en el cono (Calibración del cono)		343,00			
Peso arena en la perforación		837,00			
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)		1,582			
Volumen de la perforación Vm		529,08			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente número #				1	2
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec			82,40	72,90
Peso seco + recipiente	Ws+rec			75,10	65,90
Peso recipiente	rec			31,10	22,70
Peso del agua	Ww			7,30	7,00
Peso de los sólidos	Ws			44,00	43,20
Contenido de humedad	w%			16,59	16,20
Contenido de humedad promedio	w% prom			16,40	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
				Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos		$V_v =$		8,81	-
$V_a =$		$W_a =$		1,81	0,00
$V_w =$		$W_w =$		7,00	7,00
$V_s =$		$W_s =$		16,30	43,20
$V_m =$		$W_m =$		25,11	50,20
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)		1,999	gr/cm ³		
Densidad seca (γ_d)		1,717	gr/cm ³		
Contenido de humedad w%		16,40	%		
Relación de vacíos e = V_v/V_s		0,54	natural		
Porosidad n% = $V_v/V_m \cdot 100$		35,09	%		
Grado de Saturación de agua Gw% = $V_w/V_v \cdot 100$		79,44	%		
Grado de Saturación de aire Ga%		20,56	%		

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	10 Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	18 plg
VOLUMEN:	2220,58 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	15888 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO									
PRUEBA N°	1		2		3		4		
Suelo húmedo+molde (gr)	19767		20030		20167		19938		
Masa molde (gr)	15888		15888		15888		15888		
Masa suelo húmedo (gr)	3879		4142		4279		4050		
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,747		1,865		1,927		1,824		
Masa del tarro (gr)	26,3	24,5	24,1	24,3	30,7	31,3	31,6	31,5	
Masa suelo húm.+tarro (gr)	86,3	84,8	75,1	74,9	82,7	83,4	84,5	84,6	
Masa suelo seco+tarro (gr)	78,4	76,8	67,3	66,8	73,8	74,2	72,6	72,9	
Masa del agua (gr)	7,9	8	7,8	8,1	8,9	9,2	11,9	11,7	
Masa suelo seco (gr)	52,1	52,3	43,2	42,5	43,1	42,9	41	41,4	
Contenido de agua (%)	15,16	15,30	18,06	19,06	20,65	21,45	29,02	28,26	
w (%) Promedio	15,23		18,56		21,05		28,64		
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,516		1,573		1,592		1,418		
Densidad Seca Máxima (y máx):			1,59 gr/cm ³						
Humedad Óptima:			22,10 %						
Grado de Compactación			108,01 %						

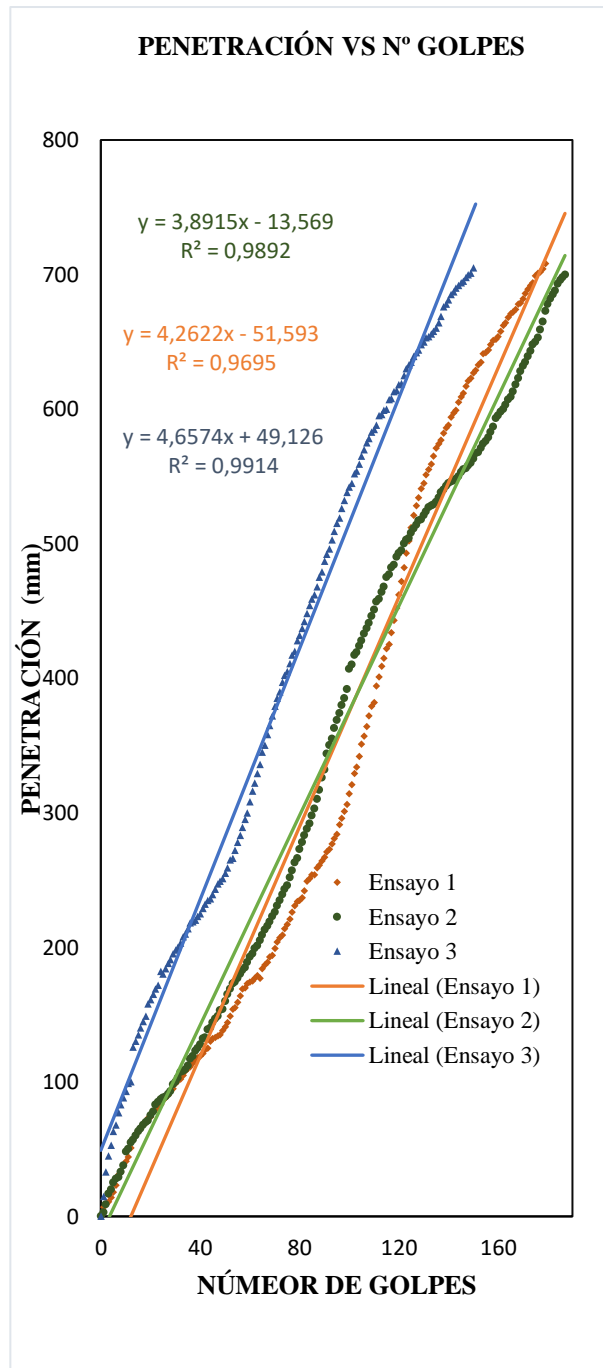
GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA vs HUMEDAD ÓPTIMA



Nota: La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,59 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 22,1%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
0	0	0	0
1	7	3	15
2	9	9	33
3	11	17	45
4	14	20	53
5	18	25	63
6	23	28	68
7	31	29	77
8	33	33	83
9	38	38	88
10	41	48	93
11	44	50	99
12	51	55	100
13	57	57	126
14	60	60	130
15	64	63	135
16	65	65	140
17	68	68	145
18	70	70	149
19	73	71	158
20	74	75	161
21	78	78	165
22	79	83	169
23	81	85	172
24	83	87	182
25	86	88	180
26	88	89	184
27	90	91	188
28	93	93	191
29	95	98	195
30	99	100	198
31	101	103	200
32	102	107	203
33	105	108	208
34	108	109	210
35	110	112	214
36	111	117	218
37	114	119	219
38	116	123	220
39	118	125	223
40	119	128	225
41	121	132	229
42	124	133	232
43	125	139	235



DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	4,2622	4,2704
2	3,8915	
3	4,6574	

Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
44	130	140	236
45	132	144	239
46	133	147	243
47	134	149	247
48	135	153	249
49	138	154	251
50	141	160	255
51	144	165	259
52	149	169	265
53	154	173	266
54	155	174	272
55	159	177	278
56	164	180	283
57	169	183	289
58	170	185	295
59	173	189	300
60	174	193	308
61	175	195	316
62	177	199	322
63	179	201	329
64	177	205	336
65	184	209	345
66	187	213	350
67	189	216	358
68	193	219	365
69	194	223	372
70	199	226	379
71	204	231	385
72	207	235	390
73	209	239	397
74	214	243	402
75	217	246	405
76	221	252	411
77	226	257	417
78	231	263	420
79	234	266	428
80	235	273	432
81	237	278	437
82	242	283	442
83	249	288	448
84	251	292	454
85	254	298	459
86	254	303	462
87	259	310	468

Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
88	261	317	475
89	264	326	479
90	267	332	487
91	271	344	492
92	273	350	496
93	277	355	503
94	281	363	509
95	284	369	515
96	291	374	519
97	296	380	526
98	301	385	532
99	306	392	538
100	314	407	542
101	321	410	545
102	329	417	552
103	334	419	554
104	342	424	559
105	351	428	565
106	357	433	570
107	364	437	575
108	372	441	578
109	379	446	583
110	382	451	585
111	394	457	588
112	401	459	595
113	409	464	596
114	415	468	599
115	422	475	600
116	425	477	607
117	434	482	608
118	443	484	613
119	452	490	614
120	462	493	618
121	472	495	619
122	482	500	625
123	493	503	630
124	502	504	633
125	512	508	635
126	521	511	639
127	528	514	642
128	534	517	644
129	541	518	648
130	545	521	650
131	551	524	653

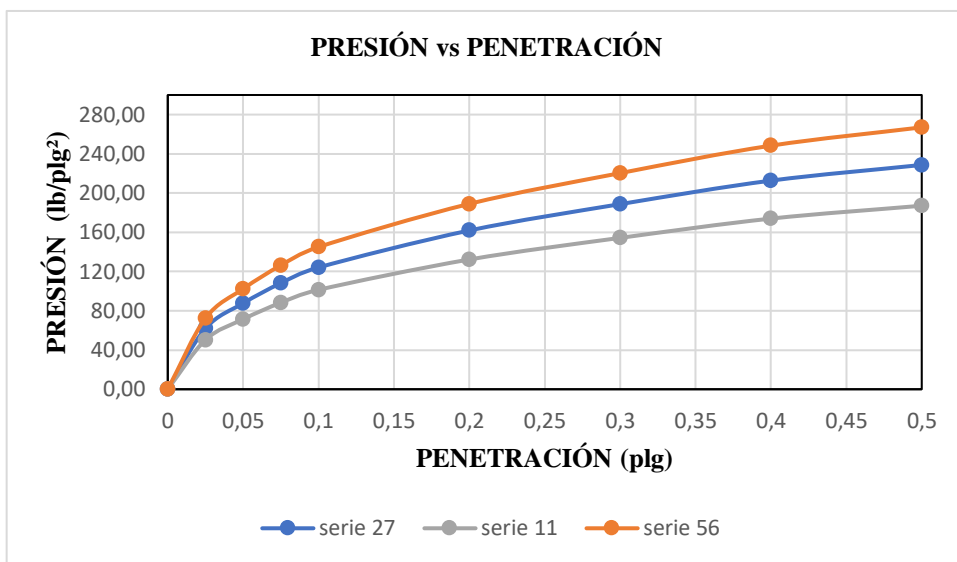
Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
132	555	527	654
133	559	528	656
134	565	529	658
135	571	531	660
136	574	534	664
137	577	538	669
138	582	540	676
139	586	543	678
140	588	545	681
141	594	546	685
142	597	547	687
143	599	548	690
144	605	550	692
145	609	553	694
146	612	555	695
147	617	556	698
148	621	558	700
149	623	560	701
150	627	563	705
151	629	567	
152	633	568	
153	635	571	
154	641	574	
155	642	576	
156	644	579	
157	648	583	
158	651	587	
159	652	593	
160	654	595	
161	658	598	
162	662	600	
163	664	603	
164	668	607	
165	671	609	
166	672	613	
167	674	618	
168	678	623	
169	679	628	
170	682	632	
171	686	635	
172	689	639	
173	692	643	
174	694	648	
175	699	650	
176	701	653	
177	702	659	

Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
178	704	665	
179	708	673	
180		678	
181		682	
182		685	
183		688	
184		693	
185		696	
186		698	
187		700	

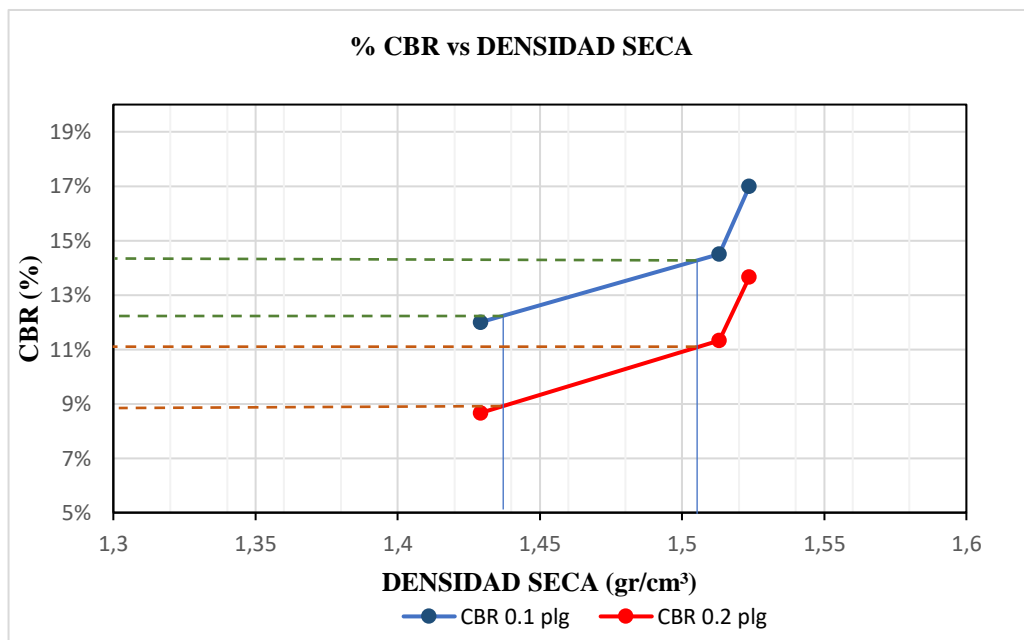
CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013

MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	11845		10893		12542	
Masa molde (gr)	7586		6724		8631	
Masa muestra húmeda (gr)	4259		4169		3911	
Volúmen muestra (cm ³)	2286,42		2256,39		2238,48	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,863		1,848		1,747	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	77,1	74,8	75,1	74,9	81,5	132,9
Masa suelo seco + recip(gr)	67,9	65,6	65,8	65,8	72,2	123,4
Masa del agua (gr)	9,2	9,2	9,3	9,1	9,3	9,5
Masa del recip (gr)	26,3	24,5	24,1	24,3	30,7	80,4
Masa suelo seco	41,6	41,1	41,7	41,5	41,5	43
Contenido de humedad W(%)	22,12	22,38	22,30	21,93	22,41	22,09
W (%) Promedio	22,25		22,11		22,25	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,524		1,513		1,429	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	11895		10982		12632	
Masa molde (gr)	7586		6724		8631	
Masa muestra húmeda (gr)	4309		4258		4001	
Masa agua absorbida(gr)	50		89		90	
% Agua Absorbida	1,17		2,13		2,30	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	76,9	73,5	75,6	79,2	93,5	98,7
Masa del suelo seco+tarro (gr)	67,1	63,9	64,8	67,8	79	83,1
Masa del agua (gr)	9,8	9,6	10,8	11,4	14,5	15,6
Masa del tarro (gr)	26,3	24,5	24,1	24,3	30,7	31,3
Masa suelo seco	40,8	39,4	40,7	43,5	48,3	51,8
Contenido de agua (%)	24,02	24,37	26,54	26,21	30,02	30,12
W (%) Promedio	24,19		26,37		30,07	
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	217	72,33	186	61,95	151	50,32
0,050	307	102,33	263	87,64	214	71,40
0,075	379	126,33	325	108,19	265	88,26
0,100	435	145,00	373	124,18	304	101,37
0,200	567	189,00	486	161,86	397	132,28
0,300	661	220,33	566	188,70	463	154,30
0,400	745	248,33	638	212,68	522	173,97
0,500	801	267,00	686	228,66	561	187,08

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	170,00	17,00%	1,524	205	13,67%	1,524
2	145,00	14,50%	1,513	170	11,33%	1,513
3	120,00	12,00%	1,429	130	8,67%	1,429



DENSIDAD SECA MÁXIMA		1,59 gr/cm ³		
DSM		%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,431	12,30%	8,90%	12,30%
95%	1,511	14,80%	11,00%	14,80%





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



Proyecto: Correlación entre CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Ambatillo y Quisapincha, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua

Parroquia: Ambatillo **Coordenadas:** Zona 17, 760098.77 E; 9863555.77 S

Vía: El Rosario **Revisado:** Ing. Favio Portilla

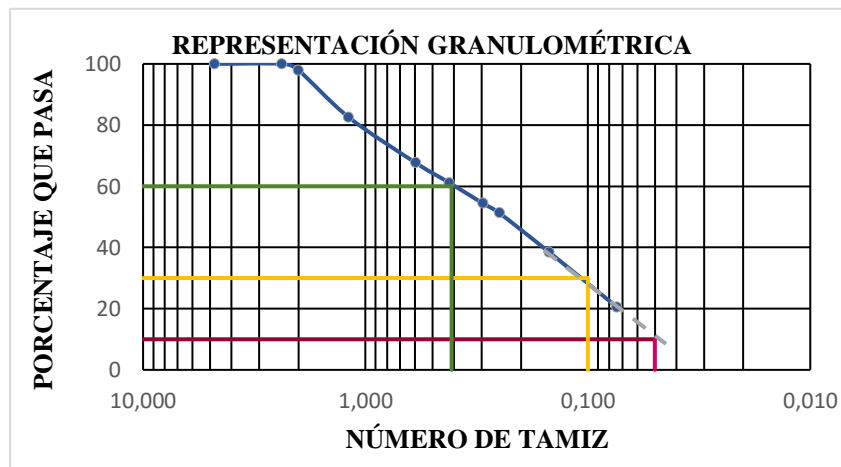
Muestra: 07 **Profundidad:** 0,73 m **Realizado:** Lesly Garzón Zapata

HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
30,5	81,5	73,2	19,44	18,55
30,9	82,6	74,7	18,04	
30,7	82,1	74,2	18,16	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

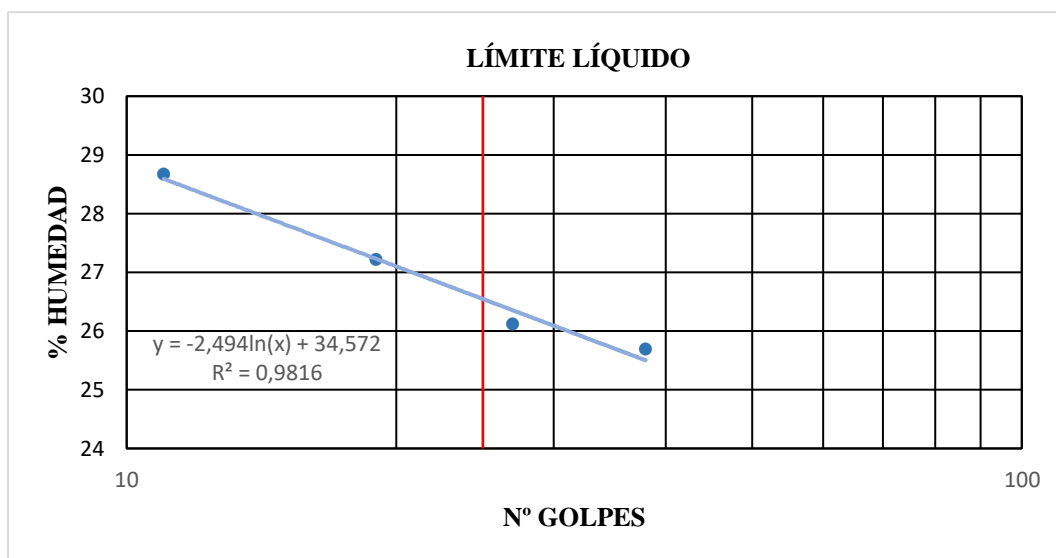
Tamiz N°	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
4 4,760	0,00	0	0	100,00
8 2,380	0,00	0	0	100,00
10 2,000	5,30	5,3	2,12	97,88
16 1,190	38,30	43,6	17,44	82,56
30 0,595	37,20	80,8	32,32	67,68
40 0,420	16,30	97,1	38,84	61,16
50 0,297	16,80	113,9	45,56	54,44
60 0,250	8,00	121,9	48,76	51,24
100 0,149	32,10	154	61,6	38,40
200 0,074	44,70	198,7	79,48	20,52
Fuente	50,90	249,6	99,84	
W muestra seca (gr)			250	



COEFICIENTES DEL SUELO			
D10 en mm	0,05	Cu = D60/D10	8,20
D30 en mm	0,1	Cc = D30 ² /(D60*D10)	0,49
D60 en mm	0,41	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	2

ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO -COPA CASAGRANDE - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
11	11,10	20,40	18,30	29,17	28,67
	11,20	20,30	18,30	28,17	
19	10,80	20,80	18,70	26,58	27,22
	11,30	21,40	19,20	27,85	
27	11,00	22,30	20,00	25,56	26,11
	11,10	20,60	18,60	26,67	
38	11,40	21,30	19,20	26,92	25,68
	10,50	21,70	19,50	24,44	
PROMEDIO LIMITE LÍQUIDO					26,92



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
1	10,70	11,40	11,30	16,67	18,00
2	10,30	10,90	10,80	20,00	
3	10,50	11,10	11,00	20,00	
4	10,60	11,30	11,20	16,67	
5	10,70	11,40	11,30	16,67	

LÍMITES DE ATTENVERG

Límite líquido:	26,60	%
Límite plástico:	18,00	%
Índice Plástico:	8,60	%

Clasificación del Suelo:

Sistema	AASHTO	A-2-4	Grava y arena limosa o arcillosa
	SUCS	SC	Arenas arcillosas, mezclas arena - arcilla

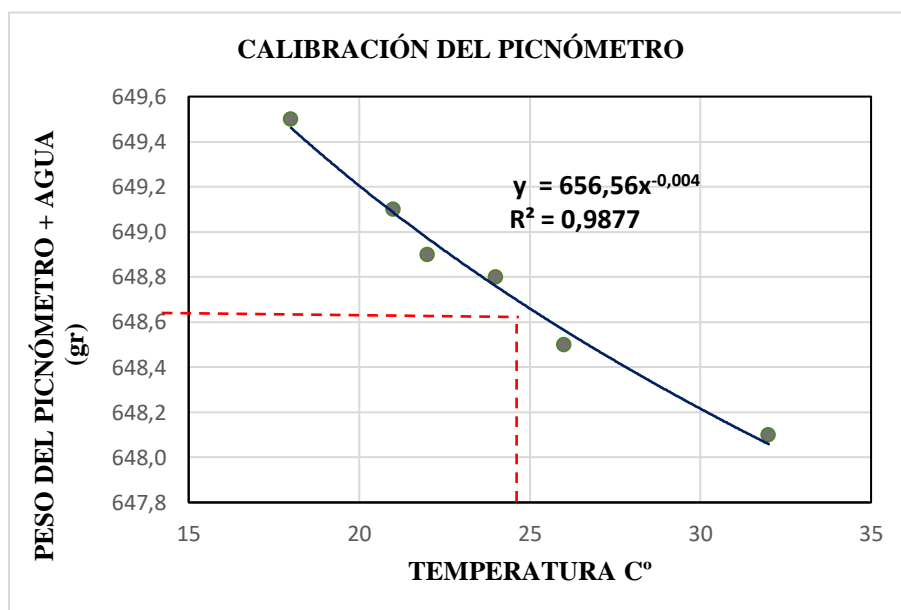
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015

Número de la muestra	7	
Número de pignómetro	1	
Pg + agua hasta la marca de aforo Wbw	648,8	gr
Pg + agua + suelo sumergido Wbws	679,5	gr
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	18,4	gr
Temperatura del agua y suelo en C°	24	C°
Factor de corrección por temperatura K	0,9973	
Número de recipiente	1	
Recipiente + peso suelo seco	153,9	gr
Peso recipiente	104,8	gr
Peso del suelo seco Ws	49,1	gr
Gravedad Específica = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,661	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

GRÁFICA PARA LA CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO



Nota: El peso del picnómetro de acuerdo a la gráfica a una temperatura de 25 C° es de 648,65 gr.

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014

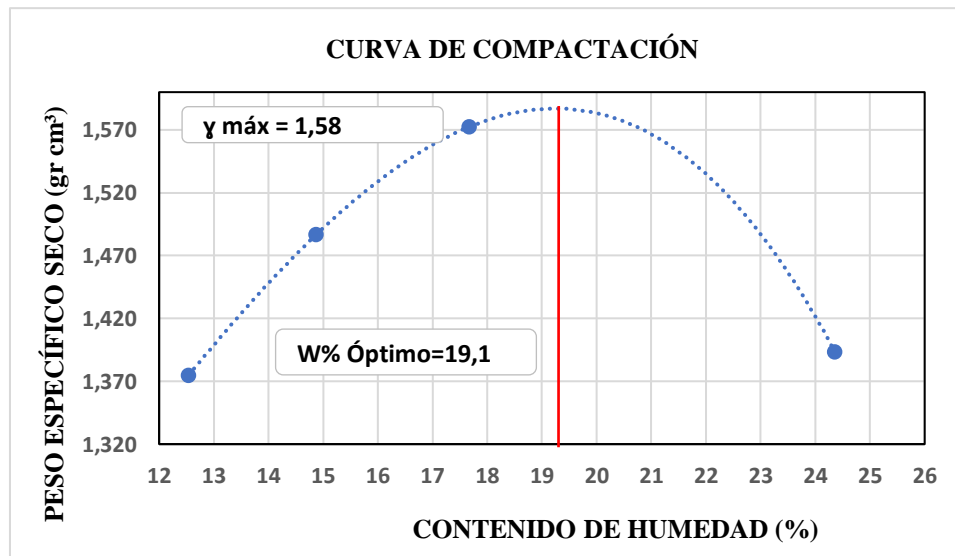
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)					
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec		1110,00			
Peso de la funda gr. Rec		3,40			
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec		1106,60			
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)					
Peso inicial frasco + cono + arena		6290,00			
Peso final frasco + cono + arena		5010,00			
Peso arena en el cono (Calibración del cono)		343,00			
Peso arena en la perforación		937,00			
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)		1,582			
Volumen de la perforación Vm		592,29			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente número #				1	2
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec			81,50	82,60
Peso seco + recipiente	Ws+rec			73,20	74,70
Peso recipiente	rec			30,50	30,90
Peso del agua	Ww			8,30	7,90
Peso de los sólidos	Ws			42,70	43,80
Contenido de humedad	w%			19,44	18,04
Contenido de humedad promedio	w% prom			18,74	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
				Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos		$V_v =$		11,14	-
$V_a =$		$W_a =$		3,24	0,00
$V_w =$		$W_w =$		7,90	7,90
$V_s =$		$W_s =$		16,53	43,80
$V_m =$		$W_m =$		27,67	51,70
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)				1,868	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)				1,574	gr/cm ³
Contenido de humedad w%				18,74	%
Relación de vacíos e = V_v/V_s				0,67	natural
Porosidad n% = $V_v/V_m * 100$				40,27	%
Grado de Saturación de agua Gw% = $V_w/V_v * 100$				70,90	%
Grado de Saturación de aire Ga%				29,10	%

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	10 Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	18 plg
VOLUMEN:	2220,58 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	17148 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO								
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	20584		20941		21257		20996	
Masa molde (gr)	17148		17148		17148		17148	
Masa suelo húmedo (gr)	3436		3793		4109		3848	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,547		1,708		1,850		1,733	
Masa del tarro (gr)	43,5	43,6	40,8	40,8	32,6	34,1	40,7	80,7
Masa suelo húm.+tarro (gr)	93,7	90,3	94,3	91,5	83,8	83,4	91,5	133
Masa suelo seco+tarro (gr)	88,1	85,1	87,3	85	76	76,1	81,8	122,5
Masa del agua (gr)	5,6	5,2	7	6,5	7,8	7,3	9,7	10,5
Masa suelo seco (gr)	44,6	41,5	46,5	44,2	43,4	42	41,1	41,8
Contenido de agua (%)	12,56	12,53	15,05	14,71	17,97	17,38	23,60	25,12
w (%) Promedio	12,54		14,88		17,68		24,36	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,375		1,487		1,572		1,393	
Densidad Seca Máxima (y máx):	1,58 gr/cm ³							
Humedad Óptima:	19,10 %							
Grado de Compactación	99,589 %							

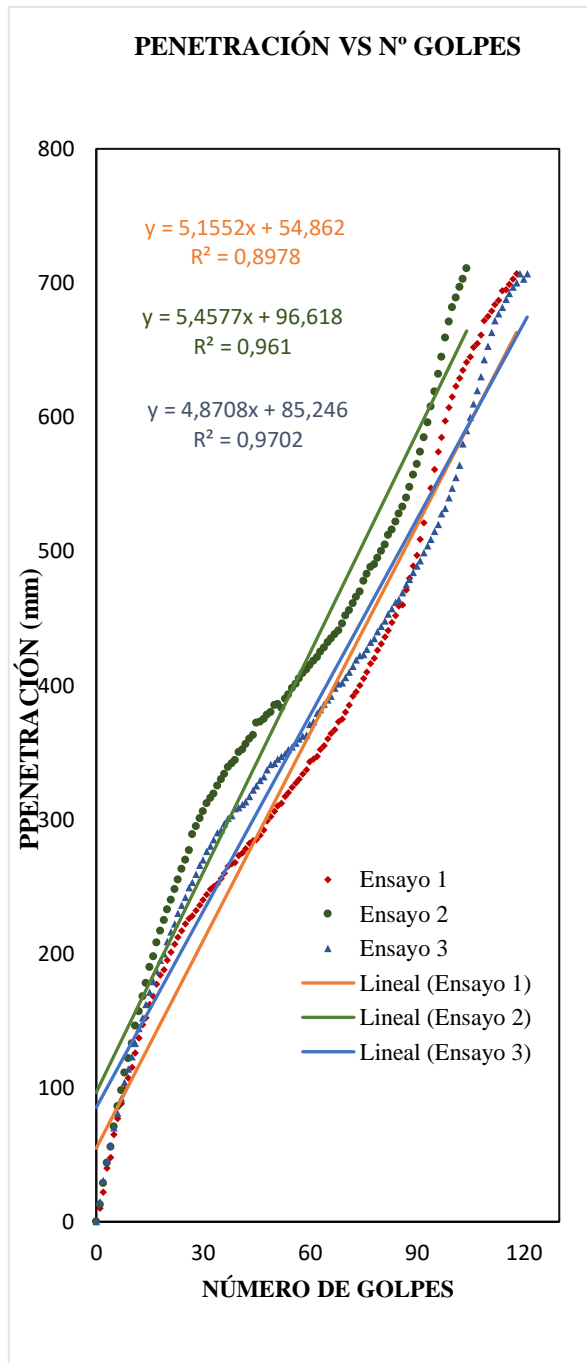
GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA vs HUMEDAD ÓPTIMA



Nota: La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,58 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 19,1%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
0	0	0	0
1	10	13	15
2	22	29	31
3	40	44	45
4	48	56	57
5	65	71	70
6	77	86	81
7	88	98	92
8	99	111	104
9	107	122	114
10	115	133	123
11	126	146	133
12	137	157	144
13	147	168	152
14	152	178	162
15	162	190	171
16	168	198	179
17	177	208	187
18	184	217	195
19	188	225	200
20	195	233	209
21	201	240	216
22	207	248	222
23	212	255	230
24	217	263	236
25	222	270	242
26	226	277	249
27	228	289	253
28	232	295	259
29	236	301	266
30	240	306	270
31	244	312	276
32	248	316	280
33	250	319	285
34	252	325	290
35	256	330	292
36	260	334	297
37	265	339	301
38	267	342	303
39	268	344	308
40	273	350	309
41	275	352	311
42	278	356	313
43	282	360	317



DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	5,1552	5,1612
2	5,4577	
3	4,8708	

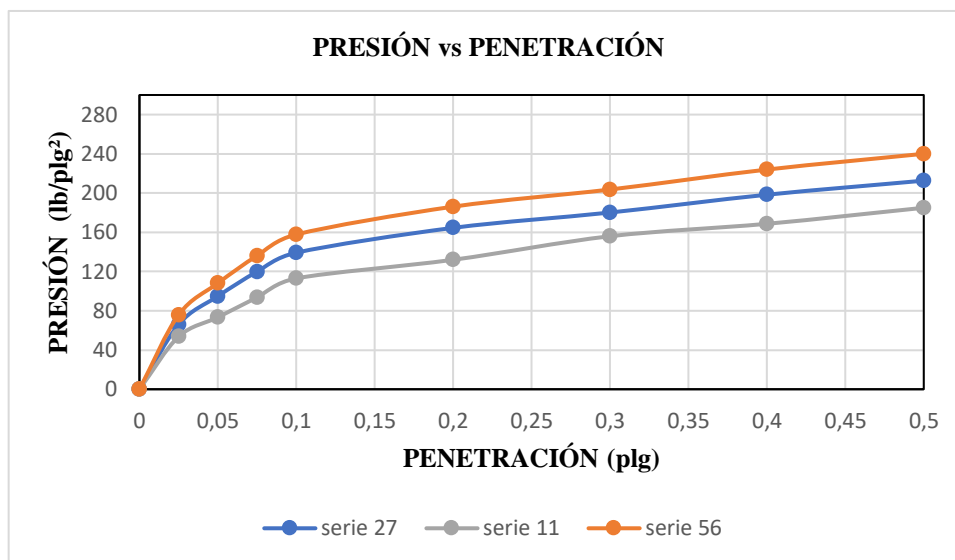
Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
44	284	363	322
45	285	372	325
46	288	373	329
47	292	375	332
48	299	378	337
49	302	380	341
50	306	385	342
51	310	386	345
52	312	383	347
53	317	390	349
54	320	393	352
55	324	398	354
56	327	401	357
57	330	405	360
58	334	409	362
59	337	412	363
60	343	415	371
61	345	418	373
62	347	421	379
63	352	425	382
64	355	428	386
65	360	432	389
66	364	435	392
67	367	438	398
68	373	441	401
69	375	446	402
70	380	452	406
71	385	456	410
72	392	461	414
73	395	466	419
74	400	470	422
75	405	478	423
76	410	483	427
77	416	488	432
78	420	490	435
79	426	495	440
80	431	500	444
81	436	505	448
82	441	512	453
83	447	516	457
84	452	522	462
85	459	528	464
86	460	533	469
87	471	540	475

Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
88	480	548	479
89	489	557	484
90	497	565	489
91	509	574	493
92	521	585	499
93	-15	596	504
94	547	608	509
95	561	619	515
96	574	632	520
97	585	645	528
98	597	659	532
99	607	671	540
100	615	682	547
101	623	689	555
102	629	697	564
103	635	703	580
104	641	711	590
105	645		600
106	652		610
107	655		620
108	661		630
109	672		643
110	675		653
111	679		663
112	684		672
113	687		677
114	694		682
115	695		688
116	699		692
117	703		697
118	707		700
119			707
120			703
121			707

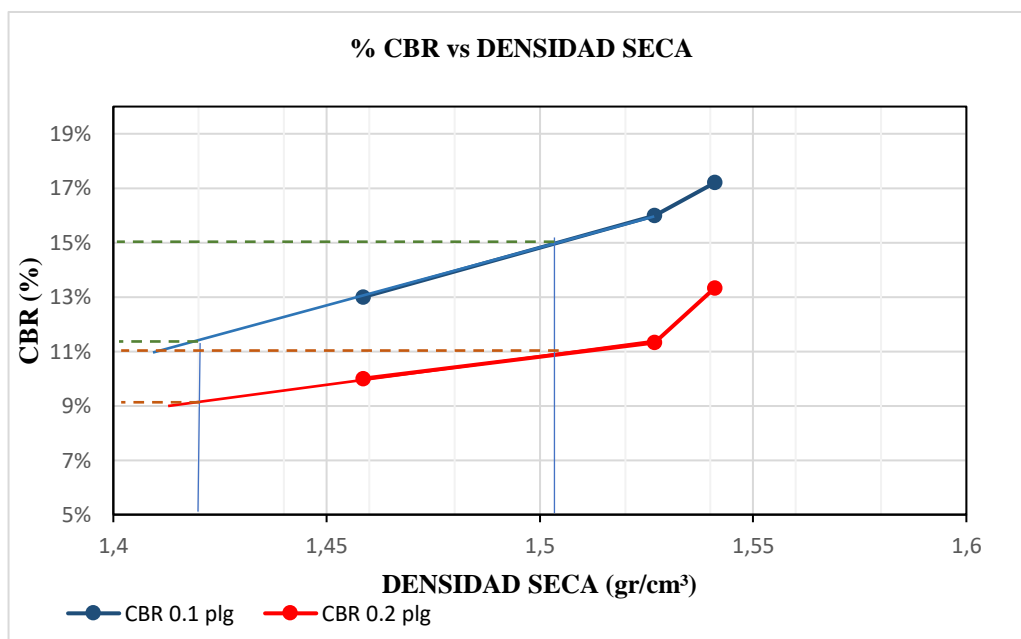
CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013

MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	11781		10831		12518	
Masa molde (gr)	7586		6724		8631	
Masa muestra húmeda (gr)	4195		4107		3887	
Volúmen muestra (cm ³)	2285,39		2257,48		2237,28	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,836		1,819		1,737	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	94,5	94,8	90,5	91,3	83,1	85,2
Masa suelo seco + recip(gr)	86,3	86,6	82,5	83,2	75	77
Masa del agua (gr)	8,2	8,2	8	8,1	8,1	8,2
Masa del recip (gr)	43,5	43,6	40,8	40,8	32,6	34,1
Masa suelo seco	42,8	43	41,7	42,4	42,4	42,9
Contenido de humedad W(%)	19,16	19,07	19,18	19,10	19,10	19,11
W (%) Promedio	19,11		19,14		19,11	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,541		1,527		1,459	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	11841		10932		12625	
Masa molde (gr)	7586		6724		8631	
Masa muestra húmeda (gr)	4255		4208		3994	
Masa agua absorbida(gr)	60		101		107	
% Agua Absorbida	1,43		2,46		2,75	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	81,9	74,1	81,9	81,7	82,1	84,1
Masa del suelo seco+tarro (gr)	71,7	63,1	70,7	70,4	68,6	68,4
Masa del agua (gr)	10,2	11	11,2	11,3	13,5	15,7
Masa del tarro (gr)	30,5	23,9	31,1	30,8	30,8	26,4
Masa suelo seco	41,2	39,2	39,6	39,6	37,8	42
Contenido de agua (%)	24,76	28,06	28,28	28,54	35,71	37,38
W (%) Promedio	26,41		28,41		36,55	
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	228	75,88	198	66,10	161	53,67
0,050	324	108,08	285	94,85	220	73,33
0,075	408	136,08	360	119,85	281	93,67
0,100	473	157,78	418	139,22	339	113,00
0,200	558	186,13	494	164,54	396	132,00
0,300	611	203,63	540	180,16	468	156,00
0,400	672	223,93	595	198,29	506	168,67
0,500	720	240,03	638	212,66	555	185,00

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	172,00	17,20%	1,541	200	13,33%	1,541
2	160,00	16,00%	1,527	170	11,33%	1,527
3	130,00	13,00%	1,459	150	10,00%	1,459



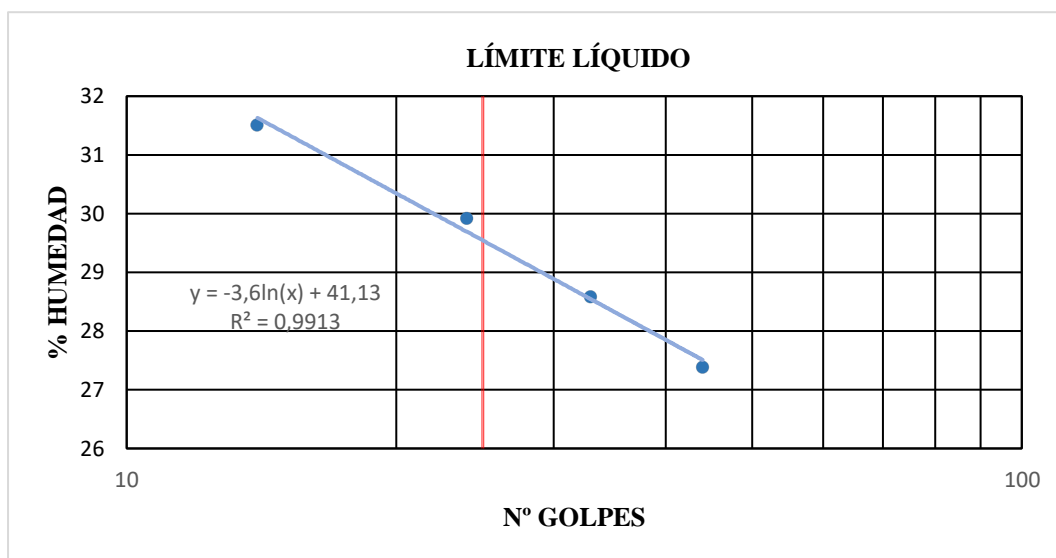
DENSIDAD SECA MÁXIMA		1,58 gr/cm ³		
DSM		%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,422	11,20%	9,10%	11,20%
95%	1,501	15,00%	11,00%	15,00%



ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - COPA CASAGRANDE - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
14	10,80	19,60	17,50	31,34	31,50
	11,20	19,10	17,20	31,67	
24	10,90	18,30	16,60	29,82	29,91
	11,30	19,10	17,30	30,00	
33	11,40	19,10	17,40	28,33	28,57
	11,70	19,30	17,60	28,81	
44	10,90	20,10	18,10	27,78	27,38
	11,70	19,70	18,00	26,98	

PROMEDIO LIMITE LÍQUIDO 29,34



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
1	10,30	11,50	11,30	20,00	19,64
2	11,10	11,70	11,60	20,00	
3	10,60	11,90	11,70	18,18	
4	10,70	11,90	11,70	20,00	
5	10,70	11,30	11,20	20,00	

LÍMITES DE ATTENVERG

Límite líquido:	29,60 %
Límite plástico:	19,64 %
Índice Plástico:	9,96 %

Clasificación del Suelo:

Sistema	AASHTO	A-2-4	Grava y arena limosa o arcillosa
	SUCS	SC	Arenas arcillosas, mezclas arena - arcilla

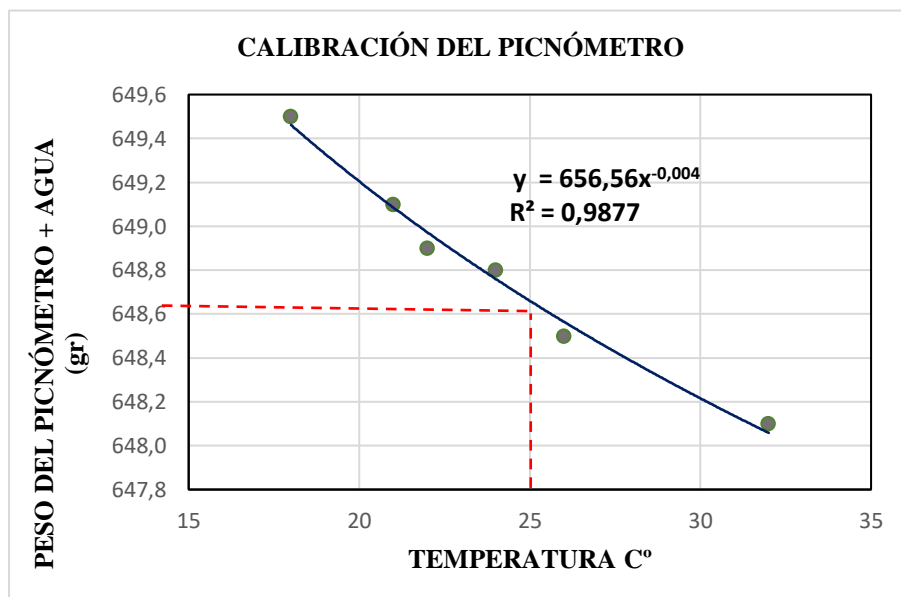
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015

Número de la muestra	8	
Número de pignómetro	1	
Pg + agua hasta la marca de aforo Wbw	648,8	gr
Pg + agua + suelo sumergido Wbws	679,9	gr
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	18,6	gr
Temperatura del agua y suelo en C°	24	C°
Factor de corrección por temperatura K	0,9973	
Número de recipiente	1	
Recipiente + peso suelo seco	128,2	gr
Peso recipiente	78,5	gr
Peso del suelo seco Ws	49,7	gr
Gravedad Específica = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,665	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

GRÁFICA PARA LA CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO



Nota: El peso del picnómetro de acuerdo a la gráfica a una temperatura de 25 C° es de 648,65 gr.

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014

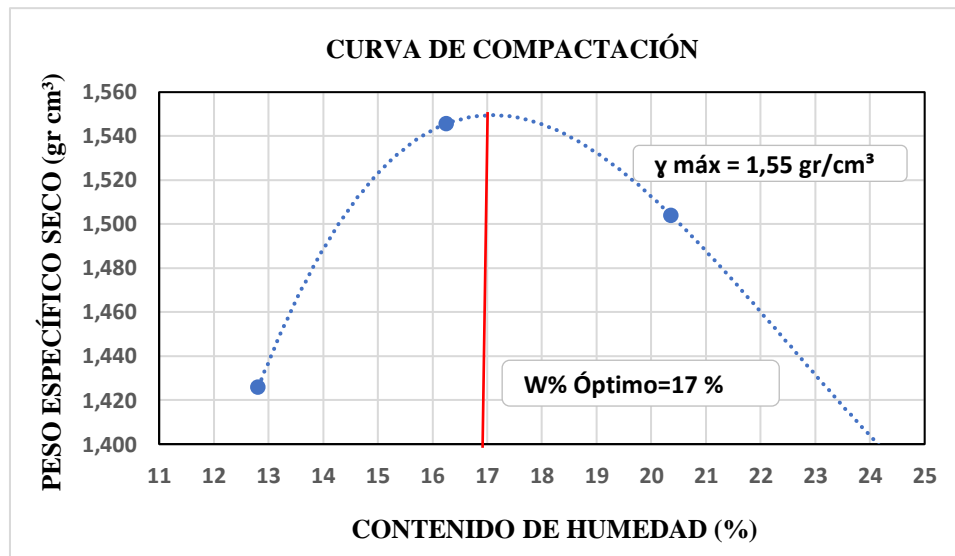
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)					
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec				1240,00	
Peso de la funda gr. Rec				3,40	
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec				1236,60	
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)					
Peso inicial frasco + cono + arena				6280,00	
Peso final frasco + cono + arena				4790,00	
Peso arena en el cono (Calibración del cono)				343,00	
Peso arena en la perforación				1147,00	
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)				1,582	
Volumen de la perforación Vm				725,03	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente número #				1	2
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec			75,60	81,90
Peso seco + recipiente	Ws+rec			68,30	74,60
Peso recipiente	rec			25,40	31,00
Peso del agua	Ww			7,30	7,30
Peso de los sólidos	Ws			42,90	43,60
Contenido de humedad	w%			17,02	16,74
Contenido de humedad promedio	w% prom			16,88	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
				Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos		Vv =		13,39	-
Va =		Va =		6,09	0,00
Vw =		Vw =		7,30	7,30
Vs =		Vs =		16,45	43,60
Vm =		Vm =		29,84	50,90
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)				1,706	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)				1,459	gr/cm ³
Contenido de humedad w%				16,88	%
Relación de vacíos e = Vv/Vs				0,81	natural
Porosidad n% = Vv/Vm*100				44,87	%
Grado de Saturación de agua Gw% = Vw/Vv*100				54,52	%
Grado de Saturación de aire Ga%				45,48	%

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	10 Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	18 plg
VOLUMEN:	2220,58 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	17148 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO								
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	20720		21138		21168		21001	
Masa molde (gr)	17148		17148		17148		17148	
Masa suelo húmedo (gr)	3572		3990		4020		3853	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,609		1,797		1,810		1,735	
Masa del tarro (gr)	40,7	43,6	34,3	40,8	32,9	43,5	40,8	80,8
Masa suelo húm.+tarro (gr)	92,1	95,2	84,2	95,4	82,5	94,4	92,7	134,2
Masa suelo seco+tarro (gr)	86,4	89,2	77,1	87,9	74	85,9	82,9	123,4
Masa del agua (gr)	5,7	6	7,1	7,5	8,5	8,5	9,8	10,8
Masa suelo seco (gr)	45,7	45,6	42,8	47,1	41,1	42,4	42,1	42,6
Contenido de agua (%)	12,47	13,16	16,59	15,92	20,68	20,05	23,28	25,35
w (%) Promedio	12,82		16,26		20,36		24,32	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,426		1,546		1,504		1,396	
Densidad Seca Máxima (γ máx):	1,54 gr/cm ³							
Humedad Óptima:	17,00 %							
Grado de Compactación	94,757 %							

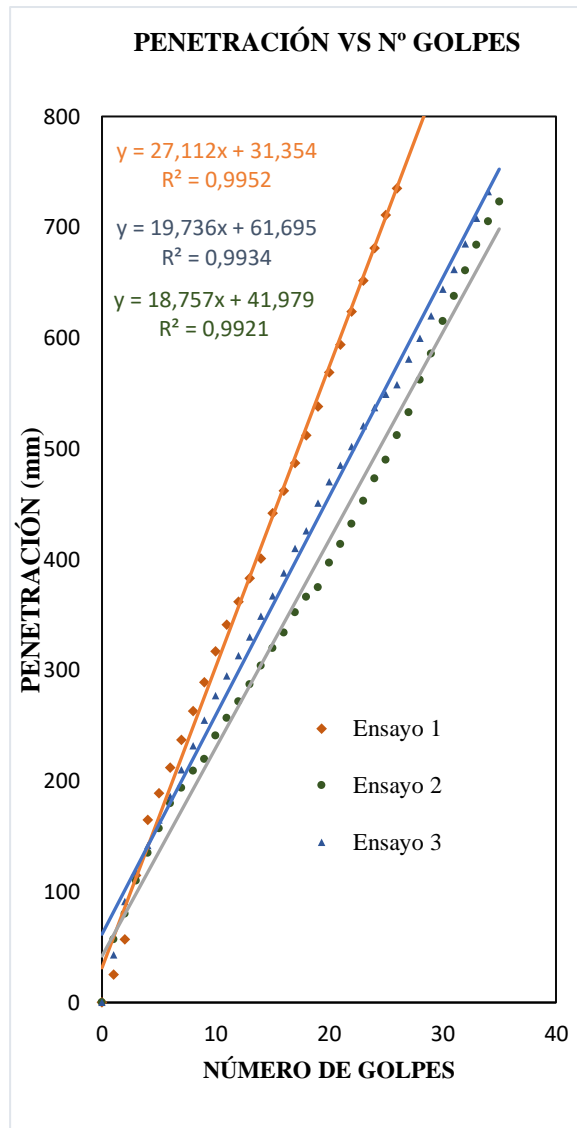
GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA vs HUMEDAD ÓPTIMA



Nota: La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,54 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 17%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
0	0	0	0
1	25	57	43
2	57	80	91
3	115	110	118
4	165	135	142
5	189	157	165
6	212	180	186
7	237	194	210
8	263	209	232
9	289	220	255
10	317	241	277
11	341	257	295
12	362	272	313
13	383	287	330
14	401	304	349
15	442	320	367
16	462	334	388
17	487	352	410
18	512	366	426
19	538	375	451
20	569	397	470
21	594	414	485
22	624	432	502
23	652	453	521
24	681	473	537
25	711	490	549
26	735	512	558
27		533	581
28		562	600
29		586	620
30		615	644
31		638	662
32		661	685
33		684	708
34		705	732
35		723	

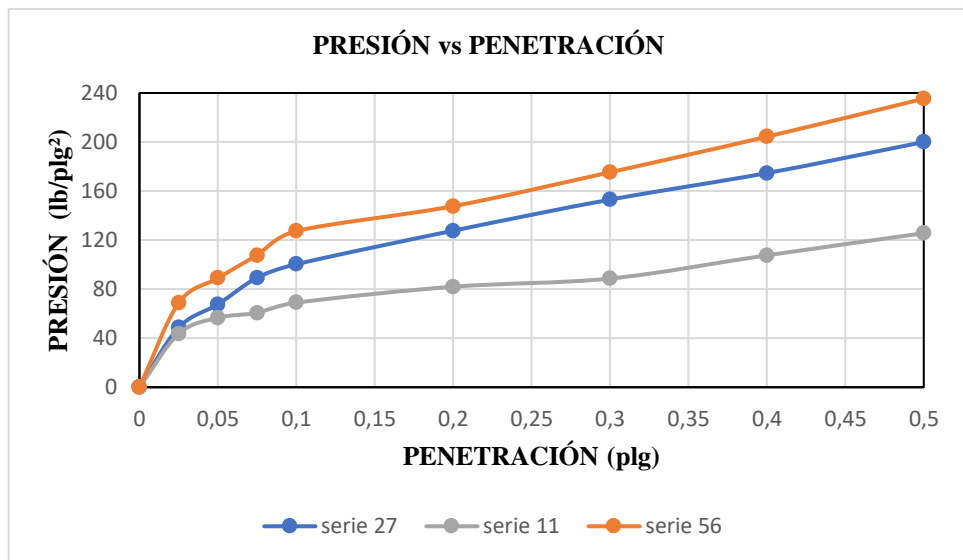


DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	27,112	21,8077
2	18,575	
3	19,736	

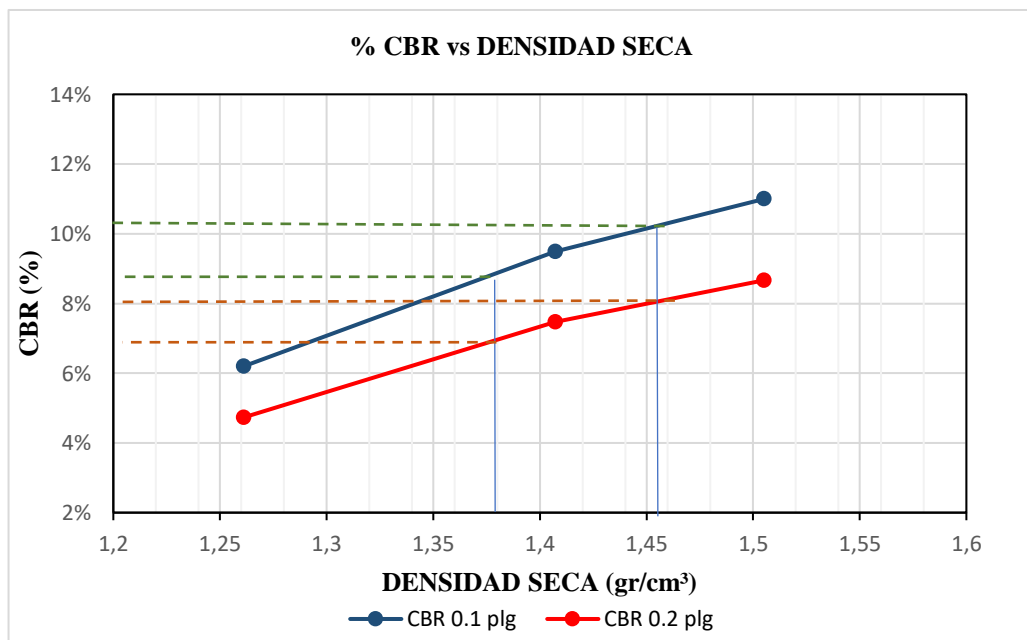
CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013

MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	13661		12083		11681	
Masa molde (gr)	9632		8388		8343	
Masa muestra húmeda (gr)	4029		3695		3338	
Volúmen muestra (cm ³)	2285,12		2242,39		2260,01	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,763		1,648		1,477	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	91,2	93,6	85,7	91,5	83,6	94,1
Masa suelo seco + recip(gr)	83,8	86,3	78,2	84,1	76,2	86,7
Masa del agua (gr)	7,4	7,3	7,5	7,4	7,4	7,4
Masa del recip (gr)	40,7	43,6	34,3	40,8	32,9	43,5
Masa suelo seco	43,1	42,7	43,9	43,3	43,3	43,2
Contenido de humedad W(%)	17,17	17,10	17,08	17,09	17,09	17,13
W (%) Promedio	17,13		17,09		17,11	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,505		1,407		1,261	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	13729		12188		11826	
Masa molde (gr)	9632		8388		8343	
Masa muestra húmeda (gr)	4097		3800		3483	
Masa agua absorbida(gr)	68		105		145	
% Agua Absorbida	1,69		2,84		4,34	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	92,3	93,9	86,7	92,5	84,1	95,6
Masa del suelo seco+tarro (gr)	83,8	85,4	76,1	82	71,8	83
Masa del agua (gr)	8,5	8,5	10,6	10,5	12,3	12,6
Masa del tarro (gr)	40,7	43,6	34,3	40,8	32,9	43,5
Masa suelo seco	43,1	41,8	41,8	41,2	38,9	39,5
Contenido de agua (%)	19,72	20,33	25,36	25,49	31,62	31,90
W (%) Promedio	20,03		25,42		31,76	
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	206	68,67	146	48,67	131	43,67
0,050	267	89,00	203	67,67	170	56,67
0,075	323	107,67	268	89,33	182	60,67
0,100	382	127,33	301	100,33	207	69,00
0,200	443	147,67	383	127,67	246	82,00
0,300	526	175,33	459	153,00	266	88,67
0,400	613	204,33	524	174,67	323	107,60
0,500	706	235,33	600	200,00	377	125,67

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	110,00	11,00%	1,505	130	8,67%	1,505
2	95,00	9,50%	1,407	112	7,47%	1,407
3	62,00	6,20%	1,261	71	4,73%	1,261

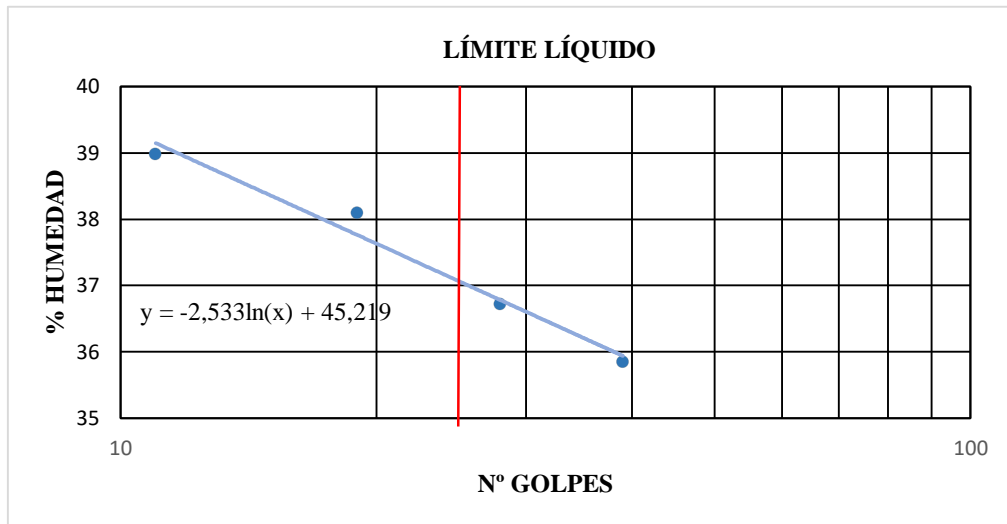


DENSIDAD SECA MÁXIMA		1,54 gr/cm ³		
DSM		%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,386	9,10%	6,90%	9,10%
95%	1,463	10,00%	8,10%	10,00%



ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - COPA CASAGRANDE - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
11	11,20	20,10	17,60	39,06	38,98
	11,60	19,10	17,00	38,89	
19	11,30	18,90	16,80	38,18	38,09
	12,70	19,60	17,70	38,00	
28	11,40	17,90	16,10	38,30	36,72
	11,90	16,90	15,60	35,14	
39	11,00	19,40	17,20	35,48	35,85
	11,30	19,20	17,10	36,21	
PROMEDIO LIMITE LÍQUIDO					37,41



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
1	10,70	11,20	11,10	25,00	27,14
2	10,20	11,10	10,90	28,57	
3	10,50	11,00	10,90	25,00	
4	10,10	11,00	10,80	28,57	
5	10,40	11,30	11,10	28,57	

LÍMITES DE ATTENVERG

Límite líquido:	37,10	%
Límite plástico:	27,14	%
Índice Plástico:	9,96	%

Clasificación del Suelo:

Sistema	AASHTO	A-2-4	Grava y arena limosa o arcillosa
	SUCS	SM	Arenas limosas, mezclas arena - limo

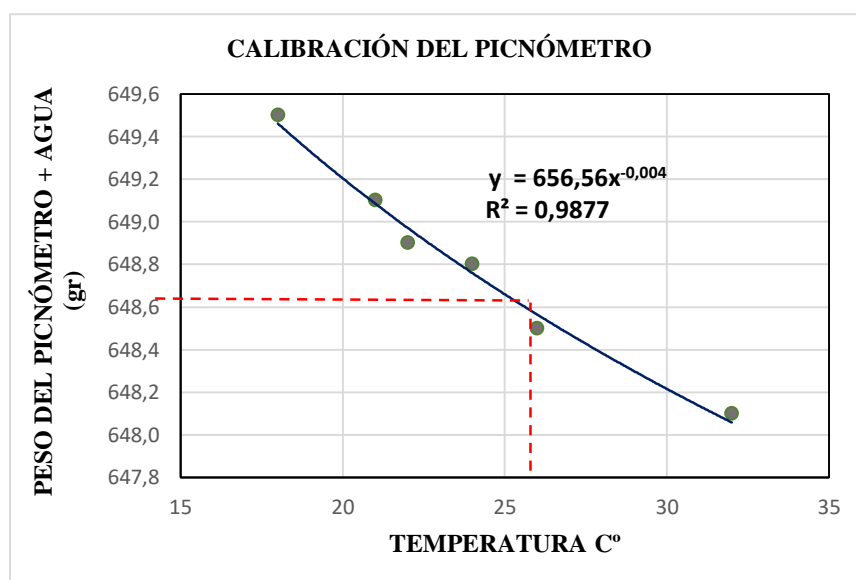
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015

Número de la muestra	9	
Número de pignómetro	1	
Pg + agua hasta la marca de aforo Wbw	648,85	gr
Pg + agua + suelo sumergido Wbws	679,7	gr
Desplazamiento del agua $W_s + W_{bw} - W_{bws}$	18,55	gr
Temperatura del agua y suelo en C°	23	C°
Factor de corrección por temperatura K	0,9976	
Número de recipiente	1	
Recipiente + peso suelo seco	130,7	gr
Peso recipiente	81,3	gr
Peso del suelo seco W_s	49,4	gr
Gravedad Específica = $(W_s.K)/(W_s + W_{bw}-W_{bws})$	2,657	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

GRÁFICA PARA LA CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO



Nota: El peso del picnómetro de acuerdo a la gráfica a una temperatura de 25 C° es de 648,65 gr.

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014

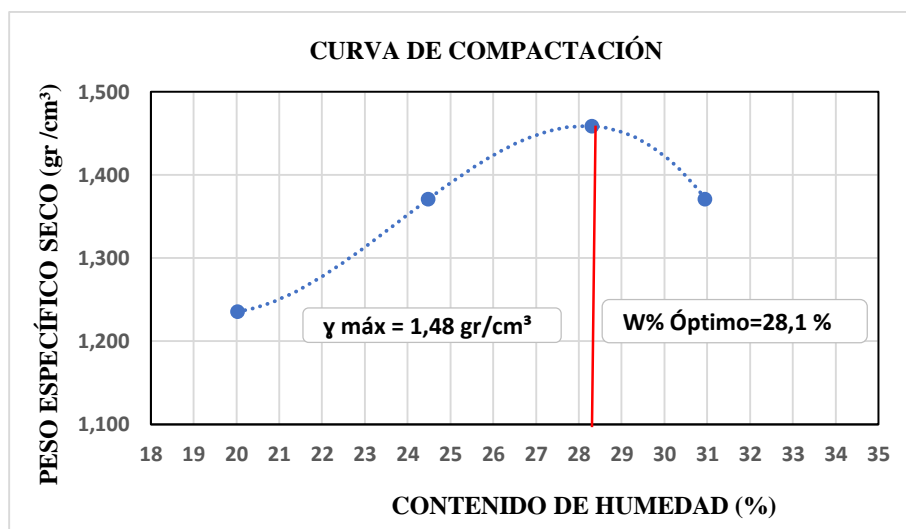
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)					
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec		1140,00			
Peso de la funda gr. Rec		2,40			
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec		1137,60			
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)					
Peso inicial frasco + cono + arena		6290,00			
Peso final frasco + cono + arena		5002,00			
Peso arena en el cono (Calibración del cono)		343,00			
Peso arena en la perforación		945,00			
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)		1,582			
Volumen de la perforación Vm		597,35			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente número #				1	2
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec			73,00	81,90
Peso seco + recipiente	Ws+rec			61,10	69,80
Peso recipiente	rec			22,70	30,80
Peso del agua	Ww			11,90	12,10
Peso de los sólidos	Ws			38,40	39,00
Contenido de humedad	w%			30,99	31,03
Contenido de humedad promedio	w% prom			31,01	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
				Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos		Vv =		12,12	-
Va =		Va =		0,02	0,00
Vw =		Vw =		12,10	12,10
Vs =		Vs =		14,72	39,00
Vm =		Vm =		26,83	51,10
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)		1,904		gr/cm ³	
Densidad seca (γ_d)		1,454		gr/cm ³	
Contenido de humedad w%		31,01		%	
Relación de vacíos e= Vv/Vs		0,82		natural	
Porosidad n% = Vv/Vm*100		45,15		%	
Grado de Saturación de agua Gw%= Vw/Vv*100		99,87		%	
Grado de Saturación de aire Ga%		0,13		%	

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	10 Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	18 plg
VOLUMEN:	1920,58 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	17148 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO									
PRUEBA N°	1		2		3		4		
Suelo húmedo+molde (gr)	19496		19925		20242		20096		
Masa molde (gr)	16648		16648		16648		16648		
Masa suelo húmedo (gr)	2848		3277		3594		3448		
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,483		1,706		1,871		1,795		
Masa del tarro (gr)	40,8	40,7	34,3	40,9	32,9	80,8	30,9	30,8	
Masa suelo húm.+tarro (gr)	92,9	92,9	84,7	92,7	84,4	133,1	82,2	81,5	
Masa suelo seco+tarro (gr)	84,3	84,1	74,9	82,4	73	121,6	70,4	69,2	
Masa del agua (gr)	8,6	8,8	9,8	10,3	11,4	11,5	11,8	12,3	
Masa suelo seco (gr)	43,5	43,4	40,6	41,5	40,1	40,8	39,5	38,4	
Contenido de agua (%)	19,77	20,28	24,14	24,82	28,43	28,19	29,87	32,03	
w (%) Promedio	20,02		24,48		28,31		30,95		
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,235		1,371		1,458		1,371		
Densidad Seca Máxima (γ máx):	1,48 gr/cm ³								
Humedad Óptima:	28,10 %								
Grado de Compactación	98,221 %								

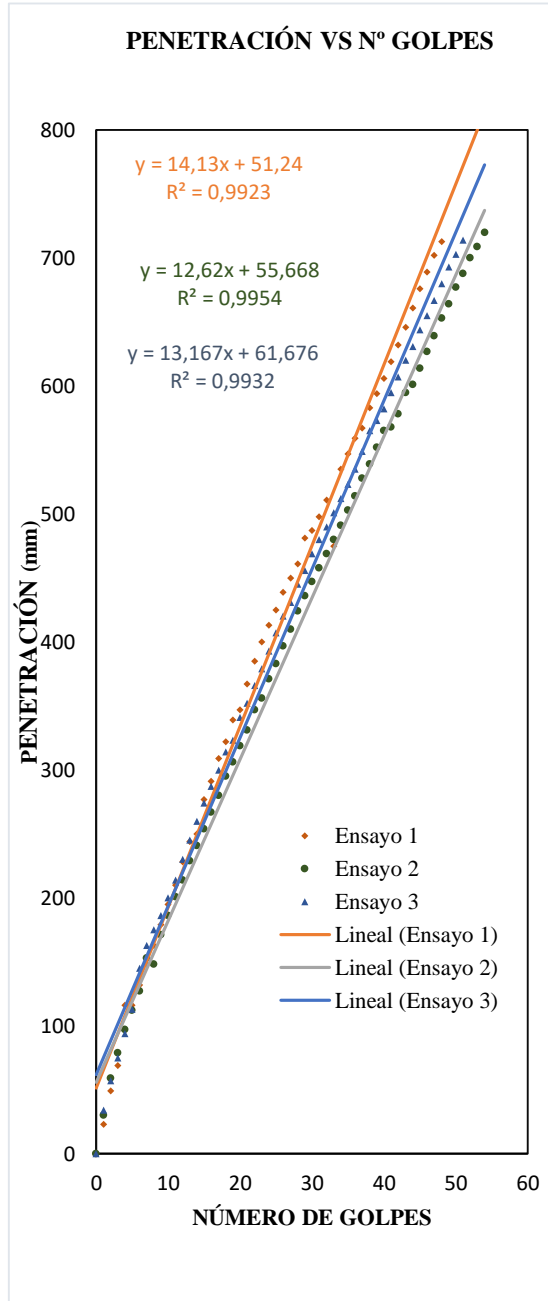
GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA vs HUMEDAD ÓPTIMA



Nota: La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,48 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 28,1%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
0	0	0	0
1	23	30	34
2	49	59	57
3	69	79	75
4	116	97	94
5	116	112	113
6	132	127	145
7	148	153	163
8	163	148	175
9	179	171	186
10	195	186	200
11	210	201	214
12	228	214	230
13	244	229	245
14	250	241	260
15	277	254	274
16	291	267	287
17	309	280	300
18	322	295	314
19	339	306	323
20	347	319	341
21	367	331	352
22	385	347	366
23	400	356	379
24	413	371	393
25	425	383	407
26	439	397	420
27	450	410	431
28	461	424	445
29	481	436	456
30	487	447	469
31	498	458	480
32	511	469	490
33	475	480	501
34	535	491	512
35	547	503	523
36	559	514	535
37	567	528	549
38	583	539	565
39	594	552	573
40	606	565	582
41	619	568	595
42	632	578	607
43	646	595	620



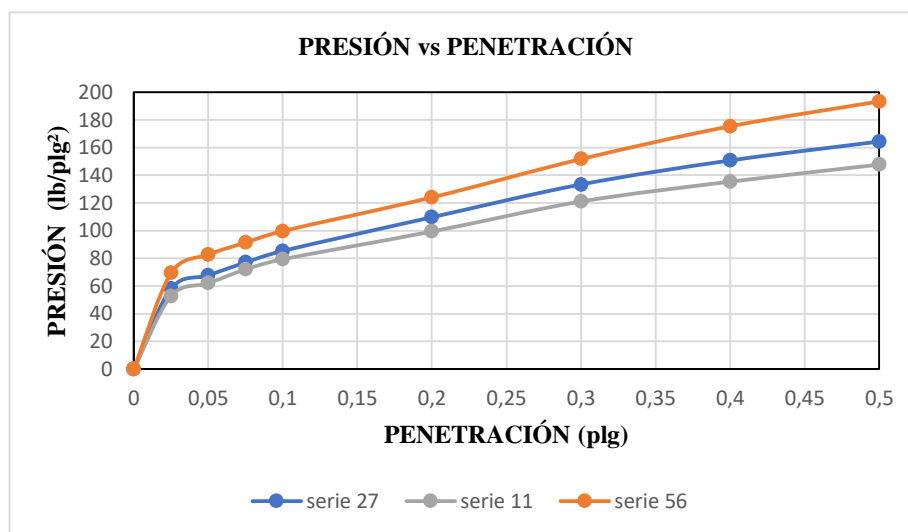
DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	14,13	13,3057
2	12,62	
3	13,167	

N° Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
44	661	601	631
45	676	614	644
46	689	627	655
47	702	639	667
48	713	653	680
49		664	693
50		677	703
51		688	714
52		700	
53		709	
54		720	

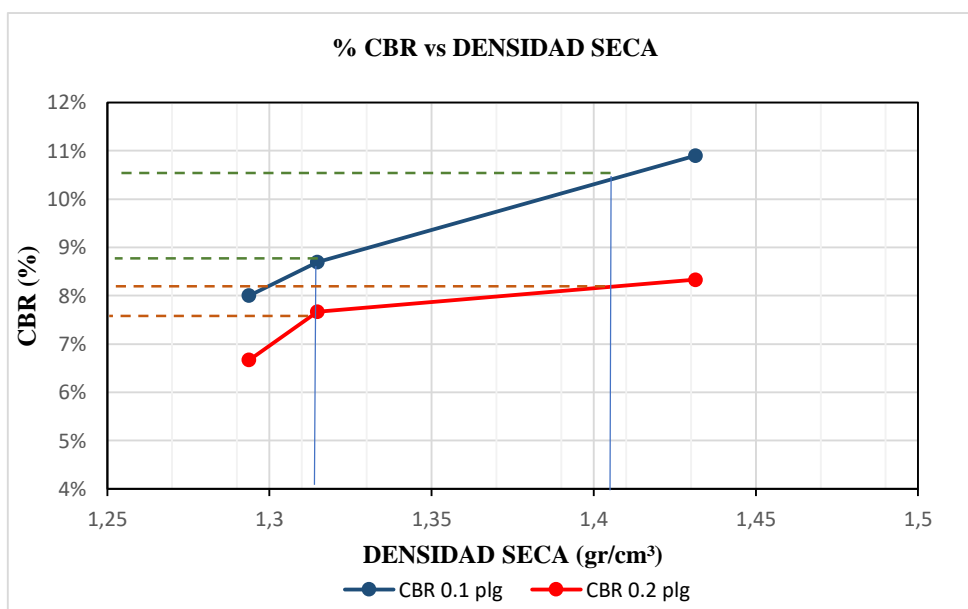
CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013

MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	13801		11962		12411	
Masa molde (gr)	9636		8391		8634	
Masa muestra húmeda (gr)	4165		3571		3777	
Volúmen muestra (cm³)	2268,23		2118,73		2277,36	
Peso unitario Húmedo(gr/cm³)	1,836		1,685		1,658	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	58,7	58,6	49,5	82	69,2	66,1
Masa suelo seco + recip(gr)	47,5	47,4	40,1	65,7	55,7	53,1
Masa del agua (gr)	11,2	11,2	9,4	16,3	13,5	13
Masa del recip (gr)	7,8	7,9	6,8	7,8	7,6	7,2
Masa suelo seco	39,7	39,5	33,3	57,9	48,1	45,9
Contenido de humedad W(%)	28,21	28,35	28,23	28,15	28,07	28,32
W (%) Promedio	28,28		28,19		28,19	
Peso unitario seco (gr/cm³)	1,431		1,315		1,294	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	13853		12070		12615	
Masa molde (gr)	9636		8391		8634	
Masa muestra húmeda (gr)	4217		3679		3981	
Masa agua absorbida(gr)	52		108		204	
% Agua Absorbida	1,25		3,02		5,40	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	91,9	90,5	82,5	84,7	90,9	90,7
Masa del suelo seco+tarro (gr)	79,5	78,5	69,5	71,6	76,8	76,8
Masa del agua (gr)	12,4	12	13	13,1	14,1	13,9
Masa del tarro (gr)	40,7	40,8	32,8	34,4	40,7	40,8
Masa suelo seco	38,8	37,7	36,7	37,2	36,1	36
Contenido de agua (%)	31,96	31,83	35,42	35,22	39,06	38,61
W (%) Promedio	31,89		35,32		38,83	
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	208	69,33	174	58,00	158	52,67
0,050	248	82,67	203	67,67	186	62,00
0,075	274	91,33	231	77,00	216	72,00
0,100	299	99,67	256	85,33	238	79,33
0,200	372	124,00	329	109,67	298	99,33
0,300	455	151,67	400	133,33	363	121,00
0,400	526	175,33	452	150,67	406	135,33
0,500	580	193,33	493	164,33	443	147,67

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	109,00	10,90%	1,431	125	8,33%	1,431
2	87,00	8,70%	1,315	115	7,67%	1,315
3	80,00	8,00%	1,294	100	6,67%	1,294

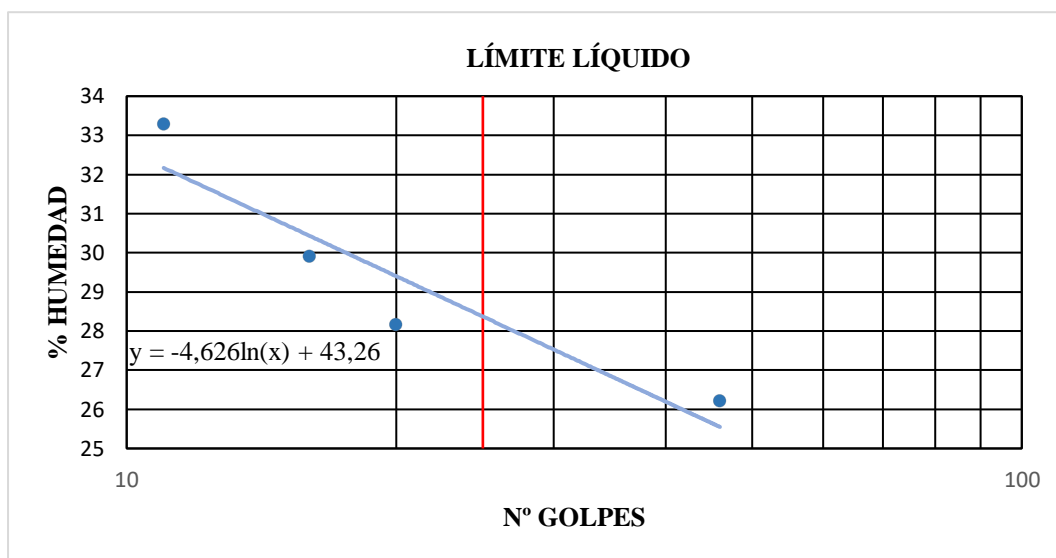


DENSIDAD SECA MÁXIMA		1,48 gr/cm ³		
DSM	%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR	
90%	1,332	8,90%	7,80%	8,90%
95%	1,406	10,80%	8,20%	10,80%



ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - COPA CASAGRANDE - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
11	11,20	19,90	17,70	33,85	33,29
	11,60	18,90	17,10	32,73	
16	11,40	18,20	16,60	30,77	29,90
	10,60	18,60	16,80	29,03	
20	10,80	20,40	18,40	26,32	28,16
	11,20	20,30	18,20	30,00	
46	11,20	19,10	17,40	27,42	26,21
	10,90	17,90	16,50	25,00	
PROMEDIO LIMITE LÍQUIDO					29,39



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
1	10,90	11,50	11,40	20,00	22,00
2	11,00	11,50	11,40	25,00	
3	10,40	11,00	10,90	20,00	
4	10,40	11,40	11,20	25,00	
5	10,60	11,20	11,10	20,00	

LÍMITES DE ATTENVERG

Límite líquido:	28,20	%
Límite plástico:	22,00	%
Índice Plástico:	6,20	%

Clasificación del Suelo:

Sistema	AASHTO	A-2-4	Grava y arena limosa o arcillosa
	SUCS	SM	Arenas limosas, mezclas arena - limo

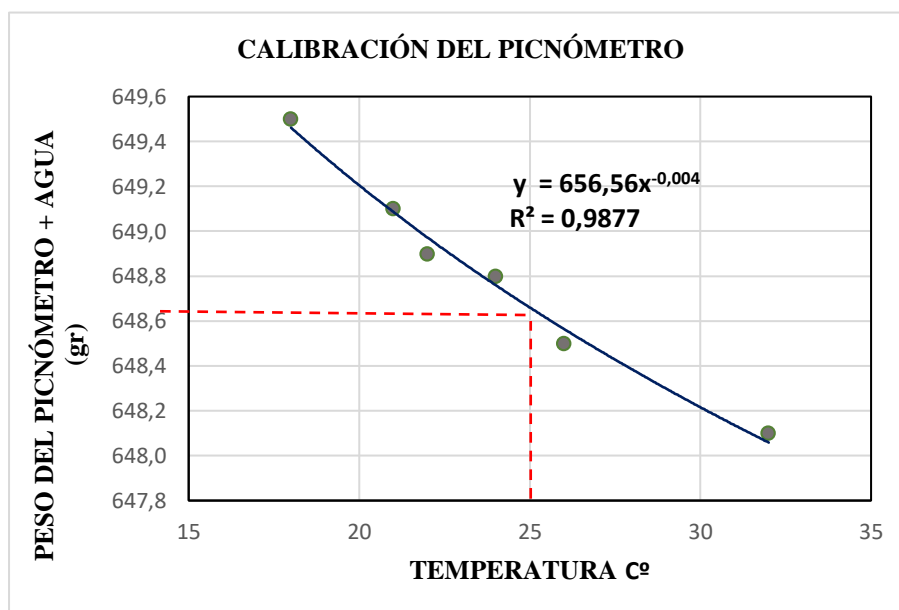
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015

Número de la muestra	5	
Número de pignómetro	1	
Pg + agua hasta la marca de aforo Wbw	648,85	gr
Pg + agua + suelo sumergido Wbws	679,9	gr
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	18,55	gr
Temperatura del agua y suelo en C°	23	C°
Factor de corrección por temperatura K	0,9976	
Número de recipiente	1	
Recipiente + peso suelo seco	180,4	gr
Peso recipiente	130,8	gr
Peso del suelo seco Ws	49,6	gr
Gravedad Específica = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,667	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

GRÁFICA PARA LA CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO



Nota: El peso del picnómetro de acuerdo a la gráfica a una temperatura de 25 C° es de 648,65 gr.

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014

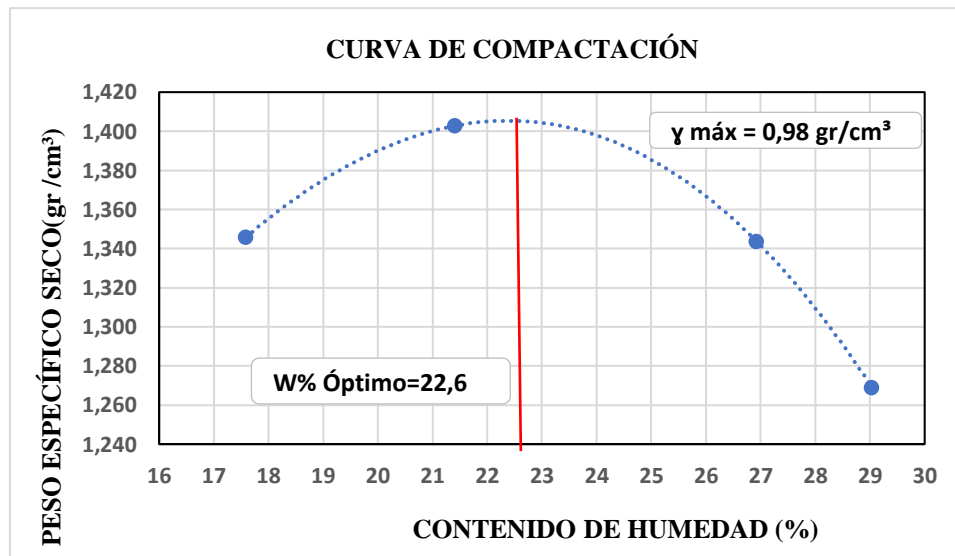
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)					
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec				1320,00	
Peso de la funda gr. Rec				3,40	
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec				1316,60	
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)					
Peso inicial frasco + cono + arena				6290,00	
Peso final frasco + cono + arena				4845,00	
Peso arena en el cono (Calibración del cono)				343,00	
Peso arena en la perforación				1102,00	
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)				1,582	
Volumen de la perforación Vm				696,59	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente número #				1	2
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec			75,70	81,60
Peso seco + recipiente	Ws+rec			64,10	69,90
Peso recipiente	rec			25,40	30,80
Peso del agua	Ww			11,60	11,70
Peso de los sólidos	Ws			38,70	39,10
Contenido de humedad	w%			29,97	29,92
Contenido de humedad promedio	w% prom			29,95	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
				Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos		$V_v =$		12,12	-
$V_a =$		$W_a =$		0,42	0,00
$V_w =$		$W_w =$		11,70	11,70
$V_s =$		$W_s =$		14,75	39,10
$V_m =$		$W_m =$		26,88	50,80
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)				1,890	gr/cm ³
Densidad seca (γ_d)				1,454	gr/cm ³
Contenido de humedad w%				29,95	%
Relación de vacíos e = V_v/V_s				0,82	natural
Porosidad n% = $V_v/V_m * 100$				45,10	%
Grado de Saturación de agua Gw% = $V_w/V_v * 100$				96,51	%
Grado de Saturación de aire Ga%				3,49	%

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	10 Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	18 plg
VOLUMEN:	2220,58 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	16896 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO									
PRUEBA N°	1		2		3		4		
Suelo húmedo+molde (gr)	20410		20678		20683		20532		
Masa molde (gr)	16896		16896		16896		16896		
Masa suelo húmedo (gr)	3514		3782		3787		3636		
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,582		1,703		1,705		1,637		
Masa del tarro (gr)	7,3	7,9	7,4	7,1	7,7	7,3	14,5	7,3	
Masa suelo húm.+tarro (gr)	59,1	59,8	58,5	57,5	57,8	57,6	66,8	58,1	
Masa suelo seco+tarro (gr)	51,8	51,6	49,5	48,6	47,3	46,8	55	46,7	
Masa del agua (gr)	7,3	8,2	9	8,9	10,5	10,8	11,8	11,4	
Masa suelo seco (gr)	44,5	43,7	42,1	41,5	39,6	39,5	40,5	39,4	
Contenido de agua (%)	16,40	18,76	21,38	21,45	26,52	27,34	29,14	28,93	
w (%) Promedio	17,58		21,41		26,93		29,03		
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,346		1,403		1,344		1,269		
Densidad Seca Máxima (γ máx):			1,41 gr/cm ³						
Humedad Óptima:			22,60 %						
Grado de Compactación			103,15 %						

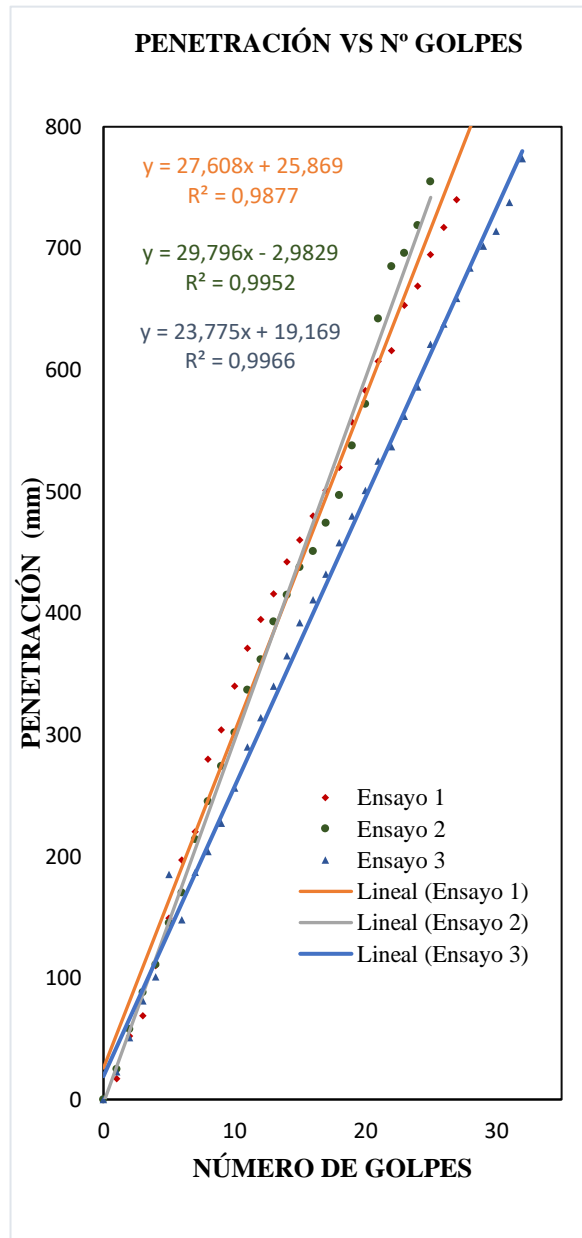
GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA vs HUMEDAD ÓPTIMA



Nota: La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,41 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 22,6%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
0	0	0	0
1	17	25	23
2	52	58	51
3	69	88	81
4	110	111	101
5	149	145	185
6	197	170	148
7	220	214	187
8	280	245	204
9	304	274	227
10	340	302	256
11	371	337	290
12	395	362	314
13	416	393	340
14	442	415	365
15	460	438	392
16	480	451	411
17	501	474	432
18	520	497	458
19	557	538	480
20	583	572	501
21	607	642	525
22	616	685	537
23	653	696	562
24	669	719	586
25	695	755	621
26	717		638
27	740		659
28			684
29			702
30			714
31			738
32			774

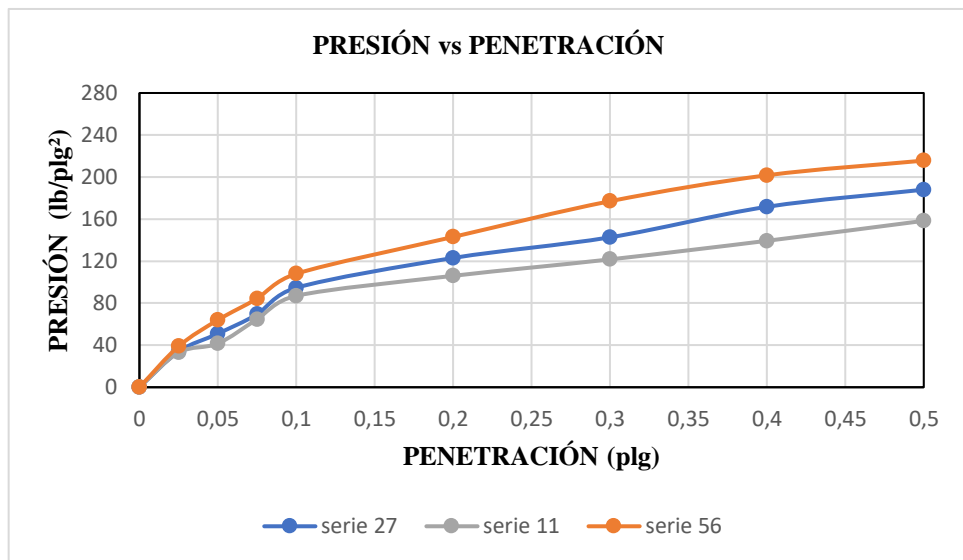


DN (mm/golpe)	DN (prom)
1	27,0597
2	
3	

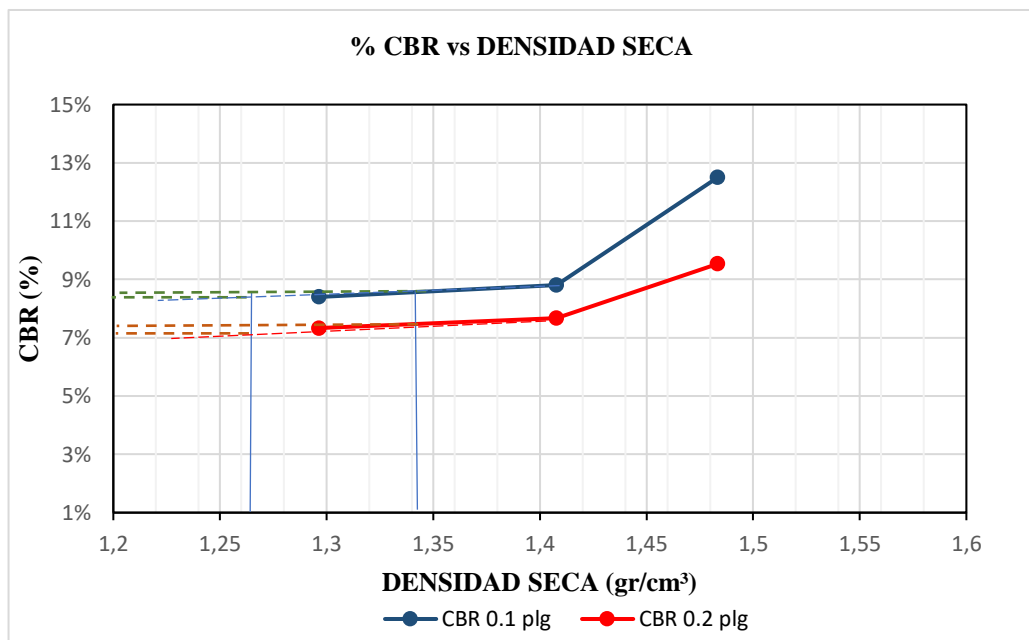
CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013

MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	11554		12049		13258	
Masa molde (gr)	7395		8395		9636	
Masa muestra húmeda (gr)	4159		3654		3622	
Volúmen muestra (cm ³)	2286,38		2118,73		2277,36	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,819		1,725		1,590	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	73,8	75,6	81,9	86,4	98,4	153,2
Masa suelo seco + recip(gr)	64,7	66,1	71,8	75,2	88,2	139,8
Masa del agua (gr)	9,1	9,5	10,1	11,2	10,2	13,4
Masa del recip (gr)	24,4	24,2	26,6	25,8	43,4	80,4
Masa suelo seco	40,3	41,9	45,2	49,4	44,8	59,4
Contenido de humedad W(%)	22,58	22,67	22,35	22,67	22,77	22,56
W (%) Promedio	22,63		22,51		22,66	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,483		1,408		1,297	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	11732		12278		13553	
Masa molde (gr)	7395		8395		9636	
Masa muestra húmeda (gr)	4337		3883		3917	
Masa agua absorbida(gr)	178		229		295	
% Agua Absorbida	4,28		6,27		8,14	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	79,8	75,3	80,9	82,5	81,6	84,7
Masa del suelo seco+tarro (gr)	69,9	65	69,4	70	68,6	69,8
Masa del agua (gr)	9,9	10,3	11,5	12,5	13	14,9
Masa del tarro (gr)	30,5	23,9	31,1	30,8	30,8	26,4
Masa suelo seco	39,4	41,1	38,3	39,2	37,8	43,4
Contenido de agua (%)	25,13	25,06	30,03	31,89	34,39	34,33
W (%) Promedio	25,09		30,96		34,36	
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	117	39,00	102	34,00	99	33,00
0,050	192	64,00	153	51,00	125	41,67
0,075	253	84,33	208	69,33	194	64,67
0,100	324	108,00	284	94,67	261	87,00
0,200	429	143,00	369	123,00	318	106,00
0,300	531	177,00	428	142,67	365	121,67
0,400	605	201,67	515	171,67	418	139,33
0,500	647	215,67	564	188,00	475	158,33

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	125,00	12,50%	1,483	143	9,53%	1,483
2	88,00	8,80%	1,408	115	7,67%	1,408
3	84,00	8,40%	1,297	110	7,33%	1,297



DENSIDAD SECA MÁXIMA		1,41 gr/cm ³		
DSM		%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,269	8,80%	7,10%	8,80%
95%	1,340	8,90%	7,30%	8,90%





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

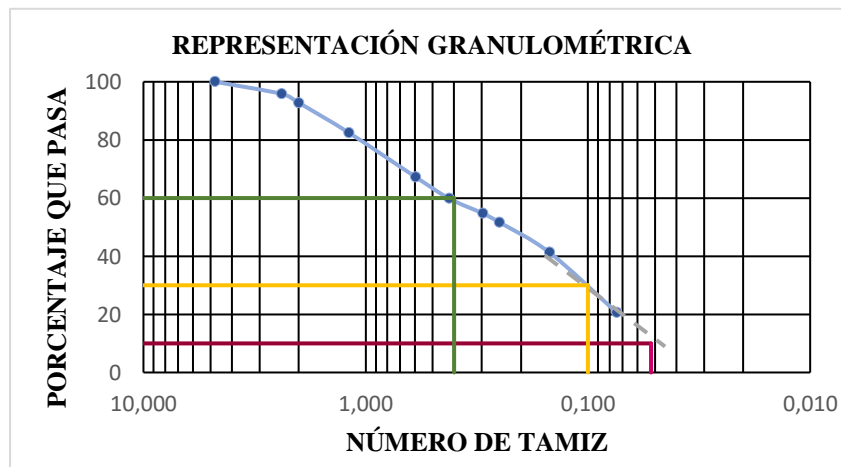


Proyecto: Correlación entre CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Ambatillo y Quisapincha, Cantón Ambato

Parroquia: Ambatillo **Coordenadas:** Zona 17, 759432.07 E; 9866675.59 S
Vía: San Francisco **Revisado:** Ing. Favio Portilla
Muestra: 11 **Profundidad:** 0,62 m **Realizado:** Lesly Garzón Zapata

HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015				
W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
30,6	81,4	70,1	28,61	28,46
22,7	73,7	62,4	28,46	
30,7	81,9	70,6	28,32	

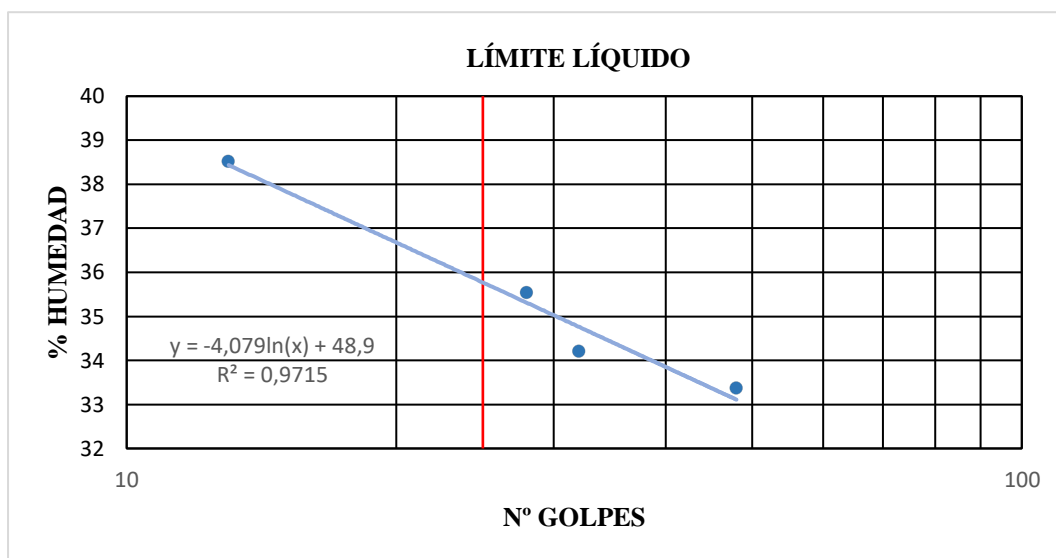
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013				
Tamiz N°	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
4	4,760	0,00	0	100,00
8	2,380	10,50	10,5	95,80
10	2,000	7,60	18,1	92,76
16	1,190	25,70	43,8	82,48
30	0,595	38,20	82	67,20
40	0,420	18,50	100,5	59,80
50	0,297	12,70	113,2	54,72
60	0,250	7,70	120,9	51,64
100	0,149	25,90	146,8	41,28
200	0,074	51,80	198,6	20,56
Fuente	50,10	248,7	99,48	
W muestra seca (gr)			250	



COEFICIENTES DEL SUELO			
D10 en mm	0,052	Cu = D60/D10	7,69
D30 en mm	0,1	Cc = D30 ² /(D60*D10)	0,48
D60 en mm	0,4	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	2

ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - COPA CASAGRANDE - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
13	11,20	20,20	17,70	38,46	38,52
	11,10	20,80	18,10	38,57	
28	11,70	21,10	18,50	38,24	35,54
	11,10	20,00	17,80	32,84	
32	11,10	21,40	18,70	35,53	34,20
	11,40	21,10	18,70	32,88	
48	11,00	18,10	16,30	33,96	33,36
	11,20	18,90	17,00	32,76	
PROMEDIO LIMITE LÍQUIDO					35,40



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
1	10,60	11,50	11,30	28,57	26,43
2	11,20	11,70	11,60	25,00	
3	10,00	11,80	11,40	28,57	
4	10,90	11,90	11,70	25,00	
5	10,80	11,30	11,20	25,00	

LÍMITES DE ATTENVERG

Límite líquido:	35,80	%
Límite plástico:	26,43	%
Índice Plástico:	9,37	%

Clasificación del Suelo:

Sistema	AASHTO	A-2-4	Grava y arena limosa o arcillosa
	SUCS	SM	Arenas limosas, mezclas arena - limo

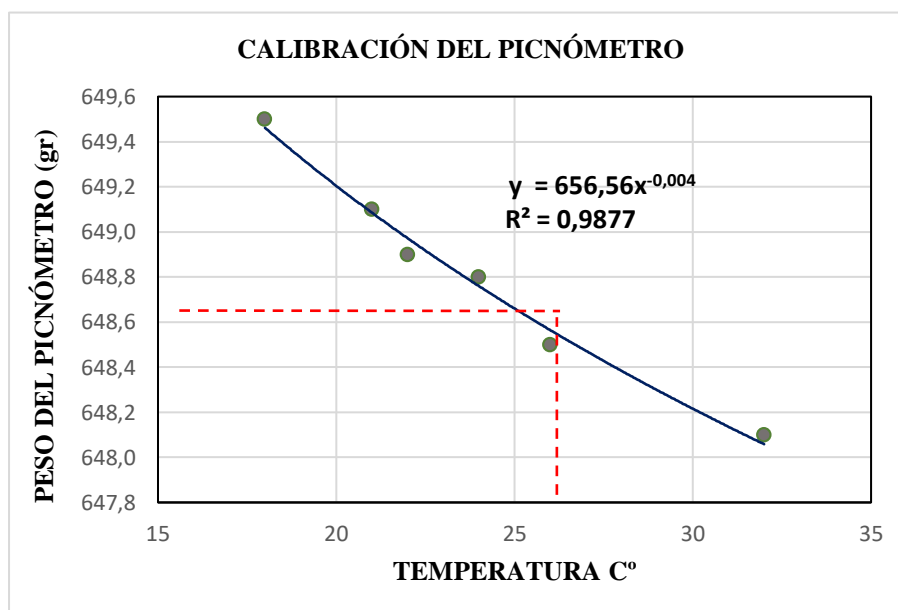
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015

Número de la muestra	5	
Número de pignómetro	1	
Pg + agua hasta la marca de aforo Wbw	648,85	gr
Pg + agua + suelo sumergido Wbws	679,6	gr
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	18,45	gr
Temperatura del agua y suelo en C°	23	C°
Factor de corrección por temperatura K	0,9976	
Número de recipiente	1	
Recipiente + peso suelo seco	131,7	gr
Peso recipiente	82,5	gr
Peso del suelo seco Ws	49,2	gr
Gravedad Específica = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,660	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

GRÁFICA PARA LA CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO



Nota: El peso del picnómetro de acuerdo a la gráfica a una temperatura de 25 C° es de 648,65 gr.

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014

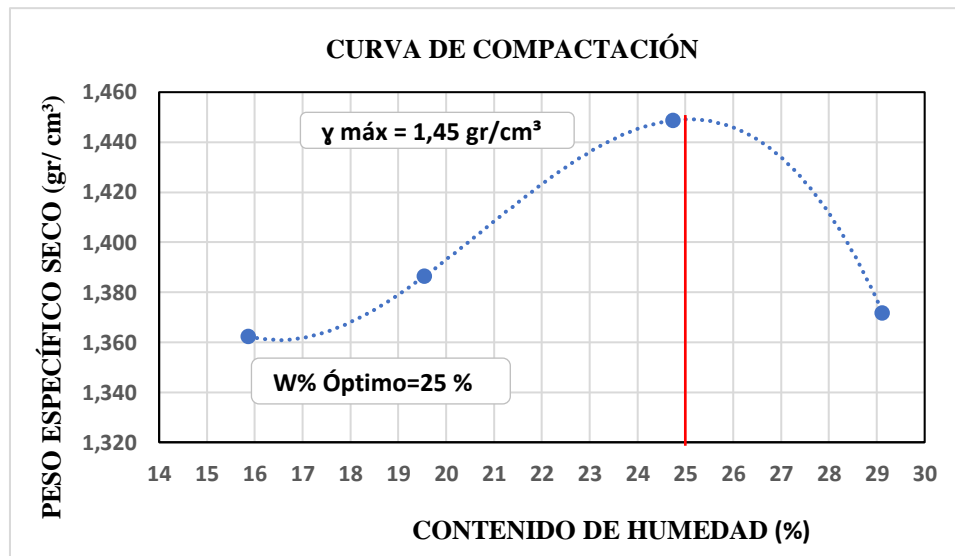
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)					
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec			1201,00		
Peso de la funda gr. Rec			3,40		
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec			1197,60		
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)					
Peso inicial frasco + cono + arena			6290,00		
Peso final frasco + cono + arena			4965,00		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)			343,00		
Peso arena en la perforación			982,00		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)			1,582		
Volumen de la perforación Vm			620,73		
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente número #				1	2
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec			81,40	73,70
Peso seco + recipiente	Ws+rec			70,10	62,40
Peso recipiente	rec			30,60	22,70
Peso del agua	Ww			11,30	11,30
Peso de los sólidos	Ws			39,50	39,70
Contenido de humedad	w%			28,61	28,46
Contenido de humedad promedio	w% prom			28,54	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
				Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos		$V_v =$		11,45	-
$V_a =$		$W_a =$		0,15	0,00
$V_w =$		$W_w =$		11,30	11,30
$V_s =$		$W_s =$		14,98	39,70
$V_m =$		$W_m =$		26,43	51,00
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)			1,929	gr/cm ³	
Densidad seca (γ_d)			1,501	gr/cm ³	
Contenido de humedad w%			28,54	%	
Relación de vacíos e = V_v/V_s			0,76	natural	
Porosidad n% = $V_v/V_m * 100$			43,33	%	
Grado de Saturación de agua Gw% = $V_w/V_v * 100$			98,66	%	
Grado de Saturación de aire Ga%			1,34	%	

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	10 Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	18 plg
VOLUMEN:	2304,52 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	15484 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO								
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	19122		19304		19649		19566	
Masa molde (gr)	15484		15484		15484		15484	
Masa suelo húmedo (gr)	3638		3820		4165		4082	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,579		1,658		1,807		1,771	
Masa del tarro (gr)	26,5	26,7	24,1	24,3	37,8	24,5	25,2	24,8
Masa suelo húm.+tarro (gr)	76,5	76,7	74,7	74,6	87,8	74,8	76,8	76,5
Masa suelo seco+tarro (gr)	69,7	69,8	66,6	66,2	77,9	64,8	65,1	64,9
Masa del agua (gr)	6,8	6,9	8,1	8,4	9,9	10	11,7	11,6
Masa suelo seco (gr)	43,2	43,1	42,5	41,9	40,1	40,3	39,9	40,1
Contenido de agua (%)	15,74	16,01	19,06	20,05	24,69	24,81	29,32	28,93
w (%) Promedio	15,88		19,55		24,75		29,13	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,362		1,387		1,449		1,372	
Densidad Seca Máxima (y máx):	1,45 gr/cm ³							
Humedad Óptima:	24,00 %							
Grado de Compactación	103,52 %							

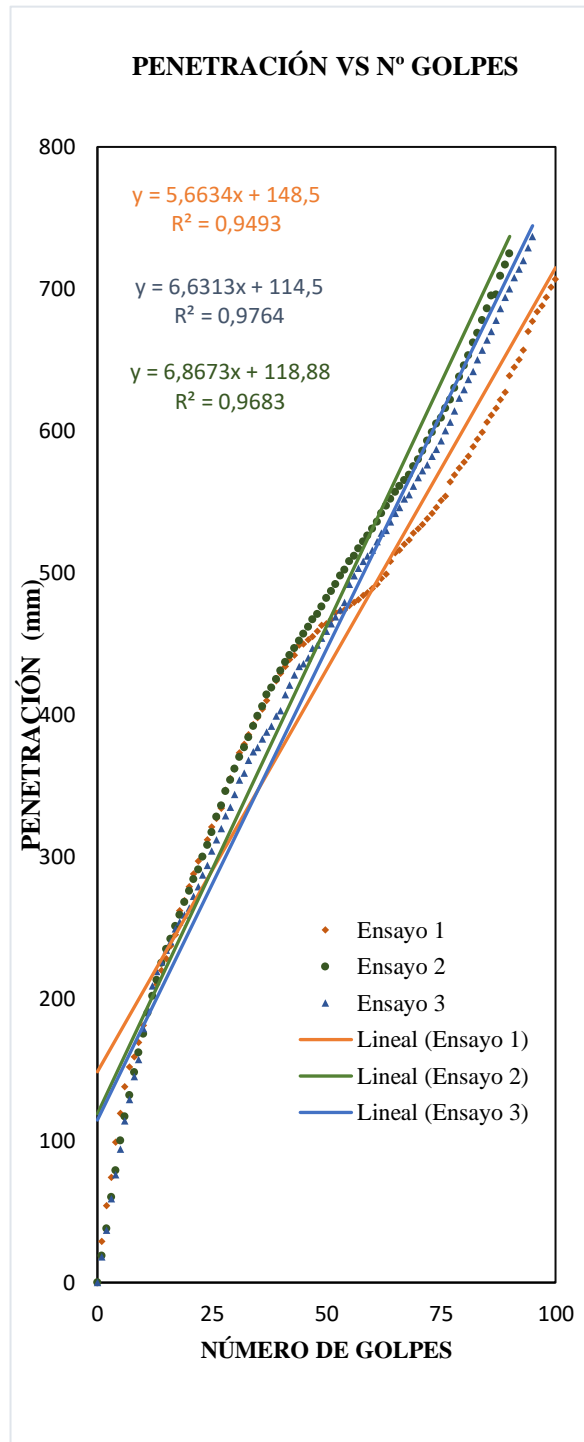
GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA vs HUMEDAD ÓPTIMA



Nota: La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,45 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 24%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
0	0	0	0
1	29	19	18
2	54	38	37
3	74	60	59
4	99	79	76
5	119	100	94
6	138	117	114
7	152	132	129
8	159	148	145
9	169	162	157
10	181	175	179
11	190	190	193
12	202	202	209
13	210	213	219
14	220	225	226
15	228	235	234
16	237	242	240
17	245	251	249
18	262	259	254
19	269	268	259
20	279	276	264
21	288	284	272
22	297	291	279
23	300	300	287
24	312	308	294
25	321	317	304
26	327	328	312
27	334	336	320
28	347	346	329
29	355	354	335
30	362	362	344
31	373	370	354
32	379	377	359
33	386	384	368
34	393	392	374
35	398	399	377
36	404	406	383
37	410	414	388
38	419	419	392
39	424	425	399
40	429	431	403
41	434	437	414
42	439	442	421
43	442	447	428



DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	5,6634	6,3873
2	6,8673	
3	6,6313	

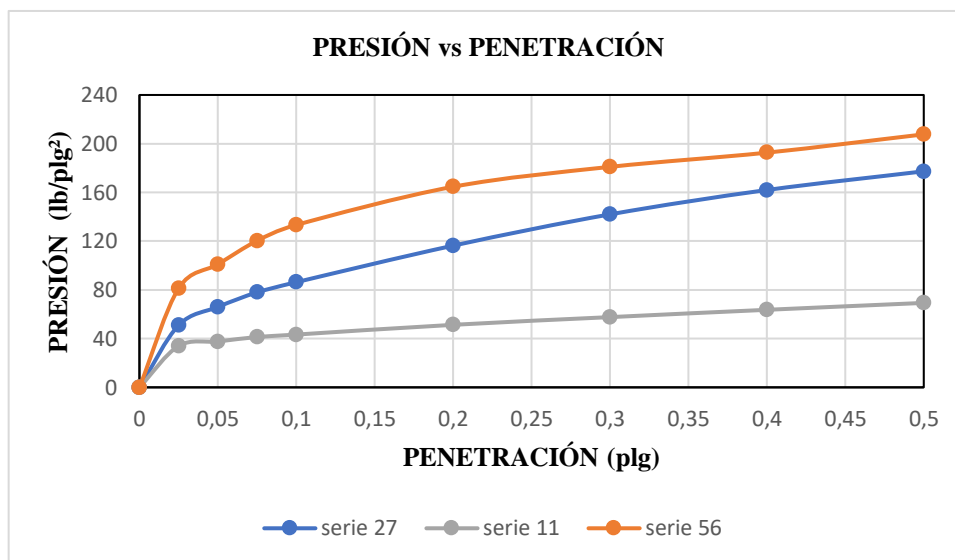
Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
44	449	452	434
45	450	457	436
46	453	462	440
47	455	467	447
48	459	471	449
49	463	476	454
50	464	482	459
51	467	487	464
52	472	492	469
53	473	498	474
54	474	502	479
55	477	508	492
56	479	512	498
57	481	517	503
58	484	522	508
59	486	526	512
60	489	531	516
61	492	536	522
62	496	542	528
63	499	547	530
64	508	552	536
65	514	557	542
66	516	561	546
67	520	565	552
68	523	569	555
69	528	575	561
70	531	580	567
71	534	586	572
72	538	593	576
73	542	599	582
74	546	605	587
75	551	609	593
76	554	616	600
77	564	622	606
78	569	630	614
79	574	638	623
80	578	646	629
81	582	653	636
82	589	662	642
83	594	669	650
84	599	678	657
85	606	686	664
86	611	695	670
87	616	696	678

Nº Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
88	622	709	686
89	627	717	694
90	639	725	700
91	645		708
92	650		714
93	657		720
94	670		729
95	677		737
96	684		
97	688		
98	694		
99	701		
100	707		

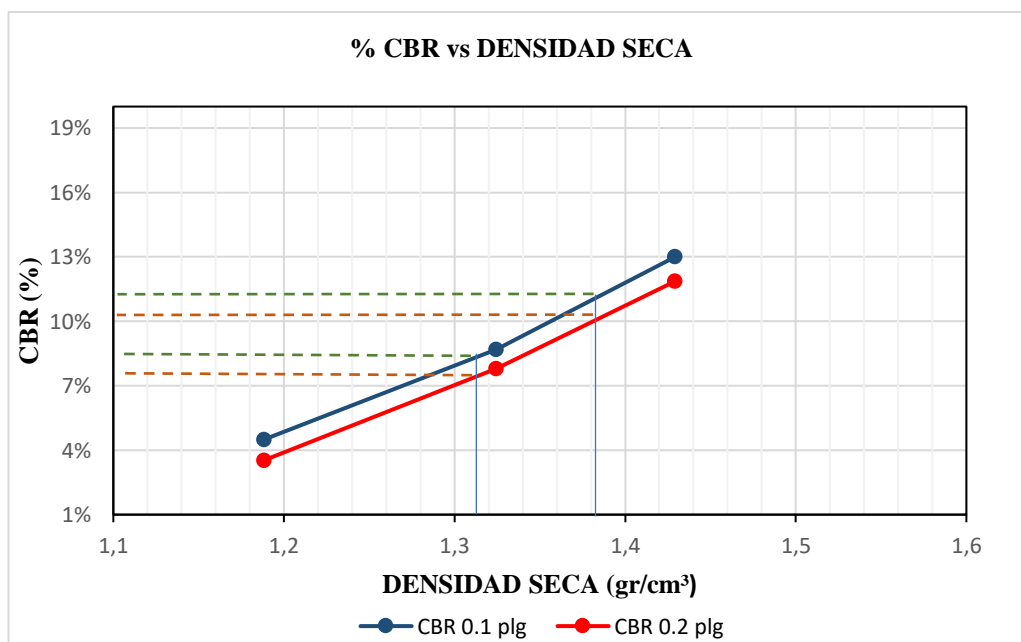
CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013

MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	13661		12083		11681	
Masa molde (gr)	9632		8388		8343	
Masa muestra húmeda (gr)	4029		3695		3338	
Volúmen muestra (cm ³)	2286,38		2244,42		2259,29	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,762		1,646		1,477	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	103,5	105,8	96,7	93,6	95,7	94,2
Masa suelo seco + recip(gr)	90,2	92,2	85,8	83,2	85,6	83,6
Masa del agua (gr)	13,3	13,6	10,9	10,4	10,1	10,6
Masa del recip (gr)	32,7	34,2	40,6	40,7	43,5	40,6
Masa suelo seco	57,5	58	45,2	42,5	42,1	43
Contenido de humedad W(%)	23,13	23,45	24,12	24,47	23,99	24,65
W (%) Promedio	23,29		24,29		24,32	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,429		1,325		1,188	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	13872		12395		12131	
Masa molde (gr)	9632		8388		8343	
Masa muestra húmeda (gr)	4240		4007		3788	
Masa agua absorbida(gr)	211		312		450	
% Agua Absorbida	5,24%		8,44%		13,48%	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	107,9	97,9	101,6	102,7	105,9	103,4
Masa del suelo seco+tarro (gr)	97	71,5	80,9	83	69,1	67,7
Masa del agua (gr)	10,9	26,4	20,7	19,7	36,8	35,7
Masa del tarro (gr)	32,7	34,2	40,6	40,7	43,5	40,6
Masa suelo seco	64,3	37,3	40,3	42,3	25,6	27,1
Contenido de agua (%)	16,95	70,78	51,36	46,57	143,75	131,73
W (%) Promedio	43,86		48,97		137,74	
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	244	81,33	153	51,00	102	34,00
0,050	303	101,00	198	66,00	113	37,67
0,075	361	120,33	234	78,00	124	41,33
0,100	400	133,33	259	86,33	130	43,33
0,200	494	164,67	349	116,33	154	51,33
0,300	543	181,00	426	142,00	173	57,67
0,400	578	192,67	486	162,00	191	63,67
0,500	623	207,67	532	177,33	208	69,33

PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	130,00	13,00%	1,429	178	11,87%	1,429
2	87,00	8,70%	1,325	117	7,80%	1,325
3	45,00	4,50%	1,188	53	3,53%	1,188



DENSIDAD SECA MÁXIMA		1,45 gr/cm ³		
DSM		%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,305	8,10%	7,40%	8,10%
95%	1,378	12,20%	10,20%	12,20%





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



Proyecto: Correlación entre CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias Ambatillo y Quisapincha, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua

Parroquia: Ambatillo **Coordenadas:** Zona 17, 759728.66 E; 9866404.47 S

Vía: San Francisco **Revisado:** Ing. Favio Portilla

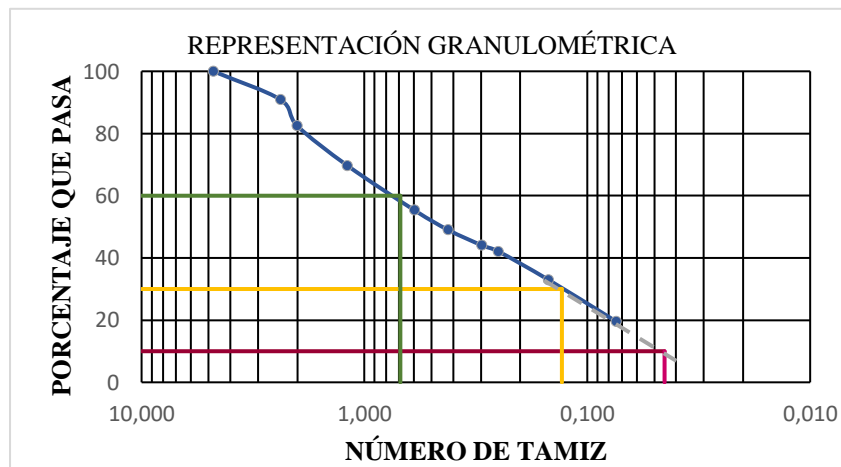
Muestra: 12 **Profundidad:** 0,66 m **Realizado:** Lesly Garzón Zapata

HUMEDAD NATURAL - AASHTO T 265 2015

W cáps.(gr)	W hum.(gr)	W seco (gr)	% W nat	% W prom
30,8	82,1	71,5	26,04	25,47
22,7	72,7	62,6	25,31	
30,6	83,0	72,5	25,06	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AASHTO T 88 2013

Tamiz N°	W retenido	W ret. Acumulado	% ret. Acumulado	% pasa
4 4,760	0,00	0	0	100,00
8 2,380	22,80	22,8	9,12	90,88
10 2,000	21,10	43,9	17,56	82,44
16 1,190	32,00	75,9	30,36	69,64
30 0,595	35,90	111,8	44,72	55,28
40 0,420	15,80	127,6	51,04	48,96
50 0,297	12,30	139,9	55,96	44,04
60 0,250	5,00	144,9	57,96	42,04
100 0,149	22,80	167,7	67,08	32,92
200 0,074	33,50	201,2	80,48	19,52
Fuente	48,10	249,3	99,72	100,00
W muestra seca (gr)			250	



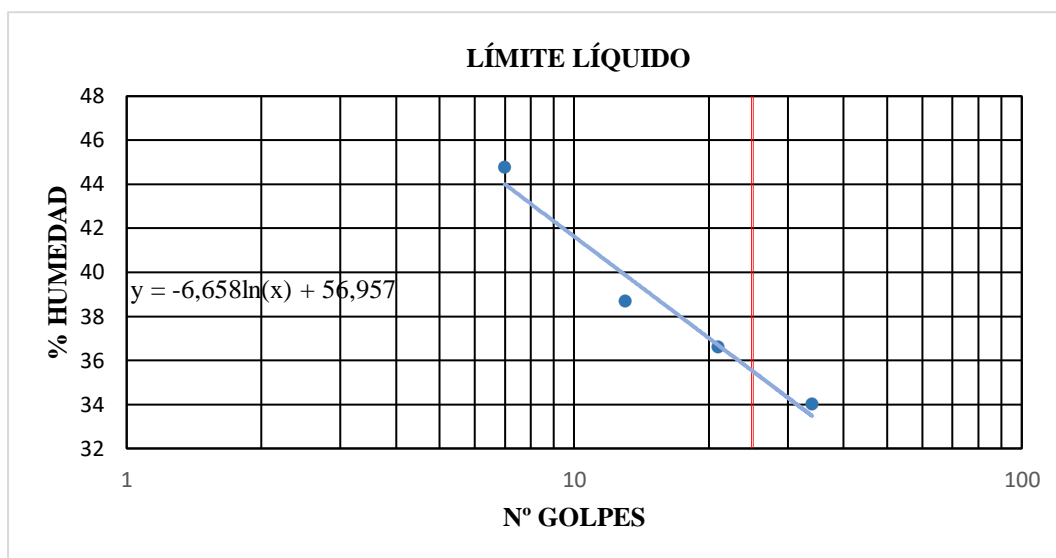
COEFICIENTES DEL SUELO

D10 en mm	0,045	Cu = D60/D10	15,33
D30 en mm	0,13	Cc = D30 ² /(D60*D10)	0,54
D60 en mm	0,69	Tamaño Nominal Máximo (TNM)	2,38

ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO - COPA CASAGRANDE - AASHTO T 89 2013

Nº Golpes	W caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	%W	%W prom
7	10,80	19,90	17,10	44,44	44,76
	11,50	21,80	18,60	45,07	
13	11,70	21,60	18,80	39,44	38,68
	10,80	18,80	16,60	37,93	
21	11,40	19,60	17,40	36,67	36,59
	10,50	19,10	16,80	36,51	
34	11,20	17,80	16,10	34,69	34,01
	11,10	17,10	15,60	33,33	

PROMEDIO LIMITE LÍQUIDO 38,51



ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO - AASHTO T 89 2013

Nº Cápsula	W Caps (gr)	W hum. (gr)	W seco (gr)	% W	%W Prom
1	10,60	11,50	11,30	28,57	27,43
2	10,80	11,70	11,50	28,57	
3	10,60	11,90	11,60	30,00	
4	11,30	11,80	11,70	25,00	
5	10,80	11,30	11,20	25,00	

LÍMITES DE ATTENVERG

Límite líquido:	35,80 %
Límite plástico:	27,43 %
Índice Plástico:	8,37 %

Clasificación del Suelo:

Sistema	AASHTO	A-2-4	Grava y arena limosa o arcillosa
	SUCS	SM	Arenas limosas, mezclas arena - limo

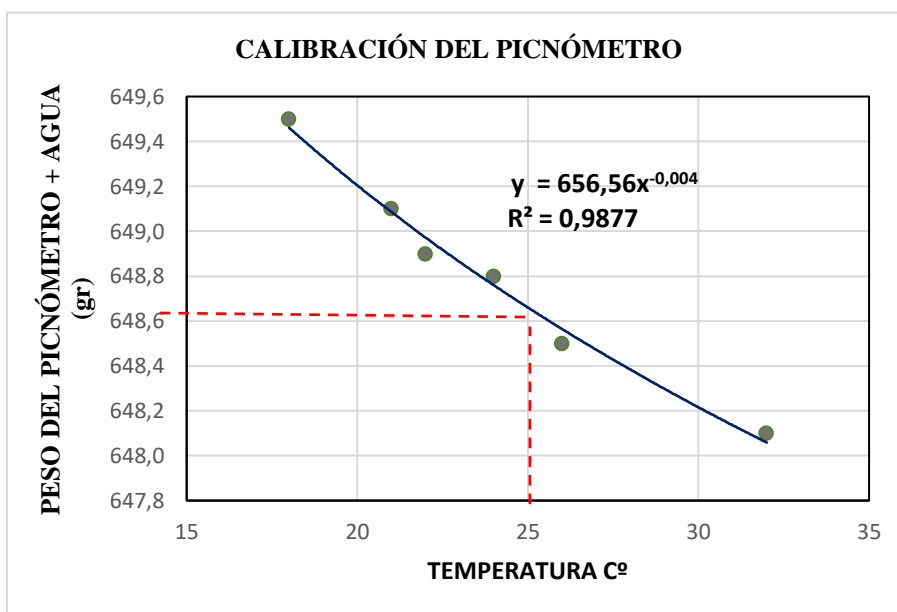
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - AASHTO T 100 2015

Número de la muestra	12	
Número de pignómetro	1	
Pg + agua hasta la marca de aforo Wbw	648,9	gr
Pg + agua + suelo sumergido Wbws	679,7	gr
Desplazamiento del agua Ws + Wbw - Wbws	18,4	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	131,2	gr
Peso recipiente	82	gr
Peso del suelo seco Ws	49,2	gr
Gravedad Específica = (Ws.K)/(Ws + Wbw-Wbws)	2,668	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

GRÁFICA PARA LA CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO



Nota: El peso del picnómetro de acuerdo a la gráfica a una temperatura de 25 C° es de 648,65 gr.

DENSIDAD DE CAMPO CONO Y ARENA AASHTO T 191 2014

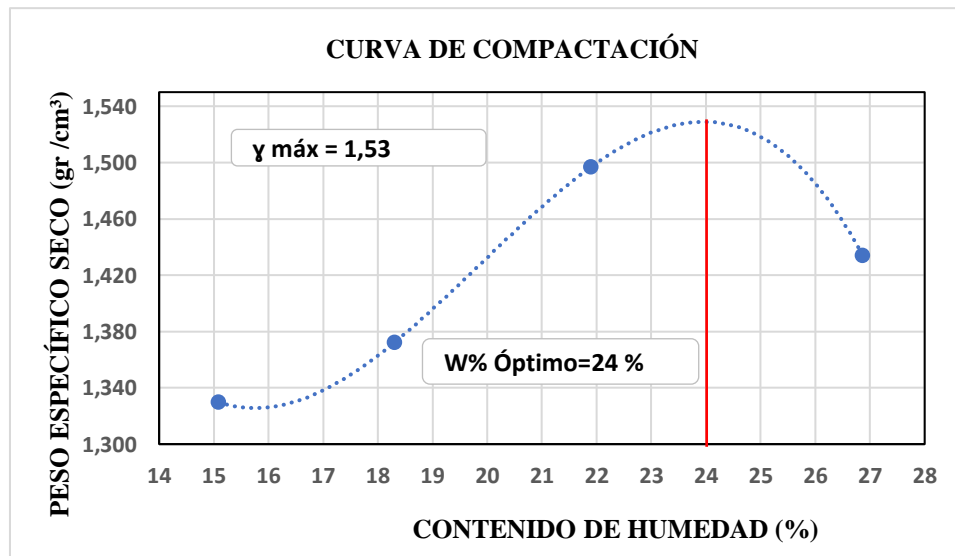
DETERMINACIÓN DEL PESO DEL SUELO EXTRAÍDO (Wm)					
Peso de la masa del suelo + funda gr. Wm+Rec			1005,00		
Peso de la funda gr. Rec			3,40		
Peso de la masa del suelo gr. Wm = Wm+Rec-Rec			1001,60		
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA PERFORACIÓN EN EL SUELO (Vm)					
Peso inicial frasco + cono + arena			6290,00		
Peso final frasco + cono + arena			5148,00		
Peso arena en el cono (Calibración del cono)			343,00		
Peso arena en la perforación			799,00		
Densidad de la Arena de Ottawa (Calibración arena)			1,582		
Volumen de la perforación Vm			505,06		
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Recipiente número #				1	2
Peso húmedo + recipiente	Wm+rec			82,10	72,70
Peso seco + recipiente	Ws+rec			71,50	62,60
Peso recipiente	rec			30,80	22,70
Peso del agua	Ww			10,60	10,10
Peso de los sólidos	Ws			40,70	39,90
Contenido de humedad	w%			26,04	25,31
Contenido de humedad promedio	w% prom			25,68	
DETERMINACIÓN DE LAS FASES DEL SUELO					
				Volumenes	Pesos
Volumen de vacíos		$V_v =$		10,16	-
$V_a =$		$W_a =$		0,06	0,00
$V_w =$		$W_w =$		10,10	10,10
$V_s =$		$W_s =$		15,06	39,90
$V_m =$		$W_m =$		25,21	50,00
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO					
Peso Volumétrico del suelo (densidad húmeda) (γ_m)			1,983	gr/cm ³	
Densidad seca (γ_d)			1,578	gr/cm ³	
Contenido de humedad w%			25,68	%	
Relación de vacíos e = V_v/V_s			0,67	natural	
Porosidad n% = $V_v/V_m \cdot 100$			40,28	%	
Grado de Saturación de agua Gw% = $V_w/V_v \cdot 100$			99,45	%	
Grado de Saturación de aire Ga%			0,55	%	

PROCTOR MODIFICADO - AASHTO 180 2018

TIPO DE PRUEBA:	Proctor Modificado	MASA MARTILLO:	10 Lb
DATOS DEL MOLDE		ALTURA DE CAÍDA:	18 plg
VOLUMEN:	2304,52 cm ³	NÚMERO DE CAPAS:	5
MASA:	15484 gr	GOLPES POR CAPA:	56

DATOS DEL ESAYO								
PRUEBA N°	1		2		3		4	
Suelo húmedo+molde (gr)	19011		19226		19689		19677	
Masa molde (gr)	15484		15484		15484		15484	
Masa suelo húmedo (gr)	3527		3742		4205		4193	
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,530		1,624		1,825		1,819	
Masa del tarro (gr)	34,3	40,7	40,8	43,4	43,6	40,8	25,9	25,9
Masa suelo húm.+tarro (gr)	84,2	90,7	91,3	93,7	93,5	91,1	76,4	75,5
Masa suelo seco+tarro (gr)	77,7	84,1	83,4	86	84,5	82,1	65,7	65
Masa del agua (gr)	6,5	6,6	7,9	7,7	9	9	10,7	10,5
Masa suelo seco (gr)	43,4	43,4	42,6	42,6	40,9	41,3	39,8	39,1
Contenido de agua (%)	14,98	15,21	18,54	18,08	22,00	21,79	26,88	26,85
w (%) Promedio	15,09		18,31		21,90		26,87	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,330		1,372		1,497		1,434	
Densidad Seca Máxima (γ máx):	1,53 gr/cm ³							
Humedad Óptima:	23,00 %							
Grado de Compactación	103,13 %							

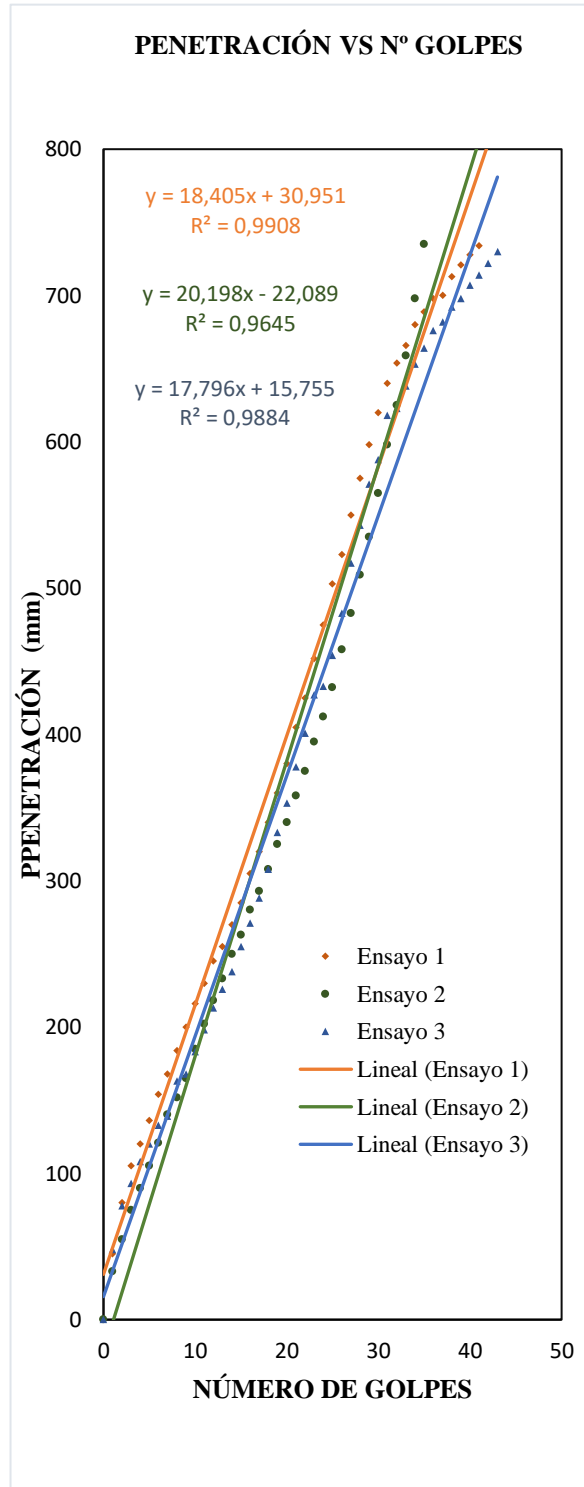
GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA vs HUMEDAD ÓPTIMA



Nota: La máxima densidad alcanzada mediante la gráfica es de 1,53 gr/cm³ la cual corresponde a un contenido de humedad óptimo de 23%.

ENSAYO DCP - ASTM D 6951 03

N° Golpe	Penetración (mm)		
	1	2	3
0	0	0	0
1	45	33	48
2	80	55	78
3	105	75	93
4	120	90	108
5	136	105	120
6	154	121	133
7	168	140	139
8	184	152	163
9	200	165	168
10	216	185	183
11	230	202	198
12	245	218	213
13	255	233	226
14	270	250	238
15	285	263	255
16	305	280	271
17	320	293	288
18	340	308	308
19	360	325	333
20	380	340	353
21	405	358	378
22	425	375	401
23	452	395	427
24	475	412	433
25	503	432	454
26	523	458	483
27	550	483	517
28	575	509	543
29	598	535	571
30	620	565	588
31	640	598	618
32	654	625	623
33	666	659	638
34	680	698	653
35	689	735	664
36	698	825	676
37	700	865	682
38	713		692
39	721		698
40	728		707
41	734		714
42			722
43			730

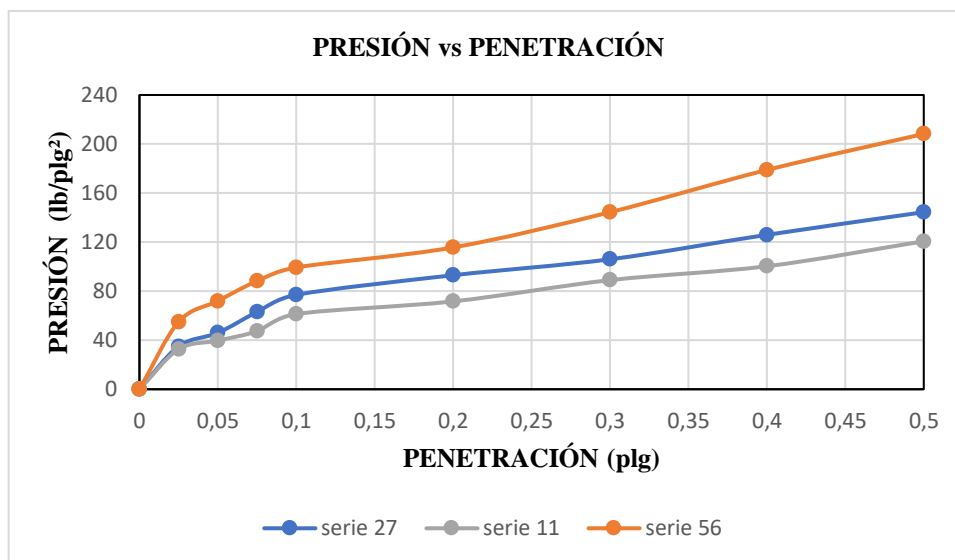


DN (mm/golpe)		DN (prom)
1	18,405	
2	20,198	
3	17,796	

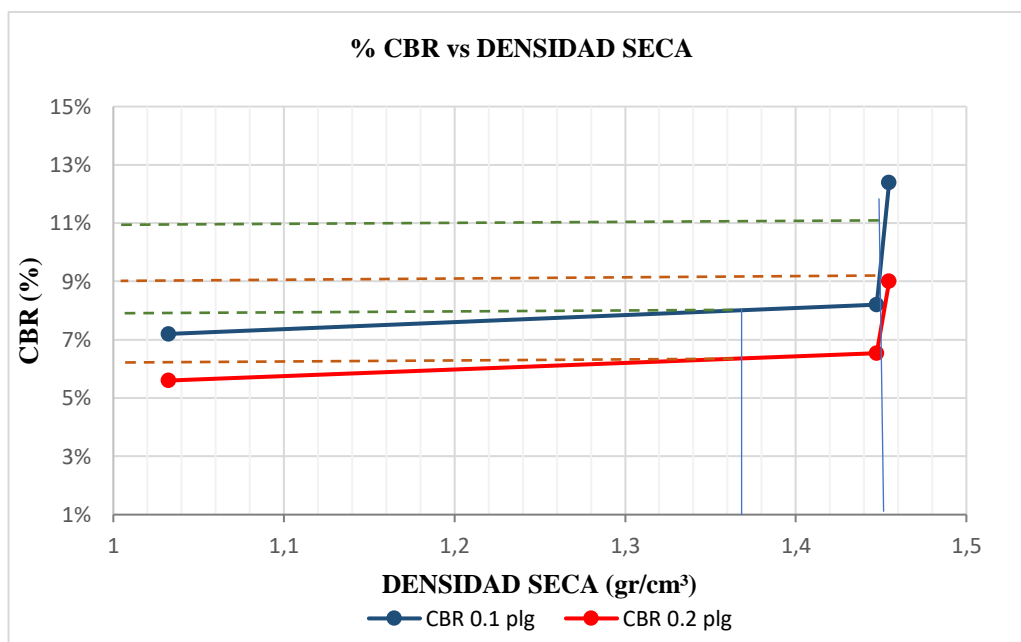
CBR DE LABORATORIO - AASHTO T 193 2013

MOLDE N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		27		11	
Muestra húmeda+molde(gr)	13782		12209		10313	
Masa molde (gr)	9636		8395		7395	
Masa muestra húmeda (gr)	4146		3814		2918	
Volúmen muestra (cm ³)	2286,38		2118,73		2277,36	
Peso unitario Húmedo(gr/cm ³)	1,813		1,800		1,281	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+recip(gr)	62,4	50,5	58,4	48,5	65,1	60,1
Masa suelo seco + recip(gr)	51,7	42	48,4	40,5	53,8	49,8
Masa del agua (gr)	10,7	8,5	10	8	11,3	10,3
Masa del recip (gr)	7,8	7,9	7,4	7,6	6,8	7,2
Masa suelo seco	43,9	34,1	41	32,9	47	42,6
Contenido de humedad W(%)	24,37	24,93	24,39	24,32	24,04	24,18
W (%) Promedio	24,65		24,35		24,11	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,455		1,448		1,032	
DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda+molde(gr)	13908		12480		11301	
Masa molde (gr)	9636		8395		7395	
Masa muestra húmeda (gr)	4272		4085		3906	
Masa agua absorbida(gr)	126		271		988	
% Agua Absorbida	3,04		7,11		33,86	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Masa suelo húmedo+tarro(gr)	81,9	74,1	81,9	81,7	82,1	84,1
Masa del suelo seco+tarro (gr)	71,7	63,1	70,7	70,4	68,6	68,4
Masa del agua (gr)	10,2	11	11,2	11,3	13,5	15,7
Masa del tarro (gr)	30,5	23,9	31,1	30,8	30,8	26,4
Masa suelo seco	41,2	39,2	39,6	39,6	37,8	42
Contenido de agua (%)	24,76	28,06	28,28	28,54	35,71	37,38
W (%) Promedio	26,41		28,41		36,55	
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	165	55,00	105	35,00	98	32,67
0,050	216	72,00	138	46,00	119	39,67
0,075	265	88,33	189	63,00	142	47,33
0,100	298	99,33	231	77,00	184	61,33
0,200	347	115,67	279	93,00	215	71,67
0,300	433	144,41	318	106,00	267	89,00
0,400	537	178,85	378	125,93	301	100,33
0,500	625	208,25	433	144,41	362	120,67

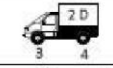


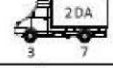








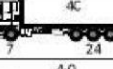














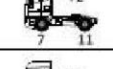


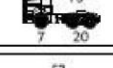





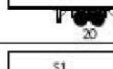


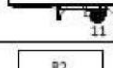


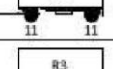


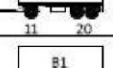


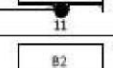


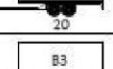


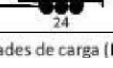


PORCENTAJES CBR (Corregidos)						
MOLDE N°	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad seca
1	124,00	12,40%	1,455	135	9,00%	1,455
2	82,00	8,20%	1,448	98	6,53%	1,448
3	72,00	7,20%	1,032	84	5,60%	1,032



DENSIDAD SECA MÁXIMA		1,53 gr/cm ³		
DSM		%CBR 0.1 plg	%CBR 0.2 plg	%CBR MAYOR
90%	1,377	7,80%	6,70%	7,80%
95%	1,454	11,00%	9,10%	11,00%



Anexo II. Tabla de pesos y dimensiones

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)			
				Largo	Ancho	Alto	
2 D		 	CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑO	7	5,00	2,60	3,00
2DA		 	CAMIÓN DE 2 EJES MEDIANOS	10	7,50	2,60	3,50
2DB		 	CAMIÓN DE 2 EJES GRANDES	18	12,20	2,60	4,10
3-A		 	CAMIÓN DE 3 EJES	27	12,20	2,60	4,10
4-C		 	CAMIÓN DE 4 EJES	31	12,20	2,60	4,10
4-0 OCTOPUS		 	CAMIÓN CON TAMDEN DIRECCIONAL Y TAMDEN POSTERIOR	32	12,20	2,60	4,10
V2DB		 	VOLQUETA DE DOS EJES 8 m³	18	12,20	2,60	4,10
V3A		 	VOLQUETA DE TRES EJES 10-14 m³	27	12,20	2,60	4,10
VZS		 	VOLQUETA ZS DE 3 EJES 16 m³	27	12,20	2,60	4,10
T2		 	TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES	18	8,50	2,60	4,10
T3		 	TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES	27	8,50	2,60	4,10
S3		 	SEMIREMOLQUE DE 3 EJES	24	13,00	2,60	4,10
S2		 	SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	20	13,00	2,60	4,10
S1		 	SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	11	13,00	2,60	4,10
R2		 	REMOLQUE DE 2 EJES	22	10,00	2,60	4,10
R3		 	REMOLQUE DE 3 EJES	31	10,00	2,60	4,10
B1		 	REMOLQUE BALANCEADO DE 1 EJE	11	10,00	2,60	4,10
B2		 	REMOLQUE BALANCEADO DE 2 EJES	20	10,00	2,60	4,10
B3		 	REMOLQUE BALANCEADO DE 3 EJES	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

Anexo III. Fotografías



Figura N° 01

Selección de las coordenadas de la calicata



Figura N° 02

Realización de la calicata



Figura N° 03

Densidad in situ (Ensayo cono y arena)



Figura N° 04

Tamizado del material para determinar los límites de Atterberg